II SANEA BRASIL

ANAIS DO II CONGRESSO INTERNACIONAL DE SANEAMENTO RURAL

Petrolina - PE - 2025

NIESADT

UNIVASF
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA

PETROLINA PREFEITURA
ORGULHO DE PERNAMBUCO

MINISTÉRIO DAS CIDADES

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

FICHA CATALOGRÁFICA

ANAIS DO 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SANEAMENTO RURAL

PETROLINA/ 29 A 31 DE OUTUBRO DE 2025

Edição e Revisão Técnica
Vladimir de Sales Nunes

Diagramação
Vladimir de Sales Nunes

Fotografia da Capa
Getty Images (gratuito)

Fotografia da Contracapa
Getty Images (gratuito)

Todos os resumos neste livro foram reproduzidos de cópias fornecidas pelos autores, a quem se atribui exclusiva responsabilidade sobre o conteúdo dos textos. A organização do evento não se responsabiliza por consequências decorrentes do uso de quaisquer dados, afirmações e/ou opiniões inexatas ou que conduzam a erros publicados neste livro.

Dados Internacionais de Catalogação - CIP

Congresso Internacional de Saneamento Rural (2.: 2025: Petrolina, PE)
C749a Anais do II Congresso Internacional de Saneamento Rural / Organizado por Vladimir de Sales Nunes. – Petrolina, PE: UNIVASF, 2025.

1970 f.: il. PDF.

II SANEA BRASIL, evento realizado em Petrolina - PE, entre os dias 29 e 31 de outubro de 2025, promovido pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf).

ISBN 978-85-5322-361-9 (Livro digital)
Inclui referências

1. Saneamento rural. 2. Mudanças climáticas. 3. Políticas públicas. 4. Saúde pública I. Título. II. Nunes, Vladimir de Sales. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 628.7

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecária: Ana Paula Lopes da Silva - CRB-4 - PE/2308/O

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.19186422

APRESENTAÇÃO

É com grande entusiasmo que apresentamos os Anais do II SANEA BRASIL – Congresso Internacional de Saneamento Rural, promovido pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) e realizado entre os dias 29 e 31 de outubro de 2025, em Petrolina, Pernambuco. Com o tema "Mudanças Climáticas: O Novo Desafio do Saneamento Rural", o evento consolida-se como um espaço estratégico de diálogo, reflexão e proposição de soluções diante dos impactos crescentes das transformações ambientais sobre os territórios rurais.

Em um contexto global marcado por mudanças climáticas cada vez mais intensas e imprevisíveis, o congresso reuniu pesquisadores, gestores públicos, especialistas, representantes do setor produtivo e da sociedade civil, fortalecendo a construção coletiva de respostas inovadoras e sustentáveis. Alinhado à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) e ao Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), o II SANEA BRASIL contribui diretamente para o avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustável (ODS), com especial atenção às populações rurais e vulneráveis.

A programação contemplou uma ampla diversidade de atividades, incluindo palestras, minicursos, painéis temáticos, apresentações de trabalhos científicos e visitas técnicas, além da realização da Exposanea – Feira Internacional de Soluções para o Saneamento Rural, promovida em parceria com o Ministério das Cidades. O evento também se destacou por anteceder a COP 30, reforçando o papel do Brasil no cenário internacional e ampliando a visibilidade das discussões sobre saneamento rural no contexto das mudanças climáticas.

Os trabalhos aqui reunidos refletem a pluralidade de abordagens, experiências e pesquisas desenvolvidas em diferentes regiões do país, evidenciando o compromisso da comunidade científica e técnica com a promoção do saneamento como direito fundamental. Estes anais representam, portanto, não apenas o registro das contribuições apresentadas, mas também um convite à continuidade do diálogo, à inovação e ao fortalecimento de políticas públicas capazes de transformar realidades e promover um futuro mais justo e sustentável.

Comissão Organizadora

SUMÁRIO

1. Eixo Temático 1 – Mudanças Climáticas

ATUAÇÃO DA FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA) NAS ENCHENTES DO RIO GRANDE DO SUL: EXPERIÊNCIA DE APOIO EM SITUAÇÕES DE DESASTRES Roseane Batista da Cunha, Alba de Oliveira Lemos	1
AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O SANEAMENTO BÁSICO NO MUNICÍPIO DE BELO JARDIM-PE Mauro André Santos de Melo, Silvanete Severino da Silva	11
ENTRE A DESERTIFICAÇÃO E A FALTA DE SANEAMENTO: OS DESAFIOS DAS MULHERES NO SEMIÁRIDO NORDESTINO Iane Moreira, Emanuel Silva, Benaffe Santos	21
ESTIMATIVAS DO FLUXO DE CO2 NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DO TEIXEIRA, PB Johnatan Vinícius Carneiro da Silva, Erickson Melo de Albuquerque, Marcela da Cruz Cardoso	29
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CON DYNQUAL BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO CESAR: COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES DE LA ALIANZA DEL PACÍFICO Stefany P. Vega, Ronald R. Gutierrez, Aymer Y. Maturana	38
INTERFERÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CLIMA DE PETROLINA, PERNAMBUCO Marta Souza dos Santos, Jainy Silva Nascimento, Maria Luiza Pereira de Souza	48
INTERFERÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CLIMA DE ILHÉUS, BAHIA Maria Luiza Pereira de Souza, Marta Souza dos Santos, Jainy Silva Nascimento	58
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO: IMPACTOS HÍDRICOS E SOCIOAMBIENTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO Rodrigo Amorim Moura de Carvalho, João Vitor Gonçalves Brandão, Pedro Henrique Silva dos Santos	68
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL EM MANGUE SECO, BA: RISCOS DO AVANÇO DAS DUNAS E DA EROSÃO COSTEIRA Gabriel Simões Martinez Santos, Jorge Murilo Batista de Macedo Santos, Francisco Ramon Alves do Nascimento	78
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUA RELAÇÃO COM A DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE Luana Maria de Souza Matos, Wendell Nascimento Oliveira, Douglas de Souza Rodrigues	88
PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIA SOCIAL PARA O REUSO DE ÁGUAS CINZAS NA AGRICULTURA FAMILIAR COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS Isadora Nayala Santos da Paz, Manoela Carvalho Cruz Vieira, Ana Camile Barbosa Rodrigues	95

SEGURANÇA HÍDRICA EM ALDEIAS INDÍGENAS DO SERTÃO CEARENSE: ANÁLISE DA VAZÃO DE POÇOS PROFUNDOS E DECRETOS DE CALAMIDADE POR SECA E ESTIAGEM Leiluan Igo Carvalho de Mesquita, Sarah Lacerda Farias, Márcio da Silva Castro	105
VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO – IET DO RESERVATÓRIO ROSÁRIO LOCALIZADO NA ZONA RURAL DE LAVRAS DA MANGABEIRA - CE Germário Araújo, Maria Izabel Andrade, Janaína Andrade	115

2. **Eixo Temático 2 – Saneamento Estruturante**

ANÁLISE DA UNIVERSALIZAÇÃO DOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS ÁREAS RURAIS DO BRASIL Lucas Breno dos Santos, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva	124
AVALIAÇÃO DOS MECANISMOS DE ACESSO A INVESTIMENTOS EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL NO NOVO PAC Rainier Pedraça de Azevedo	134
BUSINESS INTELLIGENCE APLICADO A GESTÃO DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM EMPRESA DE SANEAMENTO: RASTREABILIDADE, TRANSPARÊNCIA E ECONOMIA CIRCULAR Lucas Candido, Christian Barbosa, Eduardo Leoncio	143
DESAFIOS DO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO NA PERSPECTIVA RURAL: A EXPERIÊNCIA DA CERB NA BAHIA NO ACESSO AOS RECURSOS DO PAC Talita Câmara, Itamar Souza	153
DESAFIOS DO SANEAMENTO RURAL E DA GESTÃO DE RESÍDUOS NA REGIÃO DA BARRAGEM DO BITURY, BELO JARDIM–PE Neyliane da Silva França, Yngrid Kalinne de Oliveira Feitosa, Taiza Karla Alves Souza	160
DIAGNÓSTICO DO ACESSO AO SANEAMENTO BÁSICO EM COMUNIDADES COM CARACTERÍSTICAS RURAIS: OCUPAÇÕES MARIELLE FRANCO E ALTO DA CONQUISTA, SIMÕES FILHO-BA Vitor Manoel Martins Barreto, Luísa Queiroz e Queiroz, Thamiris Santos de Santana	170
DIAGNÓSTICO DO SANEAMENTO BÁSICO NO TERRITÓRIO DE IDENTIDADE CHAPADA DIAMANTINA Luísa Queiroz e Queiroz, Anderson Wendel Pinheiro da Silva, Gabriel Fernandes Bastos Costa Ricardo	180

DIAGNÓSTICO DOS PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO EM ÁREAS RURAIS DA MICRORREGIÃO DO SERTÃO DO ARARIPE, NO ESTADO DE PERNAMBUCO Renan Bezerra Rosa, Sabrina Dafyne Soares Araújo, Silvanete Severino da Silva	190
DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO DE ÁGUA EM RDS NA AMAZÔNIA Alexandre Levi Monteiro Santana, Paulo Ricarde Fernandes Diógenes	200
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO ALTO CAPIBARIBE: DIAGNÓSTICO A PARTIR DA PLATAFORMA DE SANEAMENTO RURAL Thamires Carolayne Cavalcanti Moura, Thaise de Souza Santos, João Lucas Alves Callou de Sá	211
GESTÃO DO SANEAMENTO RURAL: UMA ABORDAGEM INTEGRADA A PARTIR DA ANÁLISE SOCIOECOLÓGICA Marcos Pereira de Araújo, Márcia Maria Rios Ribeiro	221
MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DE TARIFA BASEADA NO CONSUMO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAL Altamar Alencar Cardoso, Pablo Alencar Cabral Bernardo	232
O PAPEL DA AGERT NA REGULAÇÃO DO SANEAMENTO RURAL EM TIMON FRENTE AOS DESAFIOS DO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO Tarsila Cezar de Noronha Pessoa, Suédio Alves Meira, Itamar de Oliveira Júnior	242
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PISF) NO CARIRI CEARENSE: A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL DO COMPLEXO ANAUÁ Abimael Lucas, Klisman Benício, Natanael Macário	253

3. Eixo Temático 3 – Tecnologias para Abastecimento de Água

APORTE DE NUTRIENTES EM UM RIO URBANO NO CARIRI CEARENSE Jadyni Ester Matos e Silva, Lyndyanne Dias Martins, Clara Beatryz Gomes Vieira	263
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO: AVANÇOS, LIMITAÇÕES E DESAFIOS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO Igor Muniz Cavalcanti Lins, Lucas Breno dos Santos, Fabricio David Simplicio Aniceto	273
ÁGUA SUBTERRÂNEA E SEGURANÇA HÍDRICA: ANÁLISE DE POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO JARDIM-PE Renan Bezerra Rosa, Sabrina Dafyne Soares Araújo, Silvanete Severino da Silva	283

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O CONTEXTO GEOLÓGICO E A QUALIDADE FISICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE PUXINANÃ–PARAÍBA Pedro Lucas Nunes da Silveira, Camila Pereira da Silva, Francisco de Assis da Silveira Gonzaga	293
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA CAPTADA EM COMUNIDADE RURAL: AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA E ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO Ronierio Lima dos Santos Junior, Gleisson dos Santos da Silva, Sanara de Sousa Ribeiro	303
APLICAÇÃO DO ABELMOSCHUS ESCULENTUS L. MOENCH (QUIABO) COMO COAGULANTE E FLOCULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM BELO JARDIM-PE Adjailton da Silva Nascimento, Carlos André de Souza	313
APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ILHA DE ITAMARACÁ - PE Lucas Breno dos Santos, Diego Cezar dos Santos Araujo, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva	322
APROVEITAMENTO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS E RESÍDUOS NA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS PARA O SANEAMENTO RURAL SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO DE ABORDAGENS INOVADORAS Clara Beatryz Gomes Vieira, Hellen da Silva Sousa, Jadyni Ester Matos e Silva	332
ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS: RELATO DE EXPERIÊNCIA João Victor Bezerra da Silva, Félix Gomes dos Santos, Saulo Roberto Soares de Brito	342
AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA EM PONTOS DE HIDRATAÇÃO DE CENTROS RELIGIOSOS NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE-CE Janaína Andrade, Mira de Lima, Maria Izabel Andrade	346
CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS E SUBSTÂNCIAS ASSOCIADAS EM RIO URBANO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO Hellen da Silva Sousa, Lyndianne Dias Martins, Anderson Targino da Silva Ferreira	354
COMPARATIVO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO SERTÃO PARAIBANO Eryck Allan Alves Fernandes, Victória Cristina Gomes Colman, Elaine Juliane Da Costa Silva	364
DEPÓSITOS ALUVIONARES COMO FONTE DE ABASTECIMENTO PARA COMUNIDADES RURAIS NO ALTO CAPIBARIBE (PE) T. C. C. Moura, T. S. Santos, J. L. A. C. Sá	371
DESAFIOS E AÇÕES PARA O ACESSO À ÁGUA POTÁVEL NAS COMUNIDADES RIBEIRINHAS DO ESTADO DO AMAPÁ Carmen Nilza dos Santos, Júlio César da Silva Ferreira, Paulo Roberto Rodrigues Vieira	381

DESAFIOS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA O ABASTECIMENTO E QUALIDADE DA ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO Bruno Carvalho, Alyne Lima, Mariana Andrade	389
EFICIÊNCIA DE HIDROCICLONE NA IRRIGAÇÃO: AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTO UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) Raissa Braga, Severino Neto, Rafael Silva	399
EFICIÊNCIA DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E DE POLÍMERO NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM ETA NO DISTRITO DE XUCURU - BELO JARDIM- PE Camila Daniele Ferreira dos Santos, Wedja de Souza Lins, Silvanete Severino da Silva	411
ELETROCOAGULAÇÃO COM ENERGIA FOTOVOLTAICA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS TURVAS EM PEQUENAS COMUNIDADES Sarah Marcela Ribeiro Bezerra, Lucas Gomes Soares, Sávio Veríssimo dos Santos	421
ESTUDO DO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA COM FOCO NO ATENDIMENTO DE PEQUENAS COMUNIDADES Wesley Devison Melo Xavier, Sávio Veríssimo dos Santos, Luiz Eduardo do Nascimento Chaves da Silva	431
GERADOR DE ÁGUA ATMOSFÉRICO E CONTROLE DE QUALIDADE Alex Carvalho, Ryqueli Carvalho, Monalisa Pereira	440
INSTABILIDADE ENERGÉTICA COMO GARGALO PARA O ACESSO À ÁGUA NO ALTO RIO SOLIMÕES - AM: UMA ANÁLISE A PARTIR DAS IMPLEMENTAÇÕES DO PROJETO ÁGUA BOA Camila Fuziel Silva, Paulo Ricarde Fernandes Diógenes, Van Damme Menezes da Silva	448
MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS APLICADOS NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA DO RESERVATÓRIO PEDRO MOURA, EM BELO JARDIM–PE Silvanete Severino da Silva, Tereza Amélia Lopes Cizenando Guedes Rocha, Jorge Manuel G. P. Isidoro	459
MONITORAMENTO DO TEOR DE CLORO RESIDUAL LIVRE DA ÁGUA QUE ABASTECE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO Isabelle Maria Diniz Pereira, Iarley Souza Bezerra, Livia Vitória Dantas Domingos	469
MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA BRUTA NO RESERVATÓRIO PEDRO MOURA, BELO JARDIM–PE Maria de Jesus Delmontes Neta, Maria Letícia da Silva, Gabriel Xavier de Holanda Cavalcanti	479

MONITORAMENTO HÍDRICO DO AÇUDE DE LAGOA GRANDE (PE): IMPLICAÇÕES PARA PISCICULTURA E CONSUMO HUMANO Maria Luiza da Silva, Fernanda da Silva Macedo, Anderson Alessandro de Souza Queiroz	489
MORINGA OLEIFERA LAM. COMO COAGULANTE PRINCIPAL NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS COM COR ELEVADA E TURBIDEZ MUITO BAIXA Selma Cristina da Silva, Isabel Cristina Silva Maia, Rafael de Matos Mota	496
POTENCIAL CLARIFICANTE DE BIOCOAGULANTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA: MORINGA E BABOSA Hugmario Gomes dos Santos Filho, Maria Eduarda Medrado Filgueira, Paulo Henrique Medrado Lima	508
POTENCIAL DO MANDACARU (CEREUS JAMACARU) COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL Kelly Anselmo de Souza, Selma Cristina da Silva, Rivã Ribeiro Nascimento	514
QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA COMUNIDADE SÍTIO OLHO D'ÁGUA DO EUZÉBIO EM JUCÁS – CE Daniele Alves, Catarina Taveira, Iarley Bezerra	525
RESERVATÓRIO DE ÁGUA BRUTA OFF-STREAM COMO ESTRATÉGIA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO Ana Flávia Souza Foureaux, Maximiliano Strasser, Roberta Nunes Guimarães	535
SISTEMA SIMPLIFICADO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO NA ALDEIA CRAVEIRO, PRADO–BA Ramires Santos de Carvalho, Narcísio Cabral de Araújo, Leila Oliveira	544
SOLUÇÕES VERDES: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS TECNOLOGIAS DE REÚSO DE ÁGUA CINZAS João Lucas Cartaxo Rosendo, Vinicius Moura Soares da Silva, Monique da Silva Albuquerque Pinheiro	553
TECNOLOGIAS APROPRIADAS E RESILIÊNCIA HÍDRICA NO ABASTECIMENTO RURAL DO CARIRI CEARENSE Alan Delamaykon da Silva Lima	563
USO DE RESÍDUOS DA BANANICULTURA (MUSA SPP.) COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL Kelly Anselmo de Souza, Selma Cristina da Silva, Rivã Ribeiro Nascimento	569
UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ALTO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO: UM DIAGNÓSTICO A PARTIR DO SIAGAS Lilia Maria Limeira da Silva, Adenilma Maria de Menezes, Thamires Carolayne Cavalcanti Moura	579

VIABILIDADE FINANCEIRA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA COMPACTO DE MONITORAMENTO INTELIGENTE PARA PEQUENAS ETAS EM COMUNIDADES RURAIS Wemerson De Carvalho Batista, Rafael da Silva de Arruda, Heron Carlos da Silva Santos	589
ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE MANANCIAIS SUPERFICIAIS NO MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL (PB) Cícero Antônio de Souza, Adriana Oliveira Araújo, Márcia Mirelly André da Silva	599

4. Eixo Temático 4 – Manejo de Águas Pluviais no Meio Rural

ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO POTENCIAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO JACAREZINHO (BA) PELO MÉTODO SCS-CN Pierre Alexandre Souza Ribeiro, Tiago Liberalesso	609
IMPACTO DA AUSÊNCIA DE MATA CILIAR NO ENCONTRO DO RIACHO SÍTIO AMARO, TRIUNFO-PE: UMA ANÁLISE AMBIENTAL Edísio Antas Diniz Neto, Emilly Keronn Ferreira Soares da Silva, José Leomarck Alves Araújo	619
MACRODRENAGEM DE PETROLINA – DIRETRIZES PARA ÁREAS RURAIS URBANIZADAS Michele Mota Sampaio Lopes Sousa	624

5. Eixo Temático 5 – Esgotamento Sanitário

BIODIGESTORES COMO TECNOLOGIA DESCENTRALIZADA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ÁREAS RURAIS: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO COCUERA, MOGI DAS CRUZES (SP) Cristiano von Steinkirch de Oliveira, Silvio Yoshitaka Kinukawa	634
ABORDAGEM TÉCNICA E SANITÁRIA PARA O LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM CORPOS D'ÁGUA SOB A PERSPECTIVA DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA Maria Tereza Gomes dos Santos	646
ALTERNATIVAS PARA O GERENCIAMENTO DE LODOS NA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PENDÊNCIAS, RIO GRANDE DO NORTE Rodolfo Rodrigo de Souza Farias, Maria Alaide dos Santos, Rita de Cássia Braga Assunção	655

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA EM MUNICÍPIOS DO SERTÃO PARAIBANO Victória Cristina Gomes Colman, Thais Ribeiro Luna de Melo, Deborah Margarida Pereira Januário e Alfredina dos Santos Araújo.	665
ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES NOS ESTADOS DO NORDESTE Marcos Padilha, Johann Torres, Marcilio Máximo	673
AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DE ESGOTO TRATADO POR TANQUE SÉPTICO: POTENCIAL PARA REÚSO AGRÍCOLA Gleisson dos Santos da Silva, Ronierio Lima dos Santos Junior, Antônio Gustavo dos Santos Neto	682
CARTOGRAFIA SOCIAL COMO FERRAMENTA PARTICIPATIVA NO PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL: EXPERIÊNCIAS EM COMUNIDADES RURAIS DE PERNAMBUCO William Ferreira da Silva, Ana Lúcia Alencar da Cunha Lima, Bruna Marques Soares	691
CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE EUTROFIZADO COM COAGULANTES INORGÂNICOS [AL2(SO4)3 E POLIFER] E ORGÂNICO NATURAL (MORINGA OLEIFERA LAM.) Ianca Carneiro de Carvalho, Isabel Cristina Silva Maia, Selma Cristina da Silva	705
DESEMPENHO E DESAFIOS DE ESPÉCIES VEGETAIS EM WETLANDS CONSTRUÍDOS APLICADOS A REGIÕES SEMIÁRIDAS Maria Alynne Sousa Oliveira, Thâmara Martins Ismael de Sousa, Luiza Gizele Vidal Vieira	715
EFICIÊNCIA DA FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO Ianca Carneiro de Carvalho, Patricia dos Santos Nascimento	724
ESTUDO DO POTENCIAL DA TYPHA DOMINGENSIS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE CONTAMINANTE EMERGENTE Júlia Ferreira Freitas, Socorro Dias Morais, Francisco Rodrigo de Lemos Caldas	732
FIBRA DE COCO VERDE COMO PARTE DO MEIO SUPORTE DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PLANTADOS COM A CULTURA DO FEIJÃO (PHASEOLUS VULGARIS) NA REMOÇÃO DE SAIS DE ESGOTO DOMÉSTICO Júlia Santos Amaral, Joyce Kaline Sousa Santos, Elzio Lima da Silva Júnior	742
FOTOELETROCATÁLISE NO TRATAMENTO DE ÁGUA: FUNDAMENTOS, MATERIAIS E APLICAÇÕES RECENTES Pedro L. Q. Martins, Rafael S. Silva, Lucas A. Mendes	752
FRAÇÕES AMONIACAIS EM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DA ETE MALVINAS - BARBALHA - CE Pedro Henrique da Silva Leite, Maria Vitória Moura Rufino, Isaac Mota Gomes	761

FRAÇÕES AMONIACAIS NA ÁGUA DO RIO SALGADINHO DO JUAZEIRO DO NORTE-CE Livia Vitória Dantas Domingos, Clara Beatryz Gomes Vieira, Jadyni Ester Matos e Silva	771
MICROPLÁSTICOS EM SISTEMAS DE SANEAMENTO RURAL: OCORRÊNCIA, PERMANÊNCIA E RISCOS AMBIENTAIS E À SAÚDE HUMANA Marcos Pereira de Araújo, Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira, Mônica de Amorim Coura	789
PRINCIPAIS POTENCIALIDADES E DIFICULDADES NO USO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA Edson Lucas de Sousa, Fernanda Carolina Monteiro Ismael, Naiara Angelo Gomes	797
PROTÓTIPO DE WETLAND HORIZONTAL PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE FERRO Monaliza Barreto, André Oliveira, José Gabriel Mendes	807
QUALIDADE DO EFLUENTE DE UMA ETE HOSPITALAR E SEUS IMPACTOS POTENCIAIS NO RIO PARNAÍBA: DESAFIOS PARA O SANEAMENTO RURAL Robson Viera da Cunha, Ana Lethycia de Carvalho Silva, Habgail Santos Vieira	815
SANEAMENTO DESCENTRALIZADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA (UFSB) – CAMPUS JORGE AMADO – ILHÉUS - BAHIA Rita de Cássia Avelino Suassuna, Daniel Gonçalves Neto, Fernanda Nadier Cavalcanti Reis	825
SANEAMENTO ECOLÓGICO EM COMUNIDADES INDÍGENAS: CONSTRUÇÃO DO CÍRCULO DE BANANEIRA NA ALDEIA ARAÇÁS, TERRITÓRIO KIRIRI, BANZAÊ/BA Lisa Coelho Nascimento, Diane Gabrielle Costa Henrique, Hugo Larchert de Oliveira	835
SANEAMENTO SEGURO COM BANHEIROS SECOS SEPARADORES DE URINA (UDDT) EM UMA VILA PRODUTORA DE ALGODÃO NO MALI: UMA EXPERIÊNCIA DE COOPERAÇÃO SUL-SUL Camila S. Franco, Andréa A. R. Corrêa, Luciana Sanches	845
TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE AVES EM CONSÓRCIO COM ESGOTO DOMÉSTICO Elzio Lima da Silva Júnior, Selma Cristina da Silva	850
TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL EM PROTÓTIPO DE SISTEMA WETLAND VERTICAL José Gabriel Mendes dos Santos, Monalisa Rita Barreto, André Oliveira Silva	859
USO DE POLÍMERO ORGÂNICO SINTÉTICO E NATURAL (MORINGA OLEIFERA LAM.) COMO AUXILIAR DA COAGULAÇÃO COM O AL2(SO4)3 E POLIFER Ianca Carneiro de Carvalho, Isabel Cristina Silva Maia, Selma Cristina da Silva	869

WETLANDS CONSTRUÍDOS COM MEIO SUPORTE DE SOLO E FIBRA DE COCO PLANTADOS COM FEIJÃO (PHASEOLUS VULGARIS) NA REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM ESGOTOS DOMÉSTICOS Daniely Teixeira de Carvalho, Joyce Kaline Sousa Santos, Francisco de Souza Fadigas	879
WETLANDS CONSTRUÍDOS – PARADIGMA DO SANEAMENTO ECOLÓGICO COMO ALTERNATIVA PARA AS ÁREAS RURAIS DE PETROLINA-PE Michele Mota Sampaio Lopes Sousa	890

6. Eixo Temático 6 – Resíduos Sólidos

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INSERÇÃO DE BIODIGESTORES EM ZONAS RURAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO David Ryan Correia Albuquerque, Silvia Leticia Silvestre Martins, Iarley Souza Bezerra	900
ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E VOLUMETRIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRESENTES NA COMUNIDADE DE VÁRZEA COMPRIDA DOS LEITES, POMBAL-PB Sanara de Sousa Ribeiro, José Maurílio Fernandes da Silva, Ronierio Lima dos Santos Junior	910
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E COMPOSTAGEM NA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR Endrew Kauan Carvalho Campos, Cândida Lucile Pereira Martins, Kenia Alves Pereira	920
APROVEITAMENTO DA CASCA DE BANANA COMO INGREDIENTE SUSTENTÁVEL NA FORMULAÇÃO DE COOKIES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DE RESÍDUOS RURAIS Cândida Martins, Marcos Sousa Neto, Kênia Alves Pereira	928
APROVEITAMENTO DAS CASCAS DE ARROZ PARA REMOÇÃO DE COBRE EM LEITO FIXO Isadora Kayllane Tavares de Almeida, Thâmara Martins Ismael de Sousa, Naiara Angelo Gomes	939
COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NO CAMPUS JORGE AMADO DA UFSB COMO FERRAMENTA DE SENSIBILIZAÇÃO AMBIENTAL Gabriel Nunes dos Santos, Narcísio Cabral de Araújo	948
COMPOSTAGEM DE PALHADA DE CAPIM ASSOCIADA AO ESTERCO DE BODE: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO Luiz Felipe Lima de Morais Brito, Wylton Martins França, Tonivan Silva de Carvalho	958

FABRICAÇÃO E USO DE BIODIGESTOR COMO RECURSO EDUCATIVO E SUSTENTÁVEL NA UABJ Ludmilla Emilly Miro Silva, João Martins da Silva Neto, Débora Fernanda Silva	970
OFICINAS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM EM COMUNIDADES RURAIS PARA AMPLIAR HORIZONTES DE EDUCAÇÃO EM SOLOS E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS Vitória Raiany do Nascimento Sousa, Jarlean Lopes Nóbrega, Dayanne Sthefany Marques Almeida	979
INTEGRAÇÃO DE EDUCAÇÃO ALIMENTAR E SUSTENTABILIDADE NA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR DO ENSINO FUNDAMENTAL I Yanara Gomes de Oliveira, Cândida Lucile Pereira Martins, Alfredina dos Santos Araújo	991
O PAPEL DO RÁDIO NA GESTÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS NAS ÁREAS RURAIS: ESTUDO DE CASO Jarlean Lopes Nóbrega, Dayanne Sthefany Marques Almeida, Robymar da Silva Nascimento	998
O POTENCIAL DA IMPLEMENTAÇÃO DE SOFTWARE DE GESTÃO DE RESÍDUOS EM COMUNIDADES RURAIS: INTEGRAÇÃO COM MODELOS DE COLETA E TRATAMENTO Willy Brandt Francisco Ramalho Medeiros Costa, Andréia Matos Brito, Janisi Sales Aragão	1007
PRODUTIVIDADE DO RABANETE (RAPHANUS SATIVUS L.) FERTIRRIGAÇÃO COM BIOFERTILIZANTE DA CASCA DO FRUTO DO CACAU (THEOBROMA CACAO L.) Anna Mel Passos de Almeida, Narcísio Cabral de Araújo	1017
PROJETO DE REQUALIFICAÇÃO DO LIXÃO DE SENHOR DO BONFIM: DO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL AO IMPACTO ECONÔMICO NA LEI ORÇAMENTÁRIA ANUAL Heitor de Santana Rodrigues, José Fernando Thomé Jucá, Martha Maria Bezerra Santos	1027
PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTA DIGITAL PARA GESTÃO EFICIENTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA - PE Joyce da Cruz Lima, Luan Santos Benevides, Plynio Armando da Silva Domingo	1037
PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA COMUNIDADES DE CARACTERÍSTICAS RURAIS COM BASE NAS OCUPAÇÕES ALTO DA CONQUISTA E MARIELLE FRANCO EM SIMÕES FILHO-BA Thamiris Santos de Santana, Vítor Manoel Martins Barreto, Maria Laura Brito Reis Santos	1047

RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: UM DIAGNÓSTICO DA DESTINAÇÃO NA PERCEPÇÃO DOS COMERCIANTES NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB Deborah Margarida Pereira Januário, Thais Ribeiro Luna de Melo, Eryck Allan Alves Fernandes	1057
RESÍDUOS SÓLIDOS NAS ROMARIAS DE JUAZEIRO DO NORTE-CE E SEUS IMPACTOS EM ÁREAS RURAIS Cícera Vanessa Lins Ferreira, Luis Claudio Santos de Santana, Ronizia Ramalho Almeida	1066
TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM COMBUSTÍVEIS VIA PIRÓLISE: POTENCIAL AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO Valdoester Leandro Duarte Filho	1075
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE TINTA DE SOLO E RESTAURAÇÃO DE PEÇAS DO ARTESANATO DE BARRO Joycy Silva, Ivson de Sousa Barbosa, Adriana de Fátima Meira Vital	1083
VALIDAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE LODO DE ETE DO CARIRI-CE: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO PROCESSO Antonio Lucas Costa Soares, Ana Clarice Rocha Araujo, Mariane de Souza Rodrigues Leal	1093

7. Eixo Temático 7 – Desenvolvimento Sustentável

A ARBORIZAÇÃO URBANA COMO ESTRATÉGIA CLIMÁTICA EM CENTROS URBANOS DO NORDESTE: UM ALINHAMENTO DOS ODS 11 E 15 Iarley Souza Bezerra, Cicera Valéria Figueiredo Araújo, Francisco Lopes da Silva Júnior	1103
A ASCENSÃO DAS INDÚSTRIAS CALÇADISTAS NA REGIÃO NORDESTE E SEUS IMPACTOS COM BASE NA ESG Gisele Ventena de Medeiros, Lidielly de Oliveira Rodrigues, Thiago Silva Ricardo	1113
A IMPORTÂNCIA DO ENVOLVIMENTO DOS GESTORES MUNICIPAIS EM PROJETOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE DO PROJETO SUSTENTAR RURAL NO CEARÁ Alyne Gessick Pinheiro da Silva Lima, Jane Paulino Pereira, Alaíde Régia Sena Nery de Oliveira	1123
ACESSO UNIVERSAL E EQUITATIVO A ÁGUA POTÁVEL E SEGURA NO MEIO RURAL BRASILEIRO COM SOLUÇÕES ALTERNATIVAS E SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA Lucas Breno dos Santos, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva	1133
ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DE TERRITÓRIOS INDÍGENAS À EXPOSIÇÃO POR AGROTÓXICOS Thays Mitsuko Tsuji, Fábio Sergio Lima Brito, Antonia de Fátima Lima Simões	1143
APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AIA NAS FASES DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA	1153

NO NORDESTE BRASILEIRO Ítalo Esaú Silva Barbosa, Thiago Silva Ricardo, Lidielly de Oliveira Rodrigues	
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM STEAM: EDUCAÇÃO AMBIENTAL E O DESAFIO DO TRATAMENTO DE ÁGUAS Socorro Dias Morais, Camila Silvestre Moreira, Francisca Sara Rodrigues Moreira	1163
ATITUDE CONSCIENTE: EDUCAÇÃO E AÇÃO COMUNITÁRIA NO SANEAMENTO DE ÁREAS COSTEIRAS Valmir Ramos da Silva, Ângela Maria dos Santos Schepp	1171
COMPOSTO ORGÂNICO DE CASCAS DOS FRUTOS DE CACAU NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMÃO Narcísio Cabral de Araújo, Felipe Campos da Silva	1179
CONTROLE DE PERDAS E DESAFIOS NA UNIVERSALIZAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DE PARATINGA-BA Melissa de Jesus Menezes, Vitor dos Santos Torres, Camila Leal Vieira	1189
DESAFIOS E POTENCIALIDADES DO REUSO DE ÁGUA NO CONTEXTO BRASILEIRO: ASPECTOS CULTURAIS, ECONÔMICOS E BARREIRAS TECNOLÓGICAS Emanuel Silva, Iane Moreira, Victoria Soter	1200
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, SOCIOCULTURAL E DAS CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS COMUNIDADES DA ETNIA PANKARARU Sandoval Cicero dos Santos, Victor Henrique de Souza Araujo, Yovanka Pérez Ginoris	1211
EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO FERRAMENTA DE SENSIBILIZAÇÃO PARA A MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS José Moisés Cruz da Silva, Thainá Azevedo, Luísa Araújo	1220
EDUCAÇÃO POPULAR EM SAÚDE E SANEAMENTO AMBIENTAL: FORMAÇÃO TRANSFORMADORA EM COMUNIDADES RURAIS E INDÍGENAS Ana Marise Pereira Gomes, Rosany Lopes Martins	1230
EDUCAÇÃO, SAÚDE E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO PROJETO SUSTENTAR RURAL: PERCEPÇÕES DE COMUNIDADES RURAIS NO CARIRI CEARENSE Jane Paulino Pereira, Daniel Salgado Pifano, Cleonice Almeida da Silva	1239
ESTUDO ECOTOXICOLÓGICO DA ÁGUA DO RIO BATATEIRAS EM JUAZEIRO DO NORTE – CE Andriely Tiburtino Leite Chaves, André Alencar Oliveira, Isabel Cardoso da Silva Ferreira	1247
EXPERIÊNCIA EXTENSIONISTA SOBRE O RIO CACHOEIRA, ITABUNA/BAHIA Maria Fernanda Dourado Martins, Felipe Andrade Alcântara Rocha, Fabiana de Matos Costa	1257
MELHORANDO A QUALIDADE DO ADOBE EM UMA ALDEIA NO MALI: UMA EXPERIÊNCIA DE COOPERAÇÃO SUL-SUL Andréa A. R. Corrêa, Camila S. Franco, Luciana Sanches	1267

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SANEAMENTO RURAL: UM DESAFIO INTEGRADO Géssica Paim, Elaine Nunes, Francisco Israel Sousa	1273
O PAPEL DA EDUCAÇÃO HÍDRICA NA CONSCIENTIZAÇÃO E GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS Bianca Muniz de Oliveira, Leonardo Basílio da Silva, Sabrina Dafyne Soares Araújo	1279
OS DESAFIOS DA UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO RURAL E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA COMUNIDADE DE PINHÕES, MUNICÍPIO DE POMBAL - PB Francielio Gomes do Nascimento, Sanara de Sousa Ribeiro, José Maurilio Fernandes da Silva	1288
PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS E OLERÍCOLAS COM O USO MÍNIMO DE ÁGUA: CANTEIROS ECONÔMICOS, UM MODELO ALTERNATIVO PARA PRODUÇÃO E FONTE DE RENDA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DE BAIXA RENDA Samuel Pinto Rocha Braga, Jose Alves da Silva Filho, Robert Kennedy da Silva Neves	1298
RAÍZES DA TRANSFORMAÇÃO: ASSOCIATIVISMO PRODUTIVO DA AGRICULTURA FAMILIAR E QUILOMBOLA NO RECÔNCAVO Jamile Almeida dos Santos, Nilson Weisheimer, Israel Marques Campos	1308
PARCERIAS RURAIS E A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ÁGUA EM COMUNIDADES DO SISAR NO CEARÁ Naiane Lima, Otaciana Ribeiro, Larine Vale	1318
REMOÇÃO DE ALGAS DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DA ETE MALVINAS-CE POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO PARA REÚSO Maria Vitória Moura Rufino, Isabelle Maria Diniz Pereira, Lívia Vitória Dantas Domingos	1327
SENSIBILIZAÇÃO AMBIENTAL NO CONTEXTO ESCOLAR: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA DE INSERÇÃO DA TEMÁTICA RESÍDUOS SÓLIDOS NO CURRÍCULO ESCOLAR Gabriel Nunes dos Santos, Narcísio Cabral de Araújo	1337
UNIVASF SUSTENTÁVEL: A CONSTRUÇÃO DE UMA CULTURA AMBIENTAL E SEU IMPACTO NO FORTALECIMENTO DA COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA Marcelino Saturnino da Silva Filho, Raliny Mota de Souza Farias	1347
USO DE ÁGUA DE POÇO NA IRRIGAÇÃO DE MARACUJÁ-AMARELO: RELATO DE EXPERIÊNCIA José Luis de Almeida Barros, Roberto Bezerra Mendes Sá Filho, Valmir de Souza Genovez Junior	1357

8. **Eixo Temático 8 – Mobilização e Participação Social**

A PARTICIPAÇÃO SOCIAL NO SANEAMENTO RURAL DO CEARÁ: O TRABALHO DAS EQUIPES SOCIAIS DO PROGRAMA	1362

ÁGUAS DO SERTÃO Barbara Almas, Kilvia Freitas, Lívia Rodrigues	
AÇÕES DE EDUCAÇÃO EM SAÚDE AMBIENTAL PARA A SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM MUNICÍPIOS RURAIS DO CEARÁ: O PROJETO SUSTENTAR RURAL Cleyton Oliveira Silva, Davi Fernandes Tomé, Nágela Maria de Oliveira Silva	1372
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM BELO JARDIM–PE Maria Letícia da Silva, Maria de Jesus Delmondes Neta, Gabriel Xavier de Holanda Cavalcanti	1388
MAPEAMENTO BIORREGIONAL COMO ESTRATÉGIA DE MOBILIZAÇÃO E PARTICIPAÇÃO SOCIAL PARA O SANEAMENTO RURAL Carla V. H. Ferraz, Júlia A. Barata	1398
PROJETO "RAÍZES E RECOMEÇOS", TRABALHO SOCIAL NO REASSENTAMENTO INVOLUNTÁRIO PARA CONSTRUÇÃO DE BARRAGEM Cléo Teixeira, Bruce Pamponet	1408
REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL DOS SISARS EM PERNAMBUCO: ESTRATÉGIAS DE REGIONALIZAÇÃO PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO RURAL Bruna Marques Soares, Alexandre Carlos Araujo de Santana, William Ferreira da Silva	1417
SABERES TRADICIONAIS COMO PROMOTORES DA SEGURANÇA HÍDRICA EM REGIÕES DE SEMIÁRIDO Hugo Larchert de Oliveira, Jeanes Martins Larchert, Thamiris Santos de Santana	1429
SANEAMENTO RURAL NO BRASIL E AS DIFICULDADES DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA ELABORAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMENTO BÁSICO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA Laiza Vitória Leão de Carvalho, João Victor Fagundes de Oliveira, Pétala Martins Lopes de Souza	1441
VIDEOCONFERÊNCIAS COMO INSTRUMENTO METODOLÓGICO PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO Ângela Patrícia Deiró Damasceno, Eduardo Linhares Loureiro	1452

9. **Eixo Temático 9 – Tecnologias Digitais no Saneamento Rural**

ANÁLISES DE CRITÉRIOS MORFOMÉTRICOS E HIDROLÓGICOS EM BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS João Augusto Marques da Silva, Maria Alaide dos Santos, Rita de Cássia Braga Assunção	1462
APLICAÇÕES DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO MONITORAMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO RURAL: A INTEGRAÇÃO DA IOT EM CISTERNAS NO BRASIL João Pedro de Brito Matias, Miriam Cleide Cavalcante de Amorim	1472
BIODIGESTOR SERTANEJO DIGITAL: APLICAÇÃO WEB PARA DIMENSIONAMENTO, MONITORAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE NO SANEAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO Johann Torres, Marcos Padilha, Marcilio Máximo	1482
CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DOS BREJOS DE ALTITUDE NA REGIÃO IMEDIATA DE PRINCESA ISABEL - PB Nicolle Marques, Erickson Albuquerque, Cícero Souza	1491
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS EM LAJES/RN João Augusto Marques da Silva, Rita de Cássia Braga Assunção, Maria Alaide dos Santos	1500
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA IOT COM APLICAÇÃO WEB PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM CISTERNAS Antonio dos Santos Filho, Thyago Torres de Castro Gama, Miriam Cleide Cavalcante de Amorim	1510
GESTÃO HÍDRICA RURAL: APLICAÇÃO DE BUSINESS INTELLIGENCE PARA O CONTROLE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO EM PARATINGA-BA Vitor dos Santos Torres, Melissa de Jesus Menezes, Camila Leal Vieira	1520
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO SANEAMENTO BÁSICO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM ENFOQUE NO PROJETO AQUA Heron Carlos da Silva Santos, Wemerson de Carvalho Batista, Silvanete Severino da Silva	1530
PRODUÇÃO AUTOMATIZADA DE MAPAS TEMÁTICOS PARA PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO: ESTUDO DE CASO DO PROJETO PLANSANEAR Rafael Amorim Viana de Moura, Rafaela Cristina de Souza Nascimento, Carlos Laécio Evangelista Franca	1540
PROJETO AQUA: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO RURAL Giovanna Vilela Marques, Amanda Carolina dos Santos Passos, Silvanete Severino da Silva	1551
USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA ESTIMATIVA DE POPULAÇÃO SEM ACESSO A ÁGUA E ESGOTO	1560

NO MUNICÍPIO DE QUEIMADAS - PB Renato Fernandes Bandeira, Diego Silveira Varela, Isaac José Bastos de Souza Filho	
USO DO EPICOLLECT5 PARA COLETA DE DADOS GEOREFERENCIADOS SOBRE SANEAMENTO RURAL NOS MUNICÍPIOS DE CANUDOS/BA E SENTO SÉ/BA Carlos Franca, Rafaella Medeiros, Rafael Moura	1570

10. **Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores**

A DEFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO EM ZONAS RURAIS E A SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE PÚBLICA DA COMUNIDADE Glécia Souza, Railson Diego, Mariana dos Santos	1578
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE EURÍPEDES, EM QUIXADÁ – CE, COM ÊNFASE EM INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO FECAL Tiago Marculino Alves, Ana Beatriz de Oliveira Ribeiro, Clemilson Nogueira Paiva	1588
ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE SEDIMENTOS DO RIO BATATEIRAS EM JUAZEIRO DO NORTE-CE Andriely Tiburtino Leite Chaves, Levi de Oliveira Dantas, Islania Nádia da Silva Alcantara	1597
DIAGNÓSTICO DO SANEAMENTO NO DSEI PORTO VELHO: TRABALHO, IMPACTOS E DESAFIOS NA SAÚDE AMBIENTAL INDÍGENA Ecicleuton Monteiro da Silva, Rodrigo Tokuta Castro, Tássio da Costa Honório	1607
SANEAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RECÔNCAVO NORTE E INHAMBUPE – UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA Marley Oliveira de Souza, José Moisés Cruz da Silva, Luísa Magalhães Araújo	1619
IMPACTOS DO CONSUMO DE ÁGUA CONTAMINADA NA SAÚDE INFANTIL: PREVALÊNCIA DE PARASITOSES INTESTINAIS EM CRIANÇAS DE COMUNIDADES RURAIS Igor Leon da Silva Barreto, Girlane Souza da Silva Santos, Lílian de Oliveira Coelho Nascimento	1628
IMPACTOS DO SANEAMENTO INADEQUADO NA INCIDÊNCIA DE DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA EM BELO JARDIM-PE Sabrina Dafyne Soares Araújo, Renan Bezerra Rosa, Silvanete Severino da Silva	1638
INCIDÊNCIA E PREVALÊNCIA DA TOXOPLASMOSE CONGÊNITA NOS ESTADOS DO CEARÁ, PARAÍBA, PERNAMBUCO E RIO GRANDE DO NORTE ENTRE 2020 E 2025 Matheus Bassi Soares, André Sobral	1648
QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO NORDESTE BRASILEIRO: REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA	1659

Denilson Gualberto de Sousa, Eryck Allan Alves Fernandes, Sanara de Soua Ribeiro	
QUALIDADE E COBERTURA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ALAGOINHAS/BA: IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE PÚBLICA Elisiane Dantas, Natiele Souza, Luísa Magalhães	1668
RELAÇÃO ENTRE A DEFICIÊNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO E À SAÚDE PÚBLICA EM BELO JARDIM-PE Thaise de Souza Santos, Thamires Carolayne Cavalcanti Moura, Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves	1677
RESISTÊNCIA EM TRIATOMÍNEOS VETORES DA DOENÇA DE CHAGAS: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA Marianna Silva de Moura, Ingrid Lima, Giovanna Almeida Cardoso	1687
REVISÃO INTEGRATIVA: PERSPECTIVA DO USO DO ASPERGILLUS NA DEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS Renan de Sousa Araujo, Maria Lucilene Queiroz da Silva, Raí de Sousa Araujo	1697
RISCO DE TRANSMISSÃO DE DOENÇAS POR PRAGAS URBANAS EM ALAGOINHAS - BA: FATORES AMBIENTAIS, COMPORTAMENTAIS E CLIMÁTICOS Ana Camile Barbosa Rodrigues, José Moises Cruz da Silva, Camilly Silva Rodrigues Soares	1707
SANEAMENTO NO LITORAL NORTE E AGRESTE BAIANO – UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA Marley Oliveira de Souza, José Moisés Cruz da Silva, Luísa Magalhães Araújo	1717
SANEAMENTO, VIGILÂNCIA EM SAÚDE E SAÚDE PÚBLICA: UMA REVISÃO NARRATIVA (2021–2025) Thainá Azevedo, Camila Mauricio, Janiara Batista	1726
SAÚDE PÚBLICA: RELAÇÃO ENTRE SANEAMENTO BÁSICO E A PREVENÇÃO DE DOENÇAS Franciele de Carvalho Messias, José Moisés Cruz da Silva, Felipe Kelve Oliveira Nascimento	1736

11. **Eixo Temático 11 – Energia**

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DA FRAÇÃO LÍQUIDA DO PEDÚNCULO DO CAJU Yasmin Pereira da Silva, Francisco das Chagas Gomes da Silva Junior, Clemilson Nogueira Paiva	1746
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA UNIDADE AFETOS – PESQUEIRA Wedja de Souza Lins, Camila Daniele Ferreira dos Santos, André Queiroz Carvalho de Araújo	1756
POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DE RESÍDUOS DE LARANJA DE UMA CEASA NO CEARÁ Marcela de Sousa Lopes, Ariane das Neves Coelho, Tyronne Santiago Nantua	1766

12. **Eixo Temático 12 – Agricultura**

ÁGUA RESIDUÁRIA DA PISCICULTURA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO MINERAL NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE MAMOEIRO Erick Meira dos Santos, César Fernandes Aquino, Lívia de Souza Gomes Pereira	1776
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO DA SANAMA PARA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS NO SEMIÁRIDO ALAGOANO Christian Barbosa, Lucas Candido	1785
AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS GENÓTIPOS DE Paspalum notatum E P. lepton IRRIGADAS COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS Fábio Lopes, Simone Silva, Maria Silva	1794
COMPOSIÇÃO PRELIMINAR NITROGENADA E FOSFATADA DO LODO PÓS-CALAGEM GERADO EM UMA ETE DO CARIRI Ana Clarice Rocha Araujo, Italo Soares Freire, Francisco Tiago Marques de Sousa	1803
EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NO DESENVOLVIMENTO DE Axonopus parodii e A. compressus Simone Silva, Fábio Lopes, Maria Silva	1813
EFLUENTE DE BIODIGESTOR NA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O CULTIVO DE VIDEIRAS Eduardo da Silva Santos, Gabriel dos Santos Barros, Paula Capita Siqueira	1822
ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIO COM APORTE DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM CRATO, CE. Ana Millene dos Santos Silva, Janisi Sales Aragão, Maria Lucilene Queiroz da Silva	1831
GUARDIÃ DAS ÁGUAS: MONITORANDO A QUALIDADE DA ÁGUA DE UM TRECHO DO RIACHO DAS TIMBAÚBAS, JUAZEIRO DO NORTE-CE Maria Aparecida Nascimento Silva, Ana Millene dos Santos Silva, Francisca Adriana Fernandes Simões	1841
NUTRIBIOIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DA PISCICULTURA NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DA UVA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS Maurício da Silva de Araújo, César Fernandes Aquino, Lívia de Souza Gomes Pereira	1852
PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM UNIDADE DE PRODUÇÃO FAMILIAR Marcondes Ferreira Costa Filho, Rita De Cassia Braga Assuncao, Maria Alaide Dos Santos	1862
REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTE AQUÍCOLA: VIABILIDADE E RISCOS DE SALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR	1872

Tereza Amélia Lopes Cizenando Guedes Rocha, Silvanete Severino da Silva, Rafael Oliveira Batista	
USO DA CASCA RESIDUAL DA UVA NA ADUBAÇÃO PRODUÇÃO DE COENTRO Ana Carolina de Melo Vasconcelos, Luana Souza Araujo, Eliatania Clementino Costa	1883
USO DE BIOFERTILIZANTE COMPOSTO POR ÁGUAS AMARELAS E MANIPUEIRA NA FERTIRRIGAÇÃO DO MILHO AG 1051 Narcísio Cabral de Araújo, Roseane Carneiro de Oliveira, Carlos Eduardo Pereira	1892
USO DE CASCAS RESIDUAIS DE BANANAS COMBINADAS COM ESTERCO NA ADUBAÇÃO DE COENTRO Ana Carolina de Melo Vasconcelos, Ana Vitória Rocha Ramos, Rosana Yuki Takakura	1902
VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DO CHÁ VERDE (Camellia sinensis) PARA A BIOSSÍNTESE DE NANOFERTILIZANTES Emmily Nayara, Bárbara Santana, Giovanna Vilela	1908

13. **Eixo Temático 13 – Modelos de Governança da Área Rural**

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF WEB SOFTWARE FOR MANAGEMENT OF THE ÁGUAS DO SERTÃO PROGRAM IN THE SCOPE OF RURAL SANITATION IN THE STATE OF CEARÁ (SIGPAS) Flávia Mendes Lacerda Alves, Antonio Negreiros Bastos, Camila Fernandes Lima	1918
TRABALHO SOCIAL NA GOVERNANÇA EM SANEAMENTO RURAL: Experiência de assessoramento técnico no modelo SISAR - PE Ana Lúcia Alencar da Cunha Lima, William Ferreira da Silva, Alexandre Carlos Araújo de Santana	1938
EXPERIÊNCIAS LATINO-AMERICANAS NO SANEAMENTO RURAL: EXISTEM LIÇÕES PARA O FORTALECIMENTO DA GOVERNANÇA NO BRASIL? Laura Magalhães Rocha e Silva, Fernanda Deister Moreira, Matheus Valle de Carvalho	1928

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034522

ATUAÇÃO DA FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA) NAS ENCHENTES DO RIO GRANDE DO SUL: EXPERIÊNCIA DE APOIO EM SITUAÇÕES DE DESASTRES

ACTUACIÓN DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SALUD (FUNASA) EN LAS INUNDACIONES DE RIO GRANDE DO SUL: EXPERIENCIA DE APOYO EN SITUACIONES DE DESASTRES

PERFORMANCE OF THE NATIONAL HEALTH FOUNDATION (FUNASA) IN THE FLOODS OF RIO GRANDE DO SUL: SUPPORT EXPERIENCE IN DISASTER SITUATIONS

Roseane Batista da Cunha[1] e Alba de Oliveira Lemos[2].

[1]Especialização em Vigilância em Saúde Ambiental e Engenharia Sanitária e Ambiental, Fundação Nacional de Saúde, Paraíba, Brasil, roseane.cunha@funasa.gov.br;
[2]Doutorado em Biologia Vegetal, Fundação Nacional de Saúde, Pernambuco, Brasil, aolemos@gmail.com.

Eixo 01 – Mudanças Climáticas
Estratégias de mitigação e adaptação para o saneamento rural diante do aquecimento global

Eje 01 – Cambio climático
Estrategias de mitigación y adaptación para el saneamiento rural ante el calentamiento global

RESUMO

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) exerce papel estratégico na proteção da saúde pública em situações de desastre, atuando na prevenção, mitigação e resposta a riscos ambientais por meio do Plano de Atuação em Situações de Desastres, que articula ações de saúde ambiental e engenharia de saúde pública em alinhamento ao Sistema Único de Saúde (SUS) e à Portaria/MS nº 372/2005, que instituiu mecanismos de planejamento e monitoramento emergencial. Essa relevância ficou evidente nas enchentes históricas que atingiram o Rio Grande do Sul em 2024, quando chuvas extremas, intensificadas pelas mudanças climáticas e associadas a fenômenos meteorológicos cada vez mais frequentes e intensos, provocaram o transbordamento de rios, a destruição de cidades e o maior desastre natural da história do estado, afetando 478 dos 497 municípios, quase 1,5 milhão de pessoas e resultando em milhares de desabrigados, desalojados, feridos, desaparecidos e mortos, em um cenário classificado como nível III pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), o que exigiu ampla mobilização das três esferas de governo e apoio internacional. Nesse contexto, a FUNASA coordenou esforços em três eixos principais: coordenação estratégica, segurança e qualidade da água e educação em saúde ambiental. No primeiro, esteve presente em briefings diários no Comando Militar do Sul e em reuniões com órgãos de saúde, UNICEF e entidades humanitárias, assegurando alinhamento das ações; no segundo, capacitou equipes municipais para coleta de amostras de água para que as equipes da Funasa realizassem análises de qualidade da água, abrangendo parâmetros físico-químicos e microbiológicos como turbidez, pH, cloro residual, coliformes e *Escherichia coli*, fundamentais diante do risco de contaminação que ocorre em enchentes agravadas por eventos climáticos extremos; e, no terceiro, promoveu mutirões, capacitações de agentes de saúde e atividades educativas em escolas, comunidades e abrigos, em parceria com UNICEF, Cruz Vermelha, Marinha e

organizações locais. Além da resposta imediata, essas iniciativas reforçam a resiliência comunitária frente à tendência crescente de desastres associados às mudanças climáticas, que potencializam vulnerabilidades sociais, ampliam riscos sanitários e impõem novos desafios à saúde pública. Assim, a atuação da FUNASA no desastre de 2024, não apenas contribuiu na mitigação dos agravos, garantindo condições mínimas de saúde e dignidade em meio à crise, mas também reafirmou sua importância como órgão essencial na integração entre prevenção, resposta técnica e educação ambiental, evidenciando que a adaptação às mudanças climáticas demanda políticas públicas consistentes, planejamento interinstitucional e fortalecimento contínuo da capacidade de resposta às emergências ambientais e sanitárias.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Desastres Naturais; Saúde Pública; Qualidade da Água; Educação em Saúde Ambiental.

RESÚMEN

La Fundación Nacional de Salud (FUNASA) desempeña un papel estratégico en la protección de la salud pública en situaciones de desastre, actuando en la prevención, mitigación y respuesta a riesgos ambientales a través del Plan de Actuación en Situaciones de Desastres, que articula acciones de salud ambiental e ingeniería de salud pública en alineación con el Sistema Único de Salud (SUS) y con la Ordenanza/MS nº 372/2005, que instituyó mecanismos de planificación y monitoreo de emergencias. Esta relevancia se hizo evidente en las históricas inundaciones que afectaron a Rio Grande do Sul en 2024, cuando lluvias extremas, intensificadas por el cambio climático y asociadas a fenómenos meteorológicos cada vez más frecuentes e intensos, provocaron el desbordamiento de ríos, la destrucción de ciudades y el mayor desastre natural en la historia del estado, afectando a 478 de los 497 municipios, a casi 1,5 millones de personas y resultando en miles de personas sin hogar, desplazadas, heridas, desaparecidas y muertas, en un escenario clasificado como nivel III por el Sistema Nacional de Protección y Defensa Civil (SINPDEC), lo que exigió una amplia movilización de los tres niveles de gobierno y apoyo internacional. En este contexto, FUNASA coordinó esfuerzos en tres ejes principales: coordinación estratégica, seguridad y calidad del agua, y educación en salud ambiental. En el primero, estuvo presente en sesiones informativas diarias en el Comando Militar del Sur y en reuniones con organismos de salud, UNICEF y entidades humanitarias, asegurando la alineación de las acciones; en el segundo, capacitó a equipos municipales para la recolección de muestras de agua, a fin de que los equipos de Funasa realizaran análisis de calidad del agua, abarcando parámetros físico-químicos y microbiológicos como turbidez, pH, cloro residual, coliformes y Escherichia coli, fundamentales ante el riesgo de contaminación en inundaciones agravadas por fenómenos climáticos extremos; y, en el tercero, promovió campañas, capacitaciones de agentes de salud y actividades educativas en escuelas, comunidades y refugios, en alianza con UNICEF, Cruz Roja, Marina y organizaciones locales. Más allá de la respuesta inmediata, estas iniciativas refuerzan la resiliencia comunitaria frente a la tendencia creciente de desastres asociados al cambio climático, que potencian vulnerabilidades sociales, amplían riesgos sanitarios e imponen nuevos desafíos a la salud pública. Así, la actuación de FUNASA en el desastre de 2024 no solo contribuyó a mitigar los impactos, garantizando condiciones mínimas de salud y dignidad en medio de la crisis, sino que también reafirmó su importancia como órgano esencial en la integración entre prevención, respuesta técnica y educación ambiental, evidenciando que la adaptación al cambio climático exige políticas públicas consistentes, planificación interinstitucional y fortalecimiento continuo de la capacidad de respuesta ante emergencias ambientales y sanitarias.

Palabras clave: Cambio Climático; Desastres Naturales; Salud Pública; Calidad del Agua; Educación en Salud Ambiental

ABSTRACT

The National Health Foundation (FUNASA) plays a strategic role in protecting public health during disaster situations, acting in prevention, mitigation, and response to environmental risks through the Disaster Response Plan, which coordinates environmental health and public health engineering actions in alignment with the Unified Health System (SUS) and Ordinance/MS No. 372/2005, which established mechanisms for emergency planning and monitoring. This relevance became evident during the historic floods that struck Rio Grande do Sul in 2024, when extreme rainfall, intensified by climate change and linked to increasingly frequent and severe weather phenomena, caused rivers to overflow, cities to be destroyed, and the greatest natural disaster in the state's history. The disaster affected 478 of the 497 municipalities, nearly 1.5 million people, and resulted in thousands of homeless, displaced, injured, missing, and dead, in a scenario classified as Level III by the National Civil Protection and Defense System (SINPDEC), which required broad mobilization from all three levels of government and international support. In this context, FUNASA coordinated efforts along three main axes: strategic coordination, water safety and quality, and environmental health education. In the first, it participated in daily briefings at the Southern Military Command and in meetings with health agencies, UNICEF, and humanitarian organizations, ensuring alignment of actions; in the second, it trained municipal teams to collect water samples so that Funasa teams could carry out water quality analyses, covering physicochemical and microbiological parameters such as turbidity, pH, residual chlorine, coliforms, and Escherichia coli, which are critical given the contamination risks that arise in floods aggravated by extreme climate events; and in the third, it organized campaigns, training for health agents, and educational activities in schools, communities, and shelters, in partnership with UNICEF, the Red Cross, the Navy, and local organizations. Beyond immediate response, these initiatives strengthen community resilience in the face of the growing trend of climate change–related disasters, which exacerbate social vulnerabilities, increase health risks, and impose new challenges on public health. Thus, FUNASA's role in the 2024 disaster not only helped mitigate the impacts, ensuring minimum health and dignity conditions amid the crisis, but also reaffirmed its importance as an essential institution in integrating prevention, technical response, and environmental education, highlighting that adaptation to climate change requires consistent public policies, interinstitutional planning, and continuous strengthening of response capacity to environmental and health emergencies.

Keywords: Climate Change; Natural Disasters; Public Health; Water Quality; Environmental Health Education

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O estado do Rio Grande do Sul, formado por 497 municípios e com população de 10,8 milhões de habitantes, foi severamente impactado por chuvas persistentes de 2024. O desastre

afetou 425 municípios, resultando em quase 1,5 milhão de pessoas atingidas, tanto das áreas urbanas, quanto das zonas rurais. Milhares de pessoas ficaram desabrigadas e mais de 2 milhões de habitantes tiveram o fornecimento de água potável interrompido por diversos dias. Esse evento é considerado sem precedentes no Brasil e o maior desastre desta natureza em extensão no país (BRASIL, 2024).

Entre os impactos causados por desastres naturais, como as enchentes, destacam-se os danos à rede de distribuição de água para consumo humano, que comprometem o fornecimento de água potável à população. Além disso, as fontes de água acabam sendo contaminadas por agentes químicos e microbiológicos presentes nas águas das enchentes, o que representa um sério risco à saúde pública, pois aumenta a probabilidade de ocorrência de doenças transmitidas pela ingestão de água contaminada (FREITAS e XIMENES, 2012). Diante desse cenário, uma das ações de resposta para mitigação desse problema é por meio do monitoramento e análises da qualidade da água distribuída e consumida pelas populações afetadas, a fim de garantir água segura (FREITAS e XIMENES, 2012), em conformidade com a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

Em situações de desastres, ações de educação em saúde apresenta-se como um intrumento que deve ser desenvolvido após o evento, em poucos dias ou horas, contribuindo na recuperação, no fortalecendo e na capacidade de resiliência das populações afetadas. (FREITAS e XIMENES, 2012).

Diante da gravidade, a FUNASA atuou de forma coordenada com o Ministério da Saúde, Centro de Operações de Emergência (COE), Secretarias Estaduais e Municipais, além de organizações internacionais, para mitigar riscos sanitários, especialmente relacionados à água para consumo humano. A experiência integra-se às diretrizes do Sistema Único de Saúde (SUS) e ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), reforçando o papel institucional da FUNASA em emergências ambientais (BRASIL, 2018).

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

As ações foram estruturadas em três eixos:

1.Coordenação Estratégica: participação da FUNASA em reuniões do COE e no Comando Militar Sul (Operação Taquari II), alinhamento com secretarias de saúde, UNICEF e Agência Humanitária da Igreja Adventista do Sétimo Dia/ADRA.

2.Segurança e Qualidade da Água: treinamentos com vigilâncias ambientais municipais e avaliação da qualidade da água para consumo humano, através de análises físico-químicas e microbiológicas (cloro residual, pH, turbidez, sólidos totais, condutividade, coliformes totais e *Escherichia coli*).

Esse apoio foi realizado por três equipes em Unidade Móveis de Controle da Qualidade da Água - UMCQA, realizando análises de amostras de água coletadas pelos técnicos dos municípios. Estas equipes foram estrategicamente distribuídas em municípios sedes, de onde receberam amostras dos municípios vizinhos.

Também foram atendidas 31 aldeias indígenas, dos Polos Nonoai e Terra Indígena Guarita, em apoio ao DSEI do Rio Grande do Sul.

A definição dos municípios, que foram atendidos com as ações da Funasa, foi do Conselho das Secretarias de Saúde do Rio Grande do Sul (COSEMS) em conjunto com os municípios. O atendimento na área indígena partiu de demanda da Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI) e a definição dos Pólos foi do Distrito Sanitário Especial Indígena Interior Sul (DSEI SUL).

Para a avaliação da qualidade da água para consumo humano, foram analisados os parâmetros sentinelas (residual do agente desinfetante, turbidez, cor, pH, coliformes totais e *Escherichia coli*), referentes aos dados da Vigilância, que são inseridos no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) e no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Esses parâmetros sentinelas são de diagnóstico rápido, viáveis de serem realizados *in locus*, permitindo o diagnóstico e vigilância em saúde de forma célere, subsidiando as autoridades de saúde pública nas intervenções necessárias (OLIVEIRA JR. *Et al*., 2019).

3.Educação em Saúde Ambiental: mutirões sociais em bairros alagados, ações educativas em escolas e abrigos, capacitação de agentes locais e parcerias com forças militares e organizações sociais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como integrante da Coordenação Estratégica, a Funasa participou em *Briefing* diário na Operação Taquari II no Comando Militar Sul, de reuniões com as Secretarias Municipal e Estadual de Porto Alegre do Vigiágua, Vigidesastres, com as instituições Unicef e Agência Humanitária da Igreja Adventista do Sétimo Dia/ADRA (Figura 1).

Figura 1. Participação em *Briefing* diário na Operação Taquari II no Comando Militar Sul.
Fonte: Funasa.

Também participou em Mutirão Social, junto ao Comando Conjunto da Operação Taquari 2, atendendo moradores do bairro Sarandi, acometido por enchente, com ações de Segurança e Qualidade da Água e ações de Educação em Saúde Ambiental em escola do bairro e clube Comercial Sarandi (Figuras 2).

Figura 2. Participação em Mutirão Social no bairro Sarandi.

Fonte: Funasa.

Juntamente com os Fuzileiros Navais, Cruz Vermelha Internacional, ONG Força e Unicef, atuou em ações educativas e sociais nas Ilhas da Pintada, Ilha Grande dos Marinheiros, Ilha das Flores e Ilha do Pavão (Figura 3).

Figura 3. Ação social nas Ilhas.

Fonte: Funasa.

Os resultados confirmam a relevância da FUNASA como órgão de apoio em emergências ambientais, destacando a interlocução com outras instituições, desenvolvendo ações conjuntas.

No que tange a segurança e qualidade da água para consumo humano, a Funasa treinou 14 técnicos da saúde de cinco municípios sobre as boas práticas na coleta de amostras de água (Figura 4).

Figura 4. Treinamento com técnicos da saúde, Canoas-RS.

Fonte: Funasa.

Foram realizadas 5243 análises (físico-químicas e bacteriológicas) de qualidade da água de 54 municípios (Figura 5), subsidiando as Vigilâncias Ambientais e Sanitárias nas tomadas de decisões, relativas à saúde pública das comunidades atendidas por essa ação. Também 31 aldeias indígenas foram atendidas com realização de 1043 análises de qualidade da água.

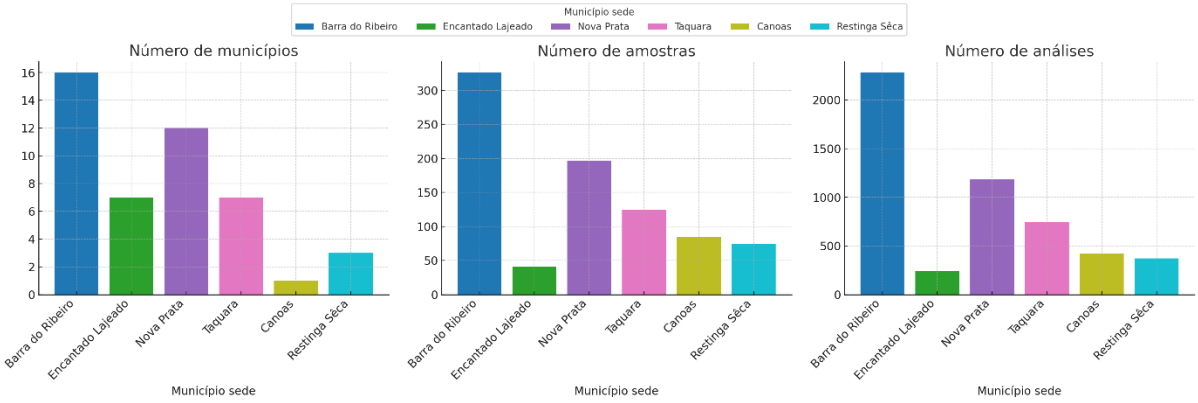


Figura 5. Quantitativo de municípios, amostras de água e de análises da qualidade por Município sede.

Fonte: Funasa.

Com relação as ações de Educação em Saúde Ambiental, houve treinamento com os Agentes Comunitários de Saúde, monitores WASH e multiplicadores locais, fortalecendo a resiliência comunitária (Figura 6).

Figura 6. Ações de Educação em Saúde Ambiental com a Secretaria Municipal de Canoas em Abrigos. Fonte: Funasa.

A experiência demonstra a importância de respostas rápidas, técnicas e educativas para reduzir riscos sanitários em cenários de calamidade pública.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atuação da FUNASA no desastre do Rio Grande do Sul evidencia a relevância de planos estruturados de resposta e da articulação interinstitucional. Além de mitigar impactos imediatos à saúde, as ações fortalecem capacidades locais de vigilância, ampliam a resiliência comunitária e consolidam a saúde ambiental como pilar fundamental na gestão de riscos e desastres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. Protocolo de atuação da Funasa em situações de desastres. Brasília, 2018.

Portaria/MS nº 372, de 10 de março de 2005. Institui comissão destinada ao planejamento e gerenciamento das ações de saúde em desastres.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] União: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 07 de maio 2021.

Freitas, C. M.; Ximenes, E. F. Enchentes e saúde pública: uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. Ciênc. saúde coletiva 17 (6), 2012.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Enchentes e inundações no Rio Grande do Sul em 2024: impactos e desafios para a gestão integrada de políticas públicas no saneamento básico. Dezembro 2024.

Oliveira Júnior, A.; Magalhães, T. B.; Mata, R. N.; Santos, F. S. G.; Oliveira, D. C.; Carvalho, J. L. B.; Araújo, W. N. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua): características, evolução e aplicabilidade. Epidemiol. Serv. Saúde 28 (1), 2019.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034542

AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O SANEAMENTO BÁSICO NO MUNICÍPIO DE BELO JARDIM-PE

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL SANEAMIENTO BÁSICO EN EL MUNICIPIO DE BELO JARDIM-PE

ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATE CHANGE AND BASIC SANITATION IN THE MUNICIPALITY OF BELO JARDIM-PE

Mauro André Santos de Melo[1] e Silvanete Severino da Silva[2]

[1]Bacharelando em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, mauromelo.engenharia@gmail.com, 0009-0000-9738-2348;
[2]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/UABJ), Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;

Eixo Temático I – Mudanças Climáticas
Efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em áreas rurais.

Eje temático I – Cambios climáticos
Efectos de los cambios climáticos sobre la disponibilidad hídrica en áreas rurales

RESUMO

As mudanças climáticas exercem influência direta sobre a disponibilidade hídrica e a eficiência dos serviços de saneamento, especialmente em regiões semiáridas, onde a irregularidade de chuvas e as elevadas temperaturas intensificam os desafios de gestão. Este estudo teve como objetivo analisar a relação entre as variações climáticas, com foco nos indicadores de precipitação e temperatura, e seus impactos sobre os serviços de saneamento básico, identificando vulnerabilidades e desafios para uma gestão sustentável. A metodologia adotada foi de caráter quantitativo, descritivo e exploratório, baseada na análise de séries temporais de dados climáticos referentes ao período de 1994 a 2024 no município de Belo Jardim–PE. Foram utilizados registros de precipitação e temperatura provenientes de bases oficiais, especificamente da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tratados estatisticamente para identificar tendências e variações sazonais. Esses dados foram confrontados com informações sobre os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário obtidas junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e à Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), de modo a avaliar possíveis correlações entre os regimes climáticos e a disponibilidade e eficiência dos serviços prestados. Os resultados apontam forte sazonalidade no regime pluviométrico, concentrado no primeiro semestre do ano, e aumento gradual das temperaturas médias, especialmente nos meses de outubro e dezembro. Essas variações climáticas estão associadas a episódios de intermitência no abastecimento de água, maior

pressão sobre reservatórios e dificuldades para manter a regularidade e qualidade dos serviços de saneamento. Conclui-se que o município apresenta vulnerabilidades hídricas que exigem estratégias de adaptação climática, incluindo investimentos em infraestrutura resiliente, diversificação das fontes de abastecimento e fortalecimento da gestão integrada dos recursos hídricos, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável; Gestão de Recursos Hídricos; ODS 6.

RESÚMEN:

Los cambios climáticos ejercen influencia directa sobre la disponibilidad hídrica y la eficiencia de los servicios de saneamiento, especialmente en regiones semiáridas, donde la irregularidad de las lluvias y las altas temperaturas intensifican los desafíos de gestión. Este estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre las variaciones climáticas, con foco en los indicadores de precipitación y temperatura, y sus impactos sobre los servicios de saneamiento básico, identificando vulnerabilidades y desafíos para una gestión sostenible. La metodología adoptada fue de carácter cuantitativo, descriptivo y exploratorio, basada en el análisis de series temporales de datos climáticos referentes al período de 1994 a 2024 en el municipio de Belo Jardim–PE. Se utilizaron registros de precipitación y temperatura provenientes de bases oficiales, específicamente de la Agencia Pernambucana de Aguas y Clima (APAC) y del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), tratados estadísticamente para identificar tendencias y variaciones estacionales. Estos datos fueron confrontados con informaciones sobre los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado sanitario obtenidas del Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento (SNIS) y de la Compañía Pernambucana de Saneamiento (Compesa), con el fin de evaluar posibles correlaciones entre los regímenes climáticos y la disponibilidad y eficiencia de los servicios prestados. Los resultados señalan una fuerte estacionalidad en el régimen pluviométrico, concentrado en el primer semestre del año, y un aumento gradual de las temperaturas medias, especialmente en los meses de octubre y diciembre. Estas variaciones climáticas están asociadas a episodios de intermitencia en el abastecimiento de agua, mayor presión sobre los reservorios y dificultades para mantener la regularidad y calidad de los servicios de saneamiento. Se concluye que el municipio presenta vulnerabilidades hídricas que exigen estrategias de adaptación climática, incluyendo inversiones en infraestructura resiliente, diversificación de las fuentes de abastecimiento y fortalecimiento de la gestión integrada de los recursos hídricos, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Palabras clave: Desarrollo Sostenible; Gestión de Recursos Hídricos; ODS 6

ABSTRACT

Climate change exerts a direct influence on water availability and the efficiency of sanitation services, especially in semiarid regions, where irregular rainfall and high temperatures intensify management challenges. This study aimed to analyze the relationship between climate variations, focusing on precipitation and temperature indicators, and their impacts on basic sanitation services, identifying vulnerabilities and challenges for sustainable

management. The methodology adopted was quantitative, descriptive, and exploratory in nature, based on the analysis of time series of climate data for the period from 1994 to 2024 in the municipality of Belo Jardim–PE. Records of precipitation and temperature from official sources, specifically the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) and the National Institute of Meteorology (INMET), were used and statistically processed to identify trends and seasonal variations. These data were compared with information on water supply and sewage services obtained from the National Sanitation Information System (SNIS) and the Pernambuco Sanitation Company (Compesa), in order to assess possible correlations between climate regimes and the availability and efficiency of the services provided. The results point to strong seasonality in the rainfall regime, concentrated in the first half of the year, and a gradual increase in average temperatures, especially in October and December. These climate variations are associated with episodes of intermittent water supply, greater pressure on reservoirs, and difficulties in maintaining the regularity and quality of sanitation services. It is concluded that the municipality presents water vulnerabilities that require climate adaptation strategies, including investments in resilient infrastructure, diversification of supply sources, and strengthening of integrated water resources management, in line with the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Sustainable Development; Water Resources Management; SDG 6

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas constituem um dos maiores desafios globais da atualidade, afetando de forma direta e indireta a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, a saúde pública e a infraestrutura urbana. O aumento da temperatura média e as alterações no regime de chuvas têm provocado impactos significativos sobre os sistemas ambientais e sociais, como ressaltam Howard et al. (2016, p. 254): *"O aumento da temperatura, mesmo que restrito a 1,5°C, deverá resultar em mudanças significativas nos padrões de precipitação. Essas mudanças na precipitação afetam a hidrologia local e, consequentemente, as águas subterrâneas"*

Nesse contexto, o saneamento básico – compreendido como o conjunto de serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana – mostra-se particularmente vulnerável às variações climáticas. Eventos extremos, como secas prolongadas e enchentes, influenciam tanto a quantidade quanto a qualidade da água disponível, aumentam a pressão sobre os sistemas de drenagem e coleta de esgoto, e intensificam os riscos à saúde pública. Como afirmam os autores (Howard et al., 2016, p. 257): "Em uma revisão sistemática da relação entre inundações e saúde, constatou-se que surtos de doenças infecciosas são muito mais prováveis em áreas com serviços precários de água e saneamento"

A relação entre precipitação, temperatura e saneamento básico é, portanto, um campo de estudo estratégico, sobretudo em países em desenvolvimento, onde as desigualdades no acesso aos serviços ainda são marcantes. No Brasil, apesar dos avanços legais e institucionais com a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020), muitas cidades ainda enfrentam fragilidades estruturais que podem ser agravadas pelos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, "em muitos países de baixa

renda, dados básicos sobre recursos hídricos e padrões de uso não estão disponíveis, o que torna extremamente difícil avaliar riscos futuros das mudanças climáticas" (Howard et al., 2016, p. 264), evidenciando como a falta de informação e planejamento agrava vulnerabilidades preexistentes.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar a relação entre as variações climáticas, com foco em precipitação e temperatura, e os impactos sobre os serviços de saneamento básico, identificando possíveis vulnerabilidades e desafios para a gestão sustentável.

2. METODOLOGIA

2.1 Procedimentos Metodológicos

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de analisar a variabilidade climática e suas implicações para a disponibilidade hídrica e os serviços de saneamento básico no município de Belo Jardim–PE, situado na mesorregião do Agreste pernambucano. A pesquisa adotou uma abordagem **quantitativa, descritiva e exploratória**, baseada em séries temporais de dados climáticos e informações secundárias de saneamento.

2.2 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Belo Jardim, situado no estado de Pernambuco, conforme apresentado na Figura 1. O território municipal integra a Mesorregião do Agreste Pernambucano e a Microrregião do Vale do Ipojuca, estando inserido nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe e Ipojuca, que abrangem aproximadamente 63% e 37% de sua área, respectivamente. Essas bacias apresentam importância estratégica no contexto regional, uma vez que são responsáveis pelo abastecimento hídrico e pelo atendimento às demandas da população, configurando-se como elementos essenciais para a gestão dos recursos naturais e para a promoção da sustentabilidade hídrica local.

Segundo dados do IBGE (2022), uma população de 79.507 habitantes em uma área territorial de 647,445 km². O Produto Interno Bruto (PIB) per capita é de R$ 35.942,24, enquanto a densidade demográfica atinge 122,80 hab/km², refletindo a relação entre o número de habitantes e a extensão territorial do município.

2.3 Coleta e base de dados climáticos

Foram utilizados dados históricos de precipitação e temperatura referentes ao período de 1994 a 2024, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas e Clima (APAC). Os registros foram organizados em médias mensais, máximas e mínimas absolutas, permitindo identificar a sazonalidade térmica e pluviométrica do município.

2.4 Tratamento estatístico dos dados

Os dados foram sistematizados em planilhas eletrônicas e submetidos a estatística descritiva para cálculo de médias, desvios padrão e identificação de valores extremos.

Posteriormente, foi empregada a análise de tendências climáticas, com base em médias móveis e comparação interanual, de forma a detectar oscilações sazonais e potenciais anomalias. Os resultados foram dispostos em quadros e gráficos, destacando os padrões de variabilidade climática no período analisado.

2.5 Integração com indicadores de saneamento

Paralelamente, foram coletados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e de relatórios da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) referentes à cobertura de abastecimento de água e esgotamento sanitário em Belo Jardim. Essas informações foram cruzadas com os períodos de estiagem e maior variabilidade térmica, visando relacionar a dinâmica climática com a eficiência dos serviços de saneamento básico.

2.6 Discussão integrada

A discussão foi estruturada em duas etapas: (i) análise dos padrões sazonais de temperatura e precipitação, considerando referências científicas regionais e nacionais; e (ii) comparação crítica com a situação local de saneamento, destacando vulnerabilidades e desafios diante da variabilidade climática. Para isso, foram utilizados trabalhos científicos disponíveis em bases como SciELO e Scopus, além de relatórios técnicos de órgãos públicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados climáticos de 1994 a 2024 evidenciou variações sazonais marcantes tanto para a temperatura quanto para a precipitação (Quadro 1). Os registros de temperatura máxima absoluta demonstraram que os valores mais elevados ocorreram em outubro e dezembro, ambos atingindo 35,1 °C, enquanto junho (29,2 °C) e julho (28,9 °C) apresentaram os menores valores. Essa oscilação confirma a influência da radiação solar sazonal, com maior aquecimento no final da primavera e início do verão e resfriamento mais intenso no inverno. Tendência semelhante foi observada por Soares et al. (2020), ao analisar extremos climáticos no Agreste Central, incluindo Belo Jardim, onde foram registradas alterações significativas na distribuição de eventos de calor extremo.

Quadro 1: Resumo da análise dos dados climáticos de precipitação e temperatura referentes ao período de 1994 a 2024 para o município de Belo Jardim-PE.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Recorde Alta (°C) **Recorde Alta (°F)**	33.5 92.3	33.7 92.66	33.6 92.48	33 91.4	31.5 88.7	29.2 84.56	28.9 84.02	30.9 87.62	32 89.6	33.7 92.66	35.1 95.18	34.3 93.74
Média Alta (°C) **Média Alta (°F)**	31.9 89.42	31.8 89.24	31.6 88.88	30.2 86.36	28.2 82.76	25.7 78.26	25.7 78.26	26.8 80.24	29.5 85.1	31.7 89.06	32.7 90.86	32.6 90.68
Média Diária (°C) **Média Diária (°F)**	25.9 78.62	25.8 78.44	25.75 78.35	24.9 76.82	23.6 74.48	21.75 71.15	21.35 70.43	21.7 71.06	23.4 74.12	25.1 77.18	26 78.8	26.05 78.89
Média Baixa (°C) **Média Baixa (°F)**	19.9 67.82	19.8 67.64	19.9 67.82	19.6 67.28	19 66.2	17.8 64.04	17 62.6	16.6 61.88	17.3 63.14	18.5 65.3	19.3 66.74	19.5 67.1
Recorde Baixa (°C) **Recorde Baixa (°F)**	18.8 65.84	18 64.4	18.4 65.12	17.6 63.68	18 64.4	15.7 60.26	15.3 59.54	15 59	16.3 61.34	17.3 63.14	17.9 64.22	18.3 64.94
Média Precipitação (mm)	59,3	45,3	90,5	77,8	87	92,9	66,3	40,8	17,9	26,4	35,6	24,5

As médias das temperaturas máximas mensais corroboram esse padrão, com valores acima de 31 °C entre setembro e dezembro e um pico em outubro (32,7 °C). Durante o período seco, entre maio e agosto, as médias caíram para 25,7 °C, evidenciando uma queda acentuada. A temperatura média diária seguiu comportamento semelhante, variando de 21,3 °C em julho a 26,0 °C em dezembro. Esses resultados estão alinhados ao estudo de Silva et al. (2023), que identificaram tendências de aumento na temperatura média em municípios do semiárido pernambucano, especialmente associadas ao prolongamento de dias quentes (TX90p) e noites quentes (TN90p).

As temperaturas mínimas médias apresentaram estabilidade próxima a 19 °C durante o verão e outono, com redução gradual até agosto, mês em que foi registrada a menor média (16,6 °C). Os recordes de mínima absoluta reforçaram essa tendência, alcançando 15,0 °C em agosto, enquanto os maiores valores ocorreram no verão, destacando-se janeiro (18,8 °C). Tais resultados sugerem maior variabilidade térmica no inverno, possivelmente relacionada à influência de massas de ar frio e à redução da nebulosidade. Rodrigues (2018) demonstrou que a variabilidade da temperatura mínima no Agreste pernambucano possui correlação direta com as anomalias da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico, o que pode explicar flutuações mais intensas observadas em determinados anos.

A precipitação média mensal apresentou forte concentração no primeiro semestre, especialmente em março (90,5mm), maio (87,0 mm) e junho (92,9 mm), configurando os meses mais chuvosos. Em contraste, setembro (17,9 mm) e outubro (26,4 mm) representaram o período mais seco. A precipitação anual média foi estimada em 55,3 mm/mês, evidenciando sazonalidade hídrica pronunciada, típica de regiões de transição entre clima semiárido e tropical. Esses resultados estão em consonância com Pereira et al. (2017), que caracterizaram o Agreste pernambucano como altamente suscetível a extremos climáticos, com alternância entre enchentes localizadas e secas severas. Da mesma forma, Galvíncio et al. (2017) projetaram, por meio de modelagem estatística, que a precipitação no estado poderá apresentar oscilações intensas em função do aumento do CO_2 atmosférico, indicando cenários de incremento pluviométrico em alguns períodos, mas também de maior irregularidade espacial e temporal.

De forma integrada, os resultados obtidos neste estudo indicam um clima sazonalmente contrastante, no qual as temperaturas acompanham o ciclo solar anual e as chuvas se concentram no primeiro semestre. Tais achados convergem com análises recentes que apontam para uma intensificação da variabilidade climática no Agreste, resultado da interação entre fatores locais e influências oceânicas de grande escala (Rodrigues, 2018; Souza et al., 2023). Esse comportamento influencia diretamente a disponibilidade de água, a produtividade agrícola e o planejamento de estratégias de adaptação climática na região.

Como analogia, o regime climático pode ser interpretado como um pulso vital do ambiente, semelhante ao funcionamento do sistema cardiovascular humano. As variações de temperatura correspondem aos picos de pressão, alternando entre expansão (calor) e contração (frio), enquanto a precipitação representa o fluxo sanguíneo, que oscila entre abundância e escassez, mas permanece essencial para a manutenção do equilíbrio do sistema socioecológico local.

A relação entre as variações climáticas e o saneamento básico em Belo Jardim revela vulnerabilidades estruturais e operacionais que comprometem a efetividade dos serviços. Apesar de os dados do SNIS indicarem cobertura total no abastecimento de água (Rosa et al., 2022), a realidade local revela uma dependência frequente de carros-pipa, especialmente durante os períodos de estiagem, quando o abastecimento público pode ser reduzido em até 50%, como observado nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016.

De fato, estudos recentes e regionais demonstram que a irregularidade das chuvas no Agreste pernambucano e a elevação gradual das temperaturas aumentam a evaporação dos reservatórios e reduzem a recarga hídrica (Silva et al., 2022; Costa et al., 2022), o que repercute diretamente no planejamento urbano e na garantia do direito ao acesso à água. Além disso, embora Belo Jardim conte atualmente com uma estação de tratamento de esgoto, o sistema permanece subutilizado devido à ausência de redes coletoras integradas, resultando em baixa eficiência no tratamento e no controle da poluição difusa, situação semelhante a outros municípios da região (Medeiros et al., 2020; Lira et al., 2023).

Assim, os resultados confirmam que a variabilidade climática, somada às lacunas de infraestrutura e gestão, intensifica os desafios para a universalização e a sustentabilidade dos serviços de saneamento básico no Agreste pernambucano.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise evidenciou que a variabilidade climática em Belo Jardim, marcada por aumento gradual das temperaturas médias e irregularidade da precipitação, impacta diretamente a disponibilidade hídrica e a eficiência dos serviços de saneamento básico. Essas condições intensificam vulnerabilidades já existentes, como a intermitência no abastecimento e a pressão sobre pequenos reservatórios, além de demandarem maior rigor no controle da qualidade da água.

Assim, a gestão sustentável do saneamento no Agreste pernambucano exige estratégias de adaptação ao clima, como reuso, proteção de mananciais, inovação tecnológica e fortalecimento da governança hídrica. Tais medidas são essenciais para reduzir riscos e assegurar a resiliência dos sistemas frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, T. P.; Almeida, F. F. A.; Sales Filho, R. L. M.; Souza, W. M.; Galvíncio, J. D. (2025). Vulnerabilidade ambiental e socioeconômica aos eventos extremos de precipitação relacionados a seca no semiárido nordestino – Estudo de caso da Bacia Hidrográfica de Terra Nova – Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 3, p. 1490-1510. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372040798. Acesso em: 13 de set. De 2025.

Galvíncio, J. D. (2021). Impacto do aumento de CO_2 nas precipitações do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1828-1839. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353469826_Impacto_do_aumento_de_CO2_nas_Precipitacoes_do_estado_de_Pernambuco. Acesso em: 13 de set. De 2025.

Lira, A. S.; Oliveira, L. V. B.; Mascarenhas Junior, P. B. (2023). Impactos da poluição urbana sobre a qualidade da água do rio Capibaribe, Pernambuco. *UNIBRA*, p. 1-15.

Medeiros, L. G.; Silva, J. A.; Moraes, A. S.; Piscoya, V. C.; Fallé, L. M. S.; França, M. V.; Silva, L. M. (2020). Decadal precipitation in São Bento do Una - Pernambuco, Brazil. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, v. 8, n. 10, p. 1-9.

Pereira, M. L. T.; Soares, M. P. A.; Silva, E. A.; Montenegro, A. A. de A.; Souza, W. M. (2017). "Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos". *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, n. 4, p. 394-402. Agreste Central de Pernambuco.

Rodrigues, L. O.; Souza, W. M.; Costa, V. S. O.; Pereira, M. L. T. (2017). "Influência dos eventos de *El Niño* e *La Niña* no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco". *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 6, p. 1995-2009. Recife, PE.

Rosa, R. B.; SILVA, L. E. M.; RODRIGUES, J. C.; SILVA, J. R. L.; SILVA, S. S. (2022). Indicadores de saneamento básico: análise do sistema de abastecimento de água da bacia do Rio Ipojuca. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 3, n. 2, p. 1-15.

Souza, W. M.; Almeida, F. F. A.; Soares, M. P. A. (2022). "Avaliação dos índices de extremos climáticos no Agreste Central de Pernambuco". In: *XVI SRHNe / 15º SILUSBA – Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste e Simpósio de Hidráulica & Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa*, Caruaru, PE, 6-11 nov. 2022. Trabalho **XVISRHNE0127**. Caruaru, PE.

Silva, T. R. B. F.; Santos, C. A. C.; Silva, D. J. F.; Santos, C. A. G.; da Silva, R. M.; de Brito, J. I. B. (2022). "Climate Indices-Based Analysis of Rainfall Spatiotemporal Variability in Pernambuco State, Brazil". *Water*, v. 14, n. 14, Artigo 2190, 13 p. Paraíba / Pernambuco. DOI: 10.3390/w14142190.

Soares, J. S.; Silva, F. A. M.; Lima, J. S.; Pereira, M. S. (2020). Avaliação dos índices de extremos climáticos no Agreste Central de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 3, p. 1325-1336. Disponível em:

https://journals.ufrpe.br/index.php/BJAS/article/download/2818/482483278/482488194. Acesso em: 13 de set. De 2025.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 5 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 17 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Altera a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 17 set. 2025.

HOWARD, Guy; CALOW, Roger; MACDONALD, Alan; BARTRAM, Jamie. Climate change and water and sanitation: likely impacts and emerging trends for action. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 41, p. 253-276, 2016. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034572

ENTRE A DESERTIFICAÇÃO E A FALTA DE SANEAMENTO: OS DESAFIOS DAS MULHERES NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

ENTRE LA DESERTIFICACIÓN Y LA FALTA DE SANEAMIENTO: LOS DESAFÍOS DE LAS MUJERES EN EL SEMIÁRIDO DEL NORDESTE

BETWEEN DESERTIFICATION AND LACK OF SANITATION: THE CHALLENGES OF WOMEN IN THE NORTHEASTERN SEMIARID

Iane Moreira[1], Emanuel Silva[2], Benaffe Santos[3].

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Ceará, IFCE, Brasil, ianemoreira14@gmail.com, nº de ORCID:0009-0003-5940-9441;
[2]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do ceará, IFCE, Ceará, Brasil, Ipmarcos21@gmail.com, nº de ORCID:0009-0000-2595-1986;
[3]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do ceará, IFCE, Ceará, Brasil, email@exemplo.com, nº de ORCID:0009-0006-6427-7625

Eixo Temático 01 – Mudanças climáticas
Resiliência feminina e saneamento rural nas áreas de vulnerabilidade climática.

Eje Temático 01 – Cambio climático
Resiliencia femenina y saneamiento rural en áreas de vulnerabilidad climática.

RESUMO

O artigo aborda os impactos da desertificação e da precariedade do saneamento básico no semiárido nordestino, com foco nos desafios enfrentados pelas mulheres. O objetivo foi analisar como esses fatores, agravados pelas mudanças climáticas e pela ausência de políticas públicas efetivas, afetam de forma desigual a vida da população, em especial das mulheres.Os resultados evidenciam que a desertificação, distinta da seca por decorrer de práticas insustentáveis e degradação ambiental, compromete a segurança alimentar, a disponibilidade hídrica e a qualidade de vida. Estima-se que 13% do semiárido já apresente áreas desertificadas, intensificando a vulnerabilidade das comunidades locais. A falta de saneamento agrava esse cenário: a escassez de água segura aumenta a incidência de doenças, enquanto a ausência de coleta e tratamento de esgoto e o descarte inadequado de resíduos aceleram a degradação do solo e a contaminação da água.As desigualdades de gênero tornam os efeitos ainda mais severos para as mulheres, principais responsáveis pela busca de água, pelo cuidado familiar e pela agricultura de subsistência. Esse acúmulo de tarefas amplia sua sobrecarga, riscos à saúde e insegurança econômica. Apesar disso, elas também assumem papel de protagonismo em estratégias de adaptação, como a gestão de cisternas comunitárias, práticas agroecológicas e movimentos sociais, fortalecendo a resiliência socioambiental da região. Enfrentar a desertificação e garantir saneamento no semiárido requer políticas públicas inclusivas e sensíveis ao gênero, capazes de reconhecer e valorizar o papel das mulheres como agentes centrais na construção de soluções sustentáveis. Essa abordagem é fundamental para assegurar justiça socioambiental, saúde e dignidade às populações do

semiárido.

Palavras-chave: Desertificação, Saneamento, Gênero, Semiárido Nordestino, Mulheres

RESÚMEN

El artículo analiza los impactos de la desertificación y la precariedad del saneamiento básico en el semiárido del nordeste de Brasil, con énfasis en los desafíos que enfrentan las mujeres. El objetivo fue examinar cómo estos factores, agravados por el cambio climático y la ausencia de políticas públicas efectivas, afectan de manera desigual la vida de la población, en especial de las mujeres. Los resultados muestran que la desertificación, distinta de la sequía por derivarse de prácticas insostenibles y de la degradación ambiental, compromete la seguridad alimentaria, la disponibilidad hídrica y la calidad de vida. Se estima que el 13% del semiárido ya presenta áreas desertificadas, lo que intensifica la vulnerabilidad de las comunidades locales. La falta de saneamiento agrava este escenario: la escasez de agua segura aumenta la incidencia de enfermedades, mientras que la ausencia de recolección y tratamiento de aguas residuales y el manejo inadecuado de desechos aceleran la degradación del suelo y la contaminación del agua. Las desigualdades de género agravan los efectos sobre las mujeres, principales responsables de la búsqueda de agua, el cuidado familiar y la agricultura de subsistencia. Esta acumulación de tareas incrementa su sobrecarga, riesgos para la salud e inseguridad económica. Sin embargo, las mujeres también asumen un papel protagónico en estrategias de adaptación, como la gestión comunitaria de cisternas, prácticas agroecológicas y movimientos sociales, fortaleciendo la resiliencia socioambiental de la región. Afrontar la desertificación y garantizar el saneamiento en el semiárido requiere políticas públicas inclusivas y sensibles al género, que reconozcan y valoren a las mujeres como agentes centrales en la construcción de soluciones sostenibles.

Palabras clave: Desertificación, Saneamiento, Género, Semiárido Nordestino, Mujeres

ABSTRACT

The article examines the impacts of desertification and inadequate sanitation in Brazil's northeastern semiarid region, focusing on the challenges faced by women. The study aimed to analyze how these factors, intensified by climate change and the absence of effective public policies, disproportionately affect the population, especially women. The findings reveal that desertification, unlike drought as it results from unsustainable practices and environmental degradation, undermines food security, water availability, and quality of life. It is estimated that 13% of the semiarid already presents desertified areas, heightening the vulnerability of local communities. The lack of sanitation worsens this scenario: limited access to safe water increases the incidence of diseases, while the absence of sewage collection and treatment and inadequate waste disposal accelerate soil degradation and water contamination. Gender inequalities make the effects even more severe for women, who are primarily responsible for fetching water, family care, and subsistence farming. This workload exacerbates their burden, health risks, and economic insecurity. Nevertheless, women also play a leading role in adaptation strategies, such as community cistern management,

agroecological practices, and social movements, strengthening the region's socio-environmental resilience. Addressing desertification and ensuring sanitation in the semiarid requires inclusive and gender-sensitive public policies that recognize and value women as central agents in building sustainable solutions.

Keywords: Desertification, Sanitation, Gender, Northeastern Semiarid, Women

INTRODUÇÃO

A desertificação refere-se ao processo pelo qual a terra produtiva fora dos limites naturais do deserto se deteriora e perde sua capacidade de produção, afetando areas agrícolas e a pecuária, onde essas regiões se transformam em deserto (Al-Kulabi, 2022). O semiárido nordestino, região que concentra a maior parte do bioma Caatinga, é marcado por um cenário de alta variabilidade climática e escassez hídrica, que tendem a se intensificar com o aumento das temperaturas e redução das chuvas (J. Marengo et al, 2020). O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que o semiárido brasileiro está entre as áreas mais afetadas pela elevação das temperaturas, redução das chuvas e intensificação da desertificação. Esse processo, que se distingue da seca natural por ser resultado direto da ação humana e da degradação ambiental, compromete não apenas os ecossistemas, mas também a vida das populações que dependem da agricultura familiar e de recursos hídricos limitados para sua sobrevivência (Araujo et al., 2024).

Nesse contexto, a ausência de políticas públicas eficazes de saneamento básico, envolvendo abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo adequado de resíduos, potencializa os efeitos da desertificação. A precariedade dos sistemas de abastecimento obriga comunidades inteiras a depender de fontes de água inseguras, aumentando a exposição a doenças de veiculação hídrica e aprofundando a degradação do solo e da água (Al-Kulabi, 2022). A falta de coleta e tratamento de esgoto, somada ao descarte inadequado de resíduos sólidos, contribui para a contaminação ambiental e compromete ainda mais os recursos naturais já escassos na região.

As desigualdades de gênero intensificam os impactos desse cenário, atingindo de maneira particular as mulheres. São elas as mais atingidas em momentos de crises, principalmente climáticas, na região do semiárido e as que assumem, historicamente, a responsabilidade pela gestão da água no âmbito doméstico, pelo cuidado com familiares adoecidos e pela manutenção da produção agrícola em pequenas propriedades (Tedeschi,

2014). Assim, enfrentam uma sobrecarga de trabalho, a ampliação das vulnerabilidades sociais e maiores riscos à saúde em decorrência do saneamento inadequado. Ao mesmo tempo, são protagonistas de iniciativas comunitárias que buscam soluções sustentáveis, como os programas de cisternas e experiências de convivência com o semiárido, que evidenciam sua centralidade nos processos de resistência e adaptação (Brutto, 2010; Azevedo, 2012).

Dessa forma, compreender como a desertificação e a precariedade do saneamento impactam a vida das mulheres no semiárido nordestino é essencial para a formulação de políticas públicas inclusivas e efetivas. Mais do que um problema ambiental, trata-se de uma questão de justiça social e de gênero, em que reconhecer o papel das mulheres como agentes de transformação é condição indispensável para a promoção de uma convivência sustentável com o semiárido.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo teve como objetivo identificar e analisar a relação entre os desafios enfrentados pelas mulheres no semiárido nordestino e as questões de saneamento em contextos de intensificação da desertificação. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo, com consulta em bases de dados científicas como Google Scholar, SciELO e CAPES Periódicos, privilegiando publicações entre 2010 e 2025. Foram utilizadas como palavras-chave: “semiárido", “desertificação", “mulheres", “gênero", “saneamento” e “Nordeste”. O levantamento inicial resultou em 52 artigos; após a aplicação de critérios de inclusão como pertinência ao recorte geográfico do semiárido nordestino e a abordagem interseccional entre gênero, saneamento e meio ambiente foram selecionados 17 trabalhos para análise aprofundada. Esse recorte possibilitou compreender como as desigualdades de gênero se manifestam de forma particular no semiárido nordestino, evidenciando que o saneamento rural é uma questão estratégica tanto para a equidade social quanto para a resiliência socioambiental frente à desertificação

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise integrada dos dados e referências sobre o semiárido nordestino permite compreender como os processos de desertificação se articulam diretamente com a precariedade do saneamento básico, intensificando vulnerabilidades socioambientais. Ao mesmo tempo, evidencia-se que tais impactos não se distribuem de forma homogênea, recaindo de maneira mais acentuada sobre as mulheres, que acumulam responsabilidades

ligadas à gestão da água, ao cuidado com a saúde da família e à subsistência agrícola (Tedeschi, 2014).

O processo de desertificação no semiárido nordestino constitui um dos mais graves desafios socioambientais do Brasil. Diferente da seca, que é um fenômeno natural e cíclico, a desertificação resulta da combinação de fatores climáticos extremos com práticas humanas insustentáveis, como o desmatamento da Caatinga, queimadas, uso intensivo do solo para monoculturas e manejo inadequado da água. De acordo com estimativas do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens e Satélites (LAPIS/UFAL), cerca de 13% do semiárido já apresenta áreas desertificadas, afetando diretamente a segurança alimentar, a disponibilidade hídrica e as condições de vida das populações locais.

Nesse contexto, a ausência de saneamento básico desempenha papel central na intensificação da vulnerabilidade. A precariedade no abastecimento de água obriga muitas famílias a recorrer a fontes alternativas e, muitas vezes, contaminadas, o que amplia a incidência de doenças de veiculação hídrica e pressiona ainda mais os recursos hídricos limitados da região (N. Mutono et al, 2021). Os dados do DATASUS evidenciam que, no semiárido, as taxas de internações por doenças relacionadas ao saneamento inadequado chegam a ser até três vezes maiores do que em outras regiões do país, destacando a interdependência entre saúde, ambiente e infraestrutura sanitária.

O esgotamento sanitário insuficiente, por sua vez, contribui diretamente para a degradação ambiental. O lançamento de efluentes sem tratamento em solos e corpos d'água compromete a qualidade hídrica, reduzindo a disponibilidade de água potável e acelerando processos de erosão e contaminação. Esse cenário é agravado pelo manejo inadequado de resíduos sólidos, que frequentemente são descartados a céu aberto, favorecendo a poluição do solo e a emissão de gases de efeito estufa (Moraes et al., 2023). Dessa maneira, a precariedade do saneamento não apenas compromete a saúde da população, mas também intensifica os fatores de degradação que sustentam o avanço da desertificação.

As consequências da desertificação e da precariedade do saneamento no semiárido não atingem a população de forma homogênea. As desigualdades de gênero tornam as mulheres particularmente mais vulneráveis a esses processos, uma vez que a divisão social do trabalho as coloca como principais responsáveis pela gestão da água, cuidado com a saúde da família e manutenção da produção agrícola em pequena escala (Rêgo, 2012). Nesse contexto, a crise socioambiental intensifica desigualdades históricas, ampliando a sobrecarga de tarefas, a exposição a riscos à saúde e a insegurança econômica.

A busca por água é um dos aspectos mais emblemáticos dessa desigualdade. Em muitas comunidades rurais, mulheres e meninas percorrem longas distâncias diariamente para garantir o abastecimento doméstico, um tempo que poderia ser destinado à educação, ao lazer ou à inserção em atividades produtivas. Essa realidade é agravada em períodos de seca prolongada, quando as fontes de água se tornam ainda mais escassas e distantes, aumentando o desgaste físico e emocional das mulheres (Tedeschi, 2014).

No campo da saúde, os impactos do saneamento inadequado também recaem de forma desproporcional sobre as mulheres. Além de estarem mais expostas a doenças de veiculação hídrica, devido ao contato frequente com a água em atividades domésticas, são elas que assumem o cuidado dos filhos e familiares adoecidos, ampliando sua sobrecarga de trabalho. Doenças ginecológicas e infecções também estão associadas à falta de acesso a água limpa e a condições adequadas de higiene, revelando um recorte de gênero nos efeitos da ausência de infraestrutura sanitária. (Bernini Silva, 2021).

Do ponto de vista socioeconômico, a desertificação compromete a agricultura

familiar, base da subsistência de muitas mulheres sertanejas. A perda de produtividade e a degradação do solo reduzem a autonomia financeira feminina, aprofundando sua dependência de programas sociais, como o Bolsa Família, nos quais elas representam a maioria das beneficiárias (Brandão et al, 2021). Ao mesmo tempo, o deslocamento forçado em busca de melhores condições de vida afeta de maneira específica as mulheres, que enfrentam riscos de vulnerabilidade social, insegurança alimentar e violências de gênero em contextos de migração.

Apesar de enfrentarem de maneira desproporcional os impactos da desertificação e da precariedade do saneamento, as mulheres do semiárido nordestino também se destacam como protagonistas na construção de estratégias de resistência e adaptação. Longe de serem apenas vítimas do processo, elas assumem papel central em iniciativas comunitárias, projetos de convivência com o semiárido e movimentos sociais que reivindicam direitos e políticas públicas voltadas para a sustentabilidade socioambiental da região.

Um exemplo emblemático é a experiência das cisternas de captação de água de chuva, difundida pela Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA). As mulheres figuram entre as maiores beneficiárias desse programa, uma vez que a tecnologia social reduz significativamente o tempo gasto na busca por água e garante melhores condições de higiene, saúde e segurança alimentar. A gestão comunitária dessas cisternas frequentemente é conduzida por lideranças femininas, que ampliam sua participação política e organizacional a partir da experiência..

Esse protagonismo feminino encontra ressonância em perspectivas ecofeministas, que reconhecem a estreita relação entre a opressão de gênero e a exploração da natureza. No semiárido, as mulheres demonstram que a luta por água, saneamento e justiça ambiental é, simultaneamente, uma luta por equidade de gênero e por direitos humanos. Ao transformar práticas cotidianas em formas de resistência, elas se afirmam como agentes fundamentais na construção de uma convivência sustentável com o semiárido e no enfrentamento dos desafios impostos pela desertificação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço da desertificação no semiárido nordestino, aliado à ausência de políticas públicas efetivas de saneamento, revela-se como um dos maiores desafios socioambientais do Brasil. Esse cenário não apenas compromete os ecossistemas da Caatinga e a disponibilidade hídrica, mas também agrava desigualdades sociais históricas, atingindo de forma mais intensa as mulheres, que acumulam responsabilidades no cuidado familiar, na gestão da água e na produção agrícola de subsistência.

A análise realizada demonstra que os impactos da desertificação e do saneamento precário sobre a vida das mulheres vão além da esfera ambiental, envolvendo questões de saúde, trabalho e direitos humanos. Ao mesmo tempo, evidencia-se que elas não ocupam apenas uma posição de vulnerabilidade, mas se afirmam como protagonistas de iniciativas de resistência e transformação. Experiências como os programas de cisternas, as práticas

agroecológicas e a atuação em movimentos comunitários e sindicais mostram que as mulheres desempenham papel estratégico na construção de soluções sustentáveis para a convivência com o semiárido.

Diante disso, torna-se urgente repensar as políticas públicas de saneamento e de enfrentamento da desertificação a partir de uma perspectiva de gênero, que reconheça o protagonismo feminino e incorpore sua experiência cotidiana na gestão da água, dos resíduos e da terra. Garantir o acesso universal ao saneamento básico no semiárido não é apenas uma medida de infraestrutura, mas uma ação de justiça socioambiental e de equidade, condição fundamental para a promoção da dignidade, da saúde e da sustentabilidade. Sem o fortalecimento das mulheres como agentes de transformação, não haverá convivência justa e resiliente com o semiárido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Kulabi, A. K. J. 2022. "The Concept of Desertification, Its Causes and Effects, and Treatments." Journal La Lifesci 3 (1): 1–13. https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v3i1.550.

Araujo, A. S. F., E. V. de Medeiros, D. P. da Costa, A. P. de Araujo Pereira, and L. W. Mendes. 2024. "From Desertification to Restoration in the Brazilian Semiarid Region: Unveiling the Potential of Land Restoration on Soil Microbial Properties." Journal of Environmental Management 351: 119746. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119746.

Brandão, E., T. Santos, and S. Rist. 2020. "Connecting Public Policies for Family Farmers and Women's Empowerment: The Case of the Brazilian Semi-Arid." Sustainability 12: 5961. https://doi.org/10.3390/su12155961.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. 2004. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca: PAN Brasil. Brasília, DF: MMA.

Brutto, Andrea. 2010. "Políticas para as mulheres rurais: Autonomia e cidadania." In Autonomia e cidadania: Políticas de organização produtiva para as mulheres no meio rural, edited by Andrea Brutto and Isolda Dantas, 11–34. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário.

Edokpayi, J., J. Odiyo, and O. Durowoju. 2017. "Impact of Wastewater on Surface Water Quality in Developing Countries: A Case Study of South Africa." https://doi.org/10.5772/66561.

IPCC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S.

Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

Marengo, J. A., and M. Bernasconi. 2015. "Regional Differences in Aridity/Drought Conditions over Northeast Brazil: Present State and Future Projections." Climatic Change 129 (1–2): 103–15. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1.

Moraes, J. B., H. S. Wanderley, and R. C. Delgado. 2023. "Areas Susceptible to Desertification in Brazil and Projected Climate Change Scenarios." Natural Hazards 116 (2): 1463–83. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05724-x.

Mutono, N., J. Wright, H. Mutembei, J. Muema, M. Thomas, M. Mutunga, and S. Thumbi. 2021. "The Nexus between Improved Water Supply and Water-Borne Diseases in Urban Areas in Africa: A Scoping Review." AAS Open Research 4. https://doi.org/10.12688/aasopenres.13225.1.

Rao, N., E. Lawson, W. Raditloaneng, D. Solomon, and M. Angula. 2019. "Gendered Vulnerabilities to Climate Change: Insights from the Semi-Arid Regions of Africa and Asia." Climate and Development 11: 14–26. https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1372266.

Silva, Parley Lopes Bernini, and Vilma Maria Azevedo. 2016. "Projeto Cozinha Solidária: Construindo a Cidadania de Gênero na Periferia de Barbacena – MG." In Anais do Congresso de Pesquisa e Extensão da UEMG/Barbacena 3 (3). Barbacena: Editora EdUEMG. http://revista.uemg.br/index.php/anaisbarbacena/article/view/2021/1017. Accessed November 4, 2024.

Tedeschi, Losandro Antônio. 2004. Alguns apontamentos sobre história oral, gênero e história das mulheres. Dourados: UFGD.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034600

ESTIMATIVAS DO FLUXO DE CO_2 NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DO TEIXEIRA, PB

ESTIMACIONES DEL FLUJO DE CO_2 EN EL PARQUE NACIONAL SERRA DO TEIXEIRA, PB

ESTIMATES OF CO_2 FLUX IN SERRA DO TEIXEIRA NATIONAL PARK, PB

Johnatan Vinícius Carneiro da Silva[1], Erickson Melo de Albuquerque[2] e Marcela da Cruz Cardoso[3].

[1]Estudante do Curso Técnico Integrado em Meio Ambiente, IFPB Campus Princesa Isabel, Paraíba, Brasil, jhonantan.vinicius@academico.ifpb.edu.br, https://orcid.org/009-0003-2715-8254;
[2]Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento, IFPB Campus Princesa Isabel, Paraíba, Brasil, erickson.albuquerque@ifpb.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-8711-4195;
[3]Mestranda em Ciência do Solo, UFPB, Areia - PB, Brasil, mc2761099@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-3327-1405.

Eixo Temático 01 – Mudanças Climáticas
Efeito das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em áreas rurais.

Eje Temático 01 – Cambio climatico
Efecto del Cambio Climático sobre la Disponibilidad Hídrica en Zonas Rurales.

Thematic Axis 01 – Climate changes
Effect of Climate Change on Water Availability in Rural Areas.

RESUMO

O dióxido de carbono (CO_2) tem sido considerado, a partir das evidências científicas, o maior responsável pelo aprisionamento da radiação na atmosfera, o que tem contribuído para as mudanças climáticas no planeta Terra, oriundo, sobretudo, de atividades antrópicas, como o desmatamento. Por sua vez, as florestas atuam como sumidouros desse gás, auxiliando no processo de sua retirada da atmosfera, utilizando-o no processo de respiração e depositando-o no solo. Portanto, preservar as florestas é tarefa urgente da humanidade, que utiliza como uma das estratégias a criação de unidades de conservação. Neste sentido, a recente criação do Parque Nacional da Serra do Teixeira, no Semiárido paraibano, contribui para a conservação de uma área estratégica para a manutenção do equilíbrio ecológico na região. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar estimativas de fluxo de CO_2 no Parque Nacional da Serra do Teixeira - PB, localizado na Caatinga, e sua relação com a disponibilidade hídrica. Para isso, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2 para computar valores do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e do Índice de Sequestro Florestal de Carbono (CO_2 Flux), nas estações chuvosa e seca, no ano de 2024. Se observou que na estação chuvosa (janeiro-junho) o NDWI mostra maior área superficial coberta por água no Parque do que na estação seca (julho-dezembro), acompanhando o fluxo de CO_2, uma vez que a disponibilidade hídrica aumenta a atividade fotossintética da vegetação e contribui para a captura de CO_2. Portanto, no período chuvoso a Caatinga atua como um sumidouro de CO_2 enquanto no período seco, predominam as emissões. Sendo assim, a conservação da floresta impõe-se como uma

estratégia fundamental para manter o equilíbrio entre a captura e as emissões desse gás, cujos efeitos provocados através das mudanças climáticas tendem a diminuir a disponibilidade hídrica por meio da intensificação de fenômenos como a seca, que atingem periodicamente a região.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica, Mudanças climáticas, Sensoriamento Remoto, Semiárido, Unidade de conservação.

RESÚMEN

El dióxido de carbono (CO_2) ha sido identificado, a partir de evidencias científicas, como el principal responsable del atrapamiento de la radiación en la atmósfera, contribuyendo significativamente al cambio climático en la Tierra. Este gas proviene principalmente de actividades antrópicas, como la deforestación. Por su parte, los bosques actúan como sumideros de carbono, ayudando en el proceso de eliminación del CO_2 atmosférico mediante su uso en la fotosíntesis y su depósito en el suelo. Por lo tanto, la preservación de los bosques se presenta como una tarea urgente para la humanidad, siendo la creación de unidades de conservación una de las estrategias clave. En este contexto, la reciente creación del Parque Nacional de la Sierra del Teixeira, en el semiárido del estado de Paraíba (Brasil), contribuye a la conservación de una zona estratégica para el mantenimiento del equilibrio ecológico en la región. El objetivo de este estudio fue analizar estimaciones del flujo de CO_2 en el Parque Nacional de la Sierra del Teixeira (PB), ubicado en el bioma Caatinga, y su relación con la disponibilidad hídrica. Para ello, se utilizaron imágenes del satélite Sentinel-2 para calcular los valores del Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI) y del Índice de Secuestro de Carbono Forestal (Flujo de CO_2), durante las estaciones húmeda y seca del año 2024. Se observó que durante la estación húmeda (enero-junio), el NDWI muestra una mayor superficie cubierta por agua en comparación con la estación seca (julio-diciembre), siguiendo el comportamiento del flujo de CO_2, ya que la mayor disponibilidad hídrica incrementa la actividad fotosintética de la vegetación y favorece la captura de CO_2. Así, durante la estación húmeda, la Caatinga actúa como sumidero de carbono, mientras que en la estación seca predominan las emisiones. En consecuencia, la conservación del bosque se impone como una estrategia fundamental para mantener el equilibrio entre la captura y la emisión de este gas, cuyos efectos derivados del cambio climático tienden a reducir la disponibilidad hídrica mediante la intensificación de fenómenos como la sequía, que afecta periódicamente a la región.

Palabras clave: Disponibilidad hídrica, Cambio climático, Teledetección, Región semiárida, Área protegida.

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO_2) has been identified, based on scientific evidence, as the primary agent responsible for trapping radiation in the atmosphere, thereby contributing significantly to climate change on Earth. This gas originates primarily from anthropogenic activities, such as deforestation. Forests, in turn, act as carbon sinks, helping to remove CO_2 from the atmosphere by using it during photosynthesis and depositing it in the soil. Therefore, forest preservation is an urgent task for humanity, with the establishment of protected areas being one of the key

strategies. In this context, the recent creation of the Serra do Teixeira National Park in the semi-arid region of Paraíba contributes to the conservation of a strategic area for maintaining ecological balance in the region. This study aimed to analyze CO_2 flux estimates in the Serra do Teixeira National Park (PB), located in the Caatinga biome, and their relationship with water availability. To this end, Sentinel-2 satellite imagery was used to calculate values of the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Forest Carbon Sequestration Index (CO_2 Flux) during the wet and dry seasons of 2024. Results showed that during the wet season (January–June), the NDWI indicated a larger surface area covered by water compared to the dry season (July–December), correlating with CO_2 flux patterns, as increased water availability enhances the vegetation's photosynthetic activity and contributes to CO_2 uptake. Thus, during the wet season, the Caatinga acts as a CO_2 sink, while during the dry season, CO_2 emissions prevail. Consequently, forest conservation emerges as a key strategy for maintaining the balance between carbon uptake and emissions, especially as climate change–induced effects such as drought—which periodically affects the region—tend to reduce water availability.

Keywords: Water availability, Climate change, Remote sensing, Semi-arid region, Protected area.

INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono (CO_2) tem sido encarado como o gás com maior contribuição para as mudanças climáticas desde a revolução industrial, iniciada no século XVIII. Isso porque esse gás apresenta uma capacidade de reter calor que se sobressai em relação a outros gases atmosféricos devido à sua abundância e tempo de permanência na atmosfera, especialmente causada por emissões que decorrem de atividades antrópicas, como pela queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento.

Por sua vez, as florestas possuem uma poderosa capacidade de absorver o CO_2 presente na atmosfera e contribuir para retirar esse gás de lá, visto que a vegetação o utiliza na fotossíntese, produzindo biomassa, e o armazena no solo, diminuindo os desequilíbrios climáticos causados pelo efeito estufa descontrolado (Nogueira Junior, 2023).

Considerando que a relação entre o CO_2 e as mudanças climáticas, sobretudo no que impacta a disponibilidade hídrica, tem sido amplamente estudada e fartamente documentada cientificamente (IPCC, 2023), o monitoramento desse gás se torna fundamental para o traçado de estratégias de controle ambiental e promoção da qualidade ambiental. Isso tem sido feito, por exemplo, por meio das geotecnologias, que permitem a obtenção e análise de dados em larga escala espaço-temporal de baixo custo (Rahman *et al*., 2000).

Neste sentido, tendo por evidente a importância da vegetação nesse processo de captura

do CO_2 atmosférico, as unidades de conservação são uma das estratégias de preservação ambiental que buscam restaurar o equilíbrio do clima. Na Paraíba, a criação do Parque Nacional da Serra do Teixeira tem muito a contribuir nesse sentido, em especial por estar localizado no bioma Caatinga, um dos menos protegidos no território brasileiro, e na região Semiárida, caracterizado por limitações na disponibilidade hídrica e que tem sofrido sérias ameaças de desertificação.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar estimativas de fluxo de CO_2 no Parque Nacional da Serra do Teixeira e sua relação com a disponibilidade hídrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional da Serra do Teixeira foi criado em 05 de Junho de 2023, por meio do Decreto nº 11.552 (Brasil, 2023). Localizado no sertão do Estado da Paraíba, na região Semiárida e no bioma Caatinga, abrange os municípios de Água Branca, Cacimba de Areia, Catingueira, Imaculada, Juru, Mãe D'água, Matureia, Olho D'água, Santa Terezinha, Santana dos Garrotes, São José do Bonfim e Teixeira, com área total de 61.095 ha e uma população total de 87.505 habitantes nas imediações do parque (IBGE, 2023).

IDENTIFICAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Para a identificação da disponibilidade hídrica no Parque Nacional da Serra do Teixeira foi utilizado o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) (Mc Feeters, 1996) (Eq. 1).

$$NDWI = (\rho_{verde} - \rho_{ivp}) / (\rho_{verde} + \rho_{ivp}) \quad \text{(Eq. 1)}$$

Em que: ρ é a reflectância espectral na respectiva banda; *ivp* = infravermelho próximo.

Um *script* foi desenvolvido no Google *Earth Engine* para computar o índice e filtrar valores acima de -0,2, os quais são indicadores de água, para o período chuvoso/úmido (janeiro a junho) e para o período seco (julho a dezembro).

CÔMPUTO DO FLUXO DE CO_2

O fluxo de CO_2 foi computado por meio de dados satelitais, em específico produtos de reflectância de superfície do satélite Sentinel 2/MSI, e técnicas de processamento digital de imagens, utilizando-se o Google *Earth Engine* para o processamento de índices espectrais e a obtenção dos valores. Com base em Rahman *et al*. (2000), desenvolvedor do Índice de Sequestro Florestal de Carbono (CO_2 Flux), foram calculados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (Rouse *et al.*, 1973) (Eq. 2):

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_{vermelho}) / (\rho_{ivp} + \rho_{vermelho}) \quad \text{(Eq. 2)}$$

Em que: ρ é a reflectância espectral na respectiva banda; *ivp* = infravermelho próximo.

Em seguida foi calculado o Índice de Reflectância Fotoquímica - PRI (Gamon *et al.*, 1997) (Eq. 3), o qual apresenta dados referentes à atividade fotossintética e a eficiência no uso da luz.

$$PRI = (\rho_{azul} - \rho_{verde}) / (\rho_{azul} + \rho_{verde}) \quad \text{(Eq. 3)}$$

Em que: ρ é a reflectância espectral na respectiva banda.

No entanto, segundo Rahman *et al.* (2000), o PRI precisa ser reescalonado para valores positivos por meio do sPRI (Eq. 4).

$$sPRI = (PRI+1) / 2 \quad \text{(Eq. 4)}$$

Por fim, o CO_2 Flux, dado em µmol x m^{-2} x s^{-1}, foi computado pela multiplicação do NDVI pelo sPRI, utilizando-se o modelo de validação adaptado para a Caatinga proposto por Santos *et al*. (2023) (Eq. 5)

$$CO_2Flux = -71{,}87 \times (NDVI \times sPRI) + 14{,}683 \quad \text{(Eq. 5)}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados produzidos sobre a disponibilidade hídrica, através do NDWI, no Parque Nacional da Serra do Teixeira, nos períodos chuvoso/úmido e seco de 2024, são apresentados na Tabela 1. Importante notar que a água é um elemento impulsionador de várias dinâmicas

ecossistêmicas e que a sua escassez, no período seco, é capturada pelos indicadores, a exemplo da diminuição nos parâmetros de NDWI e da área coberta por água entre um período e outro.

Tabela 1. Valores de NDWI e área coberta por água, nos períodos chuvoso e seco, no Parque Nacional da Serra do Teixeira - PB, em 2024.

Parâmetro	Valor
NDWI mediana mínima e máxima (período chuvoso)	-0,755 e 0,507
NDWI mediana mínima e máxima (período seco)	-0,707 e 0,380
Área coberta por água (período chuvoso)	170,17 ha
Área coberta por água (período seco)	118,65 ha

Fonte: Elaboração própria (2025).

.

O NDWI se caracteriza por ser um índice capaz de delimitar os corpos d'água, uma vez que usa a diferença normalizada entre as bandas do verde (maior reflectância da água) e do infravermelho próximo (maior absortância da água) e, por isso, apresenta alta correlação com conteúdo de água (McFeeters, 1996; Nóbrega *et al*., 2021). Neste sentido, Nóbrega *et al*. (2021) encontraram no NDWI, em comparação a outros índices da mesma categoria, a melhor delimitação para corpo d'água, no qual os valores positivos indicam uma superfície hídrica. Ao inspecionar as imagens de NDWI no Google *Earth Engine*, foi possível identificar valores correspondentes à água a partir de -0,2, próximos às margens do reservatório inserido no Parque.

Com relação ao fluxo de CO_2, na Figura 1 se apresenta o mapa das estimativas para os períodos chuvoso/úmido e seco de 2024. Nota-se que no período chuvoso o maior vigor da vegetação propicia uma maior captura de CO_2, diminuindo o fluxo (tons de verde escuro), uma vez que a disponibilidade hídrica típica do período intensifica a atividade fotossintética da vegetação. Visualmente percebe-se que nesse período houve uma maior absorção de CO_2 (valores negativos) (Figura 1, mapa da estação chuvosa), quando também há maior área superficial de cobertura por reservatórios hídricos (170,17 ha, Tabela 1).

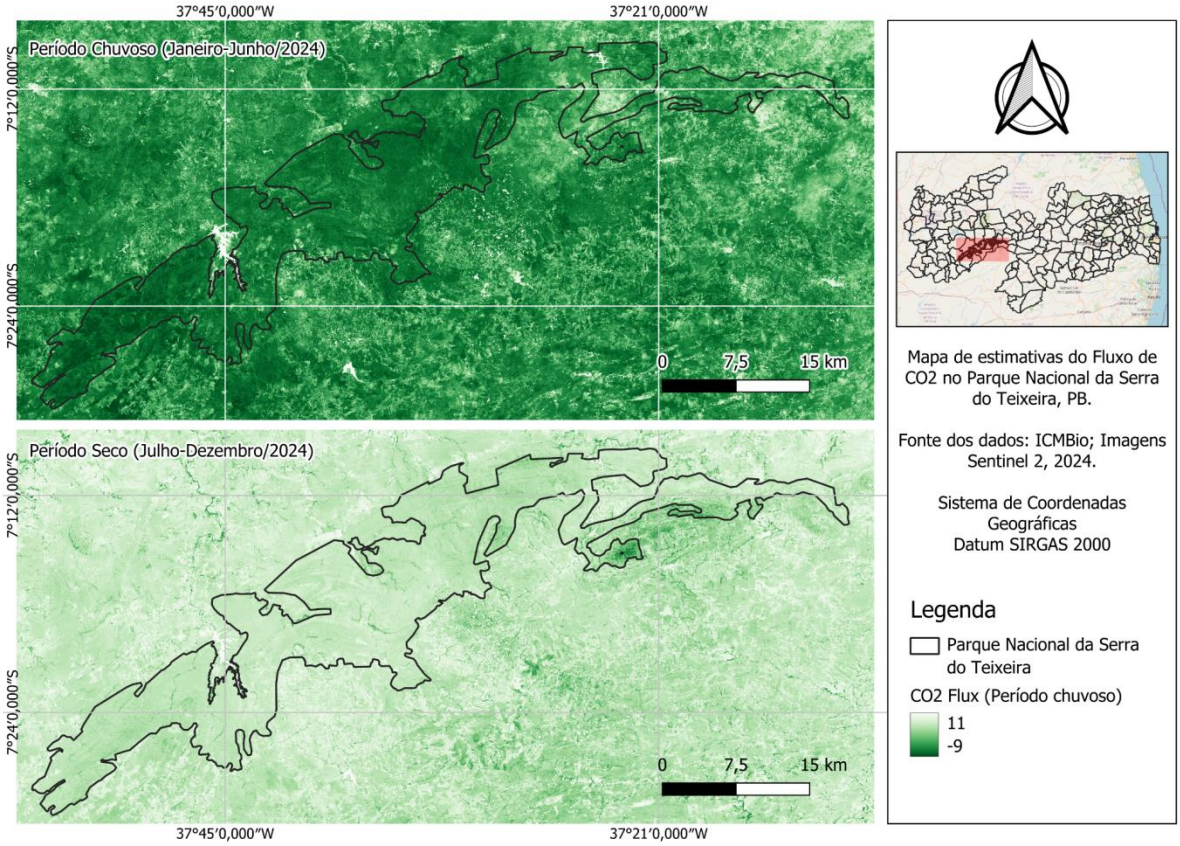


Figura 2. Estimativas do fluxo de CO_2 no Parque Nacional da Serra do Teixeira, PB, nas estações chuvosa e seca de 2024.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

No período seco se percebe um forte aumento no fluxo de CO_2 (mapa da Figura 2, mapa do Período Seco), com a maioria das áreas do Parque apresentando valores positivos, isto é, emissão de CO_2 (tons de verde claro). No entorno do Parque, na zona nordeste, é possível observar algumas áreas com captura de CO_2. Por sua vez, no período seco se observa que esse aumento no fluxo de CO_2 coincide com uma diminuição na área superficial coberta por reservatórios hídricos (118,65 ha, Tabela 1).

O CO_2 Flux se mostrou um índice fortemente correlacionado com medições em torres micrometeorológicas localizadas na Caatinga, em áreas de floresta, no estudo desenvolvido por Santos *et al*. (2023). Embora haja particularidades metodológicas, os resultados encontrados nesta pesquisa corroboram os autores no sentido de afirmar que a disponibilidade hídrica influencia a atividade fotossintética, a qual, por sua vez, altera o fluxo de CO_2 localmente, sendo capturado ou emitido até mesmo ao longo de um dia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente cabe ressaltar a importância do sensoriamento remoto para o monitoramento das duas variáveis estudadas neste trabalho, em larga escala espacial e abrangência temporal adequada ao bioma estudado. Essa existência de dados e aplicação das técnicas apresentadas permitiram a observação do comportamento de índices que possibilitam compreender dinâmicas ecossistêmicas, com impacto na vida da população.

No que diz respeito aos resultados produzidos, é importante considerar que a vegetação exerce um papel de destaque sobre o fluxo de CO_2, o qual embora dependa da disponibilidade hídrica para exercê-lo, ao mesmo tempo ajuda a conservar essa disponibilidade, ressaltando a relevância da unidade de conservação. Assim, considera-se que a Caatinga é um sumidouro de CO_2 no período chuvoso e emissor no período seco.

A despeito do NDWI ser um índice consolidado para delimitação de corpos hídricos, outros índices espectrais podem ser utilizados para verificar a relação do fluxo de CO_2 com a umidade presente no solo e na vegetação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao IFPB, por meio da Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação pelo financiamento do projeto por meio da concessão de bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Decreto nº 11.552, de 5 de junho de 2023. Cria o Parque Nacional da Serra do Teixeira, no Estado da Paraíba. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, Seção 1, p. 14, 6 jun. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11552.htm. Acesso em: 5 ago. 2025.

Gamon, J. A.; Serrano, L.; Surfus, J.S. 1997. "The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels". *Oecologica*, 112, 4, 492-501.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo demográfico 2022*: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br. Acesso em: 5 ago. 2025.

Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC). *Mudança do clima 2023: Relatório*

síntese (Longer Report). Tradução para o português realizada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e Pacto Global – Rede Brasil. Brasília: MCTI, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 5 ago. 2025.

McFeeters, S.K.. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17, p. 1425–1432, 1996.

Nóbrega, M. R. R; Silva, M. V. M. da; Lima, C. E. S.; Silva, G. K. da; Junior, A. D. M.; Silveira, C. da S.. Índice de água por diferença normalizada para o monitoramento de seca em açudes no semiárido do Nordeste brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 24., 2021, Belo Horizonte. *Anais* [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2021. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br. Acesso em: 27 set. 2025.

Nogueira Junior, L. R. Estoque e sequestro de carbono em florestas e sistemas de produção agrícola - Software InVest 2023. Tosto, S. G.; Pereira, L. C.; Gomes, M. A. F.; Rrodrigues, J. A. (Orgs.). *Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais de solo, água e carbono - Amazônia*. Brasília, DF: Embrapa, 2023 cap. 6, p. 147-157. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1157686. Acesso em 5 ago. 2025.

Rahman, A. F.; Gamon, J. A.; Fuentes, D. A.; Roberts, D.; Prentiss, D.; Qiu, H. 2000. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. AVIRIS Workshop. *Proceedings...* JPL/NASA, 8p.

Rouse, J.W.; Haas, H. R.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the great plains with ERTS. In.: *Nasa Erts Symposium*. v. 3, 1973, p. 309 – 17.

Santos, C. V. B. dos. *et al.* Validação de um modelo espectral para determinação de fluxos de CO2 em áreas do Bioma Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 8, n. 3, 2023, p. 226-239. DOI: 10.24221/jeap.8.3.2023.4724.226-239.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034637

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CON DYNQUAL BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO CON DYNQUAL EN LA CUENCA DEL RÍO CESAR: COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES DE LA ALIANZA DEL PACÍFICO

WATER QUALITY EVALUATION WITH DYNQUAL UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS WITH DYNQUAL IN THE CESAR RIVER BASIN: COMPARISON WITH PACIFIC ALLIANCE STANDARDS

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM DYNQUAL EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS COM DYNQUAL NA BACIA DO RIO CESAR: COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES DA ALIANÇA DO PACÍFICO

Stefany P. Vega[1,4], Ronald R. Gutierrez[2], Aymer Y. Maturana[3].

[1]Ph.D. en Ingeniería Civil, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, tstefany@uninorte.edu.co, https://orcid.org/0000-0002-1450-6147;
[2] MSc., PhD en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Catolica del Perú, Lima, Perú, rgutierrezl@pucp.pe, https://orcid.org/0000-0003-0150-7439;
[3] MSc., PhD en Ciencias Térmicas y de Fluidos - Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, maturanaa@uninorte.edu.co, https://orcid.org/0000-0003-3518-0606;
[4]Gobernación del Cesar, Valledupar, Colombia.

Eje Temático 01 – Cambio Climático
Modelado y predicción de los efectos del cambio climático en la calidad del agua

Thematic Axis 01 – Climate Change
Modeling and predicting the effects of climate change on water quality

Eixo Temático 01 – mudanças climáticas
Modelagem e previsão dos efeitos das mudanças climáticas na qualidade da água

RESUMEN

Los países en desarrollo, y en particular los miembros de la Alianza del Pacífico establecen lineamientos normativos para garantizar el cumplimiento de estándares de calidad de agua superficial y la adaptación al cambio climático. Comparar proyecciones de calidad de agua con estos estándares permite identificar brechas de cumplimiento y orientar medidas de gestión adaptativa.

En este estudio se utilizó el modelo Dynqual para extraer datos de proyecciones de calidad de agua en tres puntos de la cuenca del Río Cesar (Colombia) bajo escenarios de cambio climático generados por los modelos GFDL y MPI. Se analizaron dos parámetros críticos —Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Coliformes Fecales (CF)— y se compararon sus valores proyectados al año 2030 con los límites permisibles definidos por la legislación supranacional de la Alianza del Pacífico, evaluando el grado de cumplimiento en cada sitio.

Los resultados muestran que las mayores presiones sobre la calidad del agua se concentran en la parte alta y media de la cuenca, particularmente en el punto asociado a la planta de tratamiento de aguas residuales de Valledupar, donde las proyecciones indican picos de hasta 139 mg/L de DBO y 40.000 NMP/100 mL de CF, superando ampliamente los umbrales

normativos. En los tramos medio y bajo, incluyendo la desembocadura en la Ciénaga de Zapatosa, los valores proyectados se mantienen dentro de los límites permisibles, con reducciones adicionales de hasta un 7 % mediante la aplicación de medidas alineadas con el ODS 6.

Estos hallazgos evidencian la necesidad de priorizar la modernización de la planta de tratamiento de aguas residuales de Valledupar y reforzar las estrategias de control en las zonas de mayor incumplimiento, mientras que en las áreas actualmente en conformidad se deben mantener las acciones preventivas. Asimismo, se destaca que, aunque el uso de modelos como Dynqual y su comparación con estándares regionales facilita la planificación adaptativa, la disponibilidad limitada de datos de calidad de agua sigue siendo una barrera para el modelado robusto y la toma de decisiones informada.

Palabras clave: Calidad de agua, modelos globales (Dynqual), cambio climático, Alianza del Pacífico, Río Cesar.

ABSTRACT

Developing countries, particularly members of the Pacific Alliance, establish regulatory guidelines to ensure compliance with surface water quality standards and adaptation to climate change. Comparing water quality projections with these standards allows for the identification of compliance gaps and the targeting of adaptive management measures.

In this study, the Dynqual model was used to extract water quality projection data at three points in the Cesar River basin (Colombia) under climate change scenarios generated by the GFDL and MPI models. Two critical parameters—Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Fecal Coliforms (FC)—were analyzed, and their projected values for 2030 were compared with the permissible limits defined by the supranational legislation of the Pacific Alliance, evaluating the degree of compliance at each site.

The results show that the greatest pressures on water quality are concentrated in the upper and middle parts of the basin, particularly at the point associated with the Valledupar wastewater treatment plant, where projections indicate peaks of up to 139 mg/L of BOD and 40,000 NMP/100 mL of FC, far exceeding regulatory thresholds. In the middle and lower sections, including the mouth of the Ciénaga de Zapatosa, the projected values remain within permissible limits, with additional reductions of up to 7% through the implementation of measures aligned with SDG 6.

These findings underscore the need to prioritize the modernization of the Valledupar wastewater treatment plant and enhance control strategies in areas of greatest non-compliance, while maintaining preventive actions in areas currently in compliance. It should also be noted that, although the use of models such as Dynqual and their comparison with regional standards facilitates adaptive planning, the limited availability of water quality data remains a barrier to robust modeling and informed decision-making.

Keywords: Water quality, global models (Dynqual), climate change, Pacific Alliance, Cesar River

RESUMO

Nos trechos médio e baixo do Rio Cesar (Colombia), incluindo a foz no pântano de Zapatosa, os valores de parâmetros projetados de qualidade da água permanecem dentro dos limites

permitidos. Contudo, é possível obter reduções adicionais de até 7% através da aplicação de medidas alinhadas com o ODS 6.

Essas descobertas evidenciam a necessidade de priorizar a modernização da estação de tratamento de esgotos de Valledupar e reforçar as estratégias de controle nas áreas de maior descumprimento, enquanto nas áreas atualmente em conformidade devem ser mantidas as ações preventivas. Além disso, destaca-se que, embora o uso de modelos como o Dynqual e sua comparação com padrões regionais facilitem o planejamento adaptativo, a disponibilidade limitada de dados sobre a qualidade da água continua sendo uma barreira para a modelagem robusta e a tomada de decisões informadas.

Palavras-chave: Qualidade da água, modelos globais (Dynqual), mudança climática, Aliança do Pacífico, Rio Cesar

INTRODUCIÓN

La variabilidad climática y, en particular, los fenómenos meteorológicos extremos generan cambios multidecenales en la calidad del agua (van Vliet et al., 2023). La evidencia cientifica lo señala en las variaciones hidrológicas, incrementos en la temperatura del agua y del suelo, así como en interacciones hidroclimáticas asociadas al uso del suelo. Estos cambios, acentuados por las proyecciones de cambio climático, representan un desafío para la gestión del agua (van Vliet et al., 2023).

Generalmente, la comprensión cuantitativa de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas se ve limitada por la disponibilidad de información espacio-temporal, especialmente a escala global (Jones et al., 2023). Regularmente se señala que la evaluación de la calidad del agua suele basarse en cálculos básicos derivados de la ecuación de advección y dispersión a lo largo de los tramos del río (Ejigu, 2021). Sin embargo, este enfoque, aunque útil para describir el transporte y la mezcla de contaminantes, no siempre incorpora de forma adecuada la complejidad de los procesos fisicoquímicos y biogeoquímicos que intervienen. Asimismo, no considera las variaciones inducidas por el cambio climático, el uso del suelo o las interacciones entre aguas superficiales y subterráneas.

El modelo Dynqual parte de un objetivo ambicioso de modelar la calidad del agua superficial global. Esto comprende un enfoque consistente, dinamico y constituye multiples factores intervenientes en la calidad del agua pero ademas en una alta resolusion espacio temporal (Jones et al., 2023).

Los países en desarrollo, en particular los miembros de la Alianza del Pacífico, han establecido lineamientos para el cumplimiento de estándares relacionados con la gestión del recurso hídrico y la adaptación al cambio climático. En este estudio se comparan las

proyecciones generadas por el modelo Dynqual bajo los escenarios climáticos GFDL y MPI, con el propósito de contrastar estos resultados frente a los estándares de calidad y resiliencia definidos por la Alianza del Pacífico. En este contexto se plantea: ¿en que medida las proyecciones climatica del modelo, permite anticipar desviaciones en los estandares de calidad de agua y orientar medidas de adaptacion efectivas en paises en desarrollo?

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En su tramo inferior, el Río César es uno de los afluentes más importantes del Río Magdalena en Colombia (Figura 1a). Es la fuente de agua más relevante del departamento del Cesar y el segundo afluente más importante del departamento de La Guajira. El Río Cesar tiene una longitud aproximada de 85 kilómetros en su subzona alta, de 173 kilómetros en la media y de 22 kilómetros en la baja.

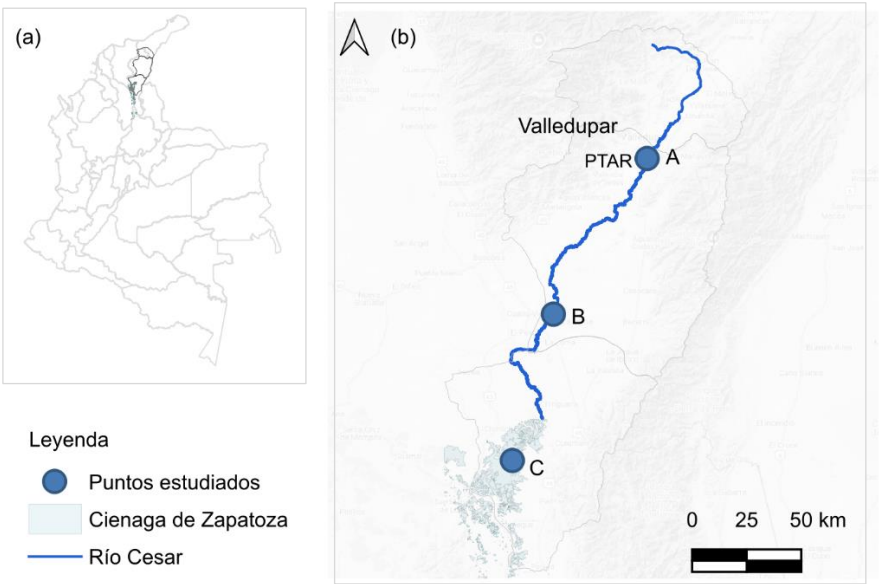


Figura 1. (a) Ubicación de la cuenca del Río Cesar en Colombia; (b) Puntos estudiados en el Río Cesar en la sección alta (A); media (B); y baja, en la Ciénaga de Zapatosa (C).
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Datos

DynQual es un modelo de calidad de aguas superficiales que fue desarrollado por Jones et al., 2024. En él, se extrajeron datos simulados relacionados con la contaminación orgánica, medida a través de la demanda biológica de oxígeno (DBO), y la contaminación por patógenos, medida a través de las concentraciones de coliformes fecales (CF). La resolución espacial fue de 5 × 5 minutos de arco y la resolución temporal fue mensual en tres puntos: bajo, medio y alto subcuenca; ante los escenarios de variabilidad climática GFDL y MPI hasta el año 2030.

La simulación de la demanda biológica de oxígeno (DBO), los coliformes fecales (CF) tiene lugar bajo un balance de masa que asume que el transporte ocurre únicamente por advección. En este caso, todas las cargas contaminantes del sector se agrupan y se dirigen por los ríos hasta su desembocadura (Jones et al., 2022). El modelo es validado mediante la comparación de datos de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial en todo el mundo.

Asimismo, el modelo evalúa las cargas contaminantes ante diversos escenarios de cambios en el clima. En esta situación, se dio prioridad a los escenarios climáticos GDML y MPI, que son compatibles con Colombia (IDEAM et al., 2015).

Estándares normativos en la Alianza del Pacifico

Para la comparación, se utilizaron las salidas del modelo Dynqual correspondientes a los parámetros DBO y CF simulados bajo los escenarios de cambio climático seleccionados (Jones et al., 2023). Estos resultados fueron contrastados con los límites permisibles establecidos en la legislación supranacional de la Alianza del Pacífico (Tabla 1) mapeados por el estudio de Vega et al., 2024.

El análisis consistió, para cada punto en la cuenca y periodo simulado, el porcentaje de cumplimiento y la frecuencia de excedencias respecto a los valores normativos. Asimismo, se evaluó la magnitud y duración de las posibles superaciones de los umbrales, identificando los tramos y escenarios con mayor riesgo de incumplimiento. Este procedimiento permitió determinar si las condiciones proyectadas de calidad de agua se mantendrían dentro de los estándares exigidos por la normativa vigente y, en caso contrario, estimar la magnitud de las brechas regulatorias.

Tabla 1. Limites permisibles para la preservación de la calidad del agua superficial en los países miembros de la Alianza del Pacifico. ** Valores permisibles inexistentes.

Parametro	Unidad	Limite objetivo al 2030 Dpto del Cesar	Colombia	Perú	Mexico	Chile
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	< 20	**	5-10	**	**
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 mL	< 5000	1000 - 5000	1000 - 4000	**	**

Fuente: Adaptado de Vega et al., 2024.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de las proyecciones generadas por el modelo Dynqual con los límites

permisibles establecidos por la legislación supranacional de la Alianza del Pacífico (horizonte 2030) permitió identificar áreas críticas de cumplimiento en la cuenca del río Cesar. Reveló datos históricos y futuros de los parámetros DBO y CF en 3 puntos del río. En la Figura 2a, se observa que las concentraciones de DBO en el tramo bajo del río son menores que en los sectores alto y medio. Sin embargo, las simulaciones indican que estas también presentarían un incremento hacia 2030 bajo escenarios de cambio climático.

El punto A (en Figura 1b), localizado en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Valledupar (Cesar), presenta históricamente las concentraciones más elevadas de DBO en la cuenca. Las proyecciones de Dynqual bajo escenarios de cambio climático indican que estos valores podrían incrementarse hacia el año 2030, alcanzando picos de hasta 139 mg/L en el mes de marzo, de acuerdo con los modelos de variabilidad climática. Este valor excede ampliamente los límites permisibles establecidos por la legislación supranacional de la Alianza del Pacífico, tanto en condiciones actuales como futuras.

La simulación de intervenciones basadas en la implementación de tratamientos secundarios en la planta de Valledupar muestra reducciones en las concentraciones de DBO del orden del 24 % al 25 % en promedio para cada escenario modelado. No obstante, dichas reducciones resultan insuficientes para garantizar el cumplimiento normativo en este tramo, aunque sí contribuirían a incrementar los niveles de oxígeno disuelto y, por ende, a favorecer la preservación de la vida acuática y la mejora de la calidad del agua.

En la Figura 2b-c se observa que, aguas abajo, las concentraciones de DBO son menores que en la parte alta y media de la cuenca. No obstante, las proyecciones apuntan a un aumento hacia 2030. La aplicación de las medidas de control definidas en el ODS 6 permitiría reducir dichas concentraciones entre un 6 % y un 7 %, mientras que en el punto C en la Figura 1b—en la desembocadura del Río Cesar en la Ciénaga de Zapatosa— la disminución proyectada estaría entre un 3 % y un 4 %. En ambos casos, los valores simulados se mantendrían por debajo de los umbrales establecidos por la normativa de la Alianza del Pacífico, indicando un riesgo bajo de incumplimiento en estos sectores.

En síntesis, los resultados evidencian que la mayor presión sobre la calidad del agua se concentra en la parte alta y media de la cuenca, particularmente por las descargas de aguas residuales urbanas provenientes de Valledupar, cuyo sistema de tratamiento posiblemente requiere una actualización urgente para asegurar el cumplimiento sostenido de los parámetros

de calidad establecidos por la Alianza del Pacífico y garantizar la resiliencia del ecosistema fluvial en un contexto de cambio climático (El Pilon, 2023; Fragoso-Castilla et al., 2021; Gutierrez et al., 2011; Oñate & Cortez, 2020).

Figura 2. Valores históricos y proyecciones futuras al 2030 de DBO ante los escenarios de variabilidad climática GFDL y MPI aplicando tratamiento secundario para el cumplimiento de los SGD6. (a) punto A en Figura 1b; (b) punto B en Figura 1b; (c) punto C en Figura 1b.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por otra parte, las concentraciones de CF en los puntos evaluados muestran una tendencia creciente bajo los escenarios de cambio climático simulados, alcanzando en el punto A (ver Figura 1b) valores de hasta 40.000 NMP/100 mL hacia el año 2030 (Figura 3a). Este valor excede de manera significativa los límites permisibles establecidos por la legislación supranacional de la Alianza del Pacífico, tanto en el escenario de referencia como en las proyecciones futuras, lo que confirma a este sector como un área crítica de incumplimiento.

En contraste, en los puntos B y C presentados en la Figura 1b (Figuras 3b–c) las concentraciones simuladas se mantienen por debajo de los valores umbral definidos por la normativa, y las proyecciones indican que esta condición de cumplimiento se mantendría a futuro incluso bajo escenarios de incremento térmico y reducción de caudales. Estos resultados sugieren que las intervenciones prioritarias deben centrarse en la parte alta de la cuenca, mientras que en

los tramos medio y bajo las estrategias de gestión deberían orientarse a mantener las condiciones actuales y prevenir el deterioro de la calidad del agua.

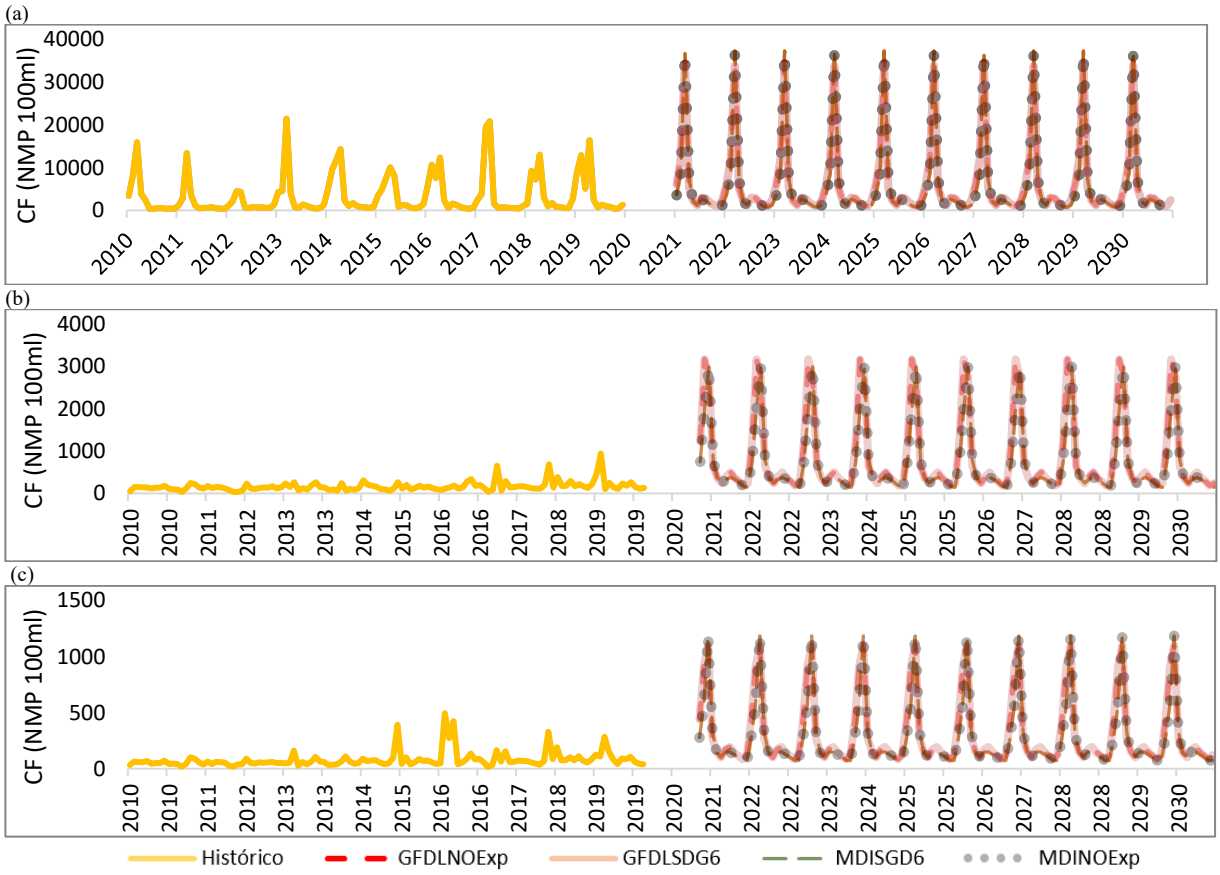


Figura 3. Valores históricos y proyecciones futuras al 2030 de CF ante los escenarios de variabilidad climática GFDL y MPI aplicando tratamiento secundario para el cumplimiento de los SGD6. (a) punto A en Figura 1b ;(b) punto B en Figura 1b; (c) punto C en Figura 1b.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

La comparación con los estándares de la Alianza del Pacífico no solo permite cuantificar el grado de cumplimiento, sino también identificar brechas críticas y orientar intervenciones prioritarias. No obstante, es importante señalar que la precisión y representatividad de este tipo de evaluaciones depende en gran medida de la disponibilidad y calidad de los datos (Zanoni et al., 2022). De hecho, el modelo Dynqual plantea la incertidumbre desde la resolución (escala espaciotemporal), como la precisión y disponibilidad de los datos de entrada y hasta en la complejidad de los impulsores de las cargas de contaminantes ante parametrizacion y proyecciones climaticas. Por ello principalmente aborda, aproximaciones de primer orden en los cauces. En el modelado de calidad de agua, la información espaciotemporal suele ser limitada, especialmente en cuencas de países en desarrollo, lo que obliga a utilizar aproximaciones y estimaciones que pueden incrementar la incertidumbre en los resultados (Shields & Brookes, 2014; Zhi et al., 2024).

Las proyecciones obtenidas ofrecen un marco útil para anticipar tendencias y evaluar riesgos potenciales para la calidad del agua. Estos hallazgos pueden servir como insumo técnico para fortalecer la gestión municipal del recurso hídrico, orientar la formulación de políticas públicas y apoyar la priorización de intervenciones en cuencas vulnerables. La integración de herramientas de modelación con marcos normativos regionales, como el de la Alianza del Pacífico, amplía las posibilidades de planificación adaptativa, permitiendo que las medidas de gestión respondan tanto a compromisos internacionales como a las realidades locales frente a los retos del cambio climático (van Vliet et al., 2023; Zhi et al., 2024).

CONSIDERACIONES FINALES

La comparación de las proyecciones del modelo Dynqual con los criterios de la Alianza del Pacífico permitió cuantificar brechas regulatorias y priorizar áreas de intervención. Este ejercicio confirma que el fortalecimiento de la infraestructura de tratamiento, junto con medidas preventivas y de control en las zonas actualmente en cumplimiento, es clave para garantizar la resiliencia de la calidad del agua en un contexto de cambio climático.

Aun con la limitada disponibilidad y calidad de datos espaciotemporales, este estudio aporta una metodología replicable que integra modelación dinámica y marcos regulatorios regionales. Ampliar y modernizar los sistemas de monitoreo hidrológico y de calidad del agua (p.ej. sensores en tiempo real, redes de observacion comunitaria, ente otros), promover estudios piloto de tecnologías adaptadas y fortalecer la cooperación regional permitiría reducir incertidumbres y optimizar la gestión basada en evidencia.

En síntesis, este estudio demuestra que la integración de herramientas de modelación con marcos normativos regionales no solo facilita el diagnóstico del cumplimiento actual y futuro, sino que también orienta acciones concretas para alinear la gestión hídrica local con compromisos internacionales, contribuyendo así a la adaptación efectiva frente a los impactos del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Apoyado por la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ejigu, M. T. (2021). Overview of water quality modeling. Cogent Engineering, 8(1). https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1891711

El Pilon. (2023). Nueva PTAR de Valledupar costaría $442.679 millones. https://elpilon.com.co/nueva-star-de-valledupar-costaria-442-679-millones/

Fragoso-Castilla, P. J., Rubiano, L. A., & Kerguelen, J. J. (2021). Análisis de variables físico-químicas en el proceso de remoción de coliformes en el sistema de lagunas de oxidación, Salguero, Valledupar (Colombia). Información Tecnológica, 32(1), 113–122. https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000100113

Gutierrez, L., Villa, O., & Troncoso, W. (2011). Caracterización e Impactos Ambientales por Vertimientos en Tramos de la Cuenca Media y Baja del Río Cesar, Valledupar. 19, 38. http://www.corpocesar.gov.co/files/1Metodos.pdf

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCILLERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. www.ideam.gov.co

Jones, E. R., Bierkens, M. F. P., & van Vliet, M. T. H. (2024). Current and future global water scarcity intensifies when accounting for surface water quality. Nature Climate Change, 14(6), 629–635. https://doi.org/10.1038/s41558-024-02007-0

Jones, E. R., Bierkens, M. F. P., Wanders, N., Sutanudjaja, E. H., van Beek, L. P. H., & van Vliet, M. T. H. (2022). Current wastewater treatment targets are insufficient to protect surface water quality. Communications Earth & Environment, 3(1), 221. https://doi.org/10.1038/s43247-022-00554-y

Jones, E. R., Bierkens, M. F. P., Wanders, N., Sutanudjaja, E. H., van Beek, L. P. H., & van Vliet, M. T. H. (2023). DynQual v1.0: a high-resolution global surface water quality model. Geoscientific Model Development, 16(15), 4481–4500. https://doi.org/10.5194/gmd-16-4481-2023

Oñate, H. C., & Cortez, G. Y. (2020). Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/COL. Tecnura, 24(65), 39–48. https://doi.org/10.14483/22487638.15766

Shields, F. D., & Brookes, A. (2014). Stream Restoration. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09042-4

van Beek, L. P. H., Eikelboom, T., van Vliet, M. T. H., & Bierkens, M. F. P. (2012). A physically based model of global freshwater surface temperature. Water Resources Research, 48(9). https://doi.org/10.1029/2012WR011819

van Vliet, M. T. H., Thorslund, J., Strokal, M., Hofstra, N., Flörke, M., Ehalt Macedo, H., Nkwasa, A., Tang, T., Kaushal, S. S., Kumar, R., van Griensven, A., Bouwman, L., & Mosley, L. M. (2023). Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes. Nature Reviews Earth & Environment, 4(10), 687–702. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3

Vega, S. P., Gutierrez, R. R., Maturana, A. Y., & Escusa, F. (2024). Data limitations in developing countries make river restoration planning challenging. Study case of the Cesar River, Colombia. Ecohydrology & Hydrobiology. https://doi.org/10.1016/J.ECOHYD.2024.01.012

Zanoni, M. G., Majone, B., & Bellin, A. (2022). A catchment-scale model of river water quality by Machine Learning. Science of The Total Environment, 838, 156377. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156377

Zhi, W., Appling, A. P., Golden, H. E., Podgorski, J., & Li, L. (2024). Deep learning for water quality. Nature Water, 2(3), 228–241. https://doi.org/10.1038/s44221-024-00202-z

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034684

INTERFERÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CLIMA DE PETROLINA, PERNAMBUCO

INTERFERÊNCIAS CLIMÁTICAS EN EL CLIMA DE PETROLINA, PERNAMBUCO

CLIMATE INTERFERENCES IN THE CLIMATE OF PETROLINA, PERNAMBUCO

Marta Souza dos Santos[1], Jainy Silva Nascimento[2], Maria Luiza Pereira de Souza[3], Mariana Lins Rodrigues[4].. 1 Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil marta.santos@gfe. ufsb.edu.br, n° de ORCID 0009-0005-4920-2804;
2 Graduanda em Engenharia Ambiental e da Sustentabilidade, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil, jainy.nascimento@cja.ufsb.edu.br, n° de ORCID 0009-0008-1597-3493;
3 Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil, marialuiza.souza@gfe.ufsb.edu.br, n° de ORCID 0009-0004-3831-7916;
4 Doutora em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil, mariana.lins@ufsb.edu.br, n° de ORCID 0000-0003-4957-9626.

RESUMO

As enchentes em centros urbanos são fenômenos que podem estar relacionados tanto a fatores naturais quanto antrópicos, sendo tão antigas quanto as próprias cidades ou qualquer aglomerado urbano. Nas últimas décadas, entretanto, o ser humano tem contribuído significativamente para o aumento da emissão de gases poluentes, provenientes de indústrias, automóveis, desmatamento, entre outras atividades, que acabam intensificando a ocorrência de chuvas intensas e levam a ocorrência de enchentes e inundações com maior frequência e intensificando a ocorrência de chuvas intensas e levam a ocorrência de enchentes e inundações. Além disso, o desenvolvimento acelerado das cidades, aliado à ausência de planejamento, ao desconhecimento do território e à falta de técnicas de construção adequadas, favorece o surgimento de problemas relacionados ao uso do solo, especialmente desastres decorrentes de processos naturais, que atingem populações e residências em áreas impróprias para ocupação. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo realizar um levantamento histórico sobre as influências dos eventos climáticos nas enchentes entre os anos de 2004 e 2013 do município de Petrolina- PE, especialmente em situações extremas, considerando seus impactos ambientais, sociais e econômicos. A cidade de Petrolina insere-se na Depressão Sertaneja, unidade geoambiental caracterizada por relevo suave-ondulado, paisagem típica do semiárido pernambucano. O clima regional, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BShw – quente e seco –, com estação chuvosa compreendida entre o verão e o outono. Os dados analisados foram coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na Estação de Petrolina (A307), no período de 2004 a 2013. Foram considerados os seguintes parâmetros meteorológicos: temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão atmosférica (instantânea, mínima e máxima), vento (velocidade, direção e rajadas), radiação solar e precipitação pluviométrica. Esses parâmetros foram classificados em três níveis de intensidade: alta, média e baixa. A análise climática revelou um evento extremo em 2004, quando ocorreram chuvas e umidade excepcionalmente elevadas, em contraste com a baixa precipitação registrada nos anos seguintes. Ainda assim, a variação de umidade e ponto de orvalho não garantem, por si só, ocorrência de precipitação. Já a temperatura e a velocidade do vento apresentaram relativa constância, com picos simultâneos em 2005 e 2007. Esses resultados reforçam a gravidade dos danos de 2004, particularmente pelas enchentes significativas, agravadas pela falta de controle público eficaz e de infraestrutura urbana resiliente. Portanto, os resultados aqui apresentados, em especial a maior variabilidade interanual até 2013 e o desequilíbrio nos regimes de precipitação e temperatura, podem ser

indicativos de reflexos locais de uma tendência global de instabilidade climática.
Palavras chave: Enchentes urbanas, Fatores antrópicos, Desenvolvimento urbano, Clima semiárido

RESÚMEN

Las inundaciones en centros urbanos son fenómenos que pueden estar relacionados con factores naturales y antropogénicos, siendo tan antiguos como las propias ciudades o cualquier aglomeración urbana. Sin embargo, en las últimas décadas, la actividad humana ha contribuido significativamente al aumento de las emisiones de gases contaminantes provenientes de industrias, automóviles, deforestación y otras actividades, lo que en última instancia intensifica la ocurrencia de fuertes lluvias y provoca inundaciones más frecuentes. Además, el rápido desarrollo de las ciudades, combinado con la falta de planificación, el desconocimiento del territorio y la falta de técnicas de construcción adecuadas, favorece la aparición de problemas relacionados con el uso del suelo, especialmente desastres derivados de procesos naturales, que afectan a poblaciones y residencias en áreas no aptas para la ocupación. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo realizar un estudio histórico de la influencia de los eventos climáticos en las inundaciones entre 2004 y 2013 en el municipio de Petrolina, Pernambuco, especialmente en situaciones extremas, considerando sus impactos ambientales, sociales y económicos. La ciudad de Petrolina se ubica en la Depresión Sertaneja, una unidad geoambiental caracterizada por un relieve suave y ondulado, un paisaje típico de la región semiárida de Pernambuco. El clima regional, según la clasificación de Köppen, es BShw (cálido y seco), con una estación lluviosa entre verano y otoño. Los datos analizados fueron recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET) en la Estación Petrolina (A307) entre 2004 y 2013. Se consideraron los siguientes parámetros meteorológicos: temperatura, humedad relativa, punto de rocío, presión atmosférica (instantánea, mínima y máxima), viento (velocidad, dirección y ráfagas), radiación solar y precipitaciones. Estos parámetros se clasificaron en tres niveles de intensidad: alta, media y baja. El análisis climático reveló un evento extremo en 2004, cuando los niveles de lluvia y humedad fueron excepcionalmente altos, en contraste con las bajas precipitaciones registradas en los años posteriores. Aun así, las variaciones en la humedad y el punto de rocío por sí solas no garantizan la precipitación. Sin embargo, la temperatura y la velocidad del viento se mantuvieron relativamente constantes, con picos simultáneos en 2005 y 2007. Estos resultados refuerzan la gravedad de los daños de 2004, en particular debido a las importantes inundaciones, agravadas por la falta de un control público eficaz y de una infraestructura urbana resiliente. Por lo tanto, los resultados aquí presentados, en particular la mayor variabilidad interanual hasta 2013 y el desequilibrio en los regímenes de precipitación y temperatura, podrían indicar reflejos locales de una tendencia global hacia la inestabilidad climática.

Palabras clave: Inundaciones urbanas, Factores antropogénicos, Desarrollo urbano, Clima semiárido

ABSTRACT

Floods in urban centers are phenomena that can be related to both natural and anthropogenic factors, being as old as cities themselves or any urban agglomeration. In recent decades, however, humans have contributed significantly to the increase in polluting gas

emissions from industries, automobiles, deforestation, and other activities, which ultimately intensify the occurrence of heavy rainfall and lead to more frequent flooding. Furthermore, the rapid development of cities, combined with a lack of planning, unfamiliarity with the territory, and the lack of adequate construction techniques, favors the emergence of problems related to land use, especially disasters resulting from natural processes, which affect populations and residences in areas unsuitable for occupation. Therefore, this study aimed to conduct a historical survey of the influence of climate events on the floods between 2004 and 2013 in the municipality of Petrolina, Pernambuco, especially in extreme situations, considering their environmental, social, and economic impacts. The city of Petrolina is located in the Depressão Sertaneja (Sertaneja Depression), a geoenvironmental unit characterized by gentle, undulating relief, a landscape typical of the semiarid region of Pernambuco. The regional climate, according to the Köppen classification, is BShw—hot and dry—with a rainy season between summer and autumn. The data analyzed were collected by the National Institute of Meteorology (INMET) at the Petrolina Station (A307) from 2004 to 2013. The following meteorological parameters were considered: temperature, relative humidity, dew point, atmospheric pressure (instantaneous, minimum, and maximum), wind (speed, direction, and gusts), solar radiation, and rainfall. These parameters were classified into three intensity levels: high, medium, and low. Climate analysis revealed an extreme event in 2004, when rainfall and humidity levels were exceptionally high, in contrast to the low precipitation recorded in subsequent years. Even so, variations in humidity and dew point alone do not guarantee precipitation. Temperature and wind speed, however, remained relatively constant, with simultaneous peaks in 2005 and 2007. These results reinforce the severity of the 2004 damage, particularly due to the significant flooding, exacerbated by the lack of effective public control and resilient urban infrastructure. Therefore, the results presented here, especially the greater interannual variability until 2013 and the imbalance in precipitation and temperature regimes, may be indicative of local reflections of a global trend toward climate instability.

Keywords: Urban flooding, Anthropogenic factors, Urban development, Semi-arid climate

INTRODUÇÃO

As enchentes em centros urbanos são fenômenos que podem estar relacionados tanto com fatores naturais como antrópicos, sendo tão antigas quanto as próprias cidades ou qualquer aglomerado urbano (Tucci 2001). Esses eventos naturais ocorrem quando a água ultrapassa o potencial de absorção do solo ou a capacidade dos rios e córregos, inundando áreas em seu entorno. Dentre os danos causados, às enchentes são responsáveis por afetar a vida de 102 milhões de pessoas a cada ano no mundo (EM-DAT/CRED 2012).

Atualmente, os eventos climáticos de grande intensidade têm aumentado cada dia, provocando impactos no meio ambiente, economia e na sociedade. Esses fenômenos, que incluem secas prolongadas, tempestades fortes, ondas de calor e enchentes, representam um grande desafio crescente para ações de mitigação relacionadas às mudanças climáticas. Conforme o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), eventos climáticos

extremos são situações que ocorrem fora do comum, ou seja, fogem das condições climáticas normais e esperadas em uma determinada região e período, causando danos negativos para o meio ambiente e para sociedade (IPAM 2025). Embora compreender esses fenômenos seja um grande desafio, essa tarefa é essencial, pois contribui para a elaboração de políticas públicas eficazes na redução de seus impactos.

Nas últimas décadas, no entanto, o ser humano tem contribuído significativamente para o aumento da emissão de gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa, seja por meio de atividades industriais, do uso de automóveis movidos a combustão, do desmatamento ou de outras práticas antrópicas. Esse processo tem intensificado a concentração desses gases na atmosfera, formando uma barreira que dificulta a dissipação do calor terrestre e resulta no aquecimento global, e por consequência na alteração dos ciclos naturais e na ocorrência de eventos extremos. Esse processo tem intensificado a concentração desses gases na atmosfera, formando uma barreira. Destaca-se que o desenvolvimento acelerado das cidades aliado à ausência de planejamento, conhecimento de territórios e técnicas de construção adequadas, possibilitou possível o surgimento de problemas relacionado ao uso do solo, sobretudo desastres por meio de processos naturais, atingindo populações e suas residências em áreas inapropriadas para a ocupação (Silva 2015). Segundo, Freitas e Ximenes (2012) para o desenvolvimento urbano, é necessário que em toda cidade urbana, tenha serviços ligado a drenagem e de manejo de água pluviais, para que possamos evitar os problemas no ambiente interurbano, como, por exemplo alagamentos, inundações e vários prejuízos causados pelos seus acontecimentos.

O município de Petrolina encontra-se no interior do estado de Pernambuco, 712 km do Recife e a 500 km de Salvador, capital da Bahia. Possui uma extensão territorial de aproximadamente 4.561,870 km², estando 244,8 km² em perímetro urbano e os 4.317,072 km² restantes integrando a zona rural. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2024), em 2025 sua população foi estimada em 418.444 habitantes, o que faz de Petrolina a terceira mais populosa de Pernambuco.

O objetivo deste estudo foi realizar um apanhamento histórico do período de 2004 a 2013 sobre as influências dos eventos climáticos nas enchentes do município de Petrolina- PE, especialmente em situações extremas, considerando seus impactos ambientais, sociais e econômicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Petrolina, localizado no nordeste do Brasil, inserido na região do semiárido pernambucano, na mesma região do Sertão do São Francisco. Sua sede se encontra nas coordenadas geográficas de Latitude: -9,39416, longitude: -40.5096, 9° 23′ 39″ sul, 40° 30′ 35″ oeste. O município ocupa uma área de, aproximadamente, 4.561,872 km² (IBGE 2024), cerca de 4,65% da área do estado de Pernambuco, com uma população estimada de aproximadamente 418.444 habitantes. É um dos mais importantes polos agroindustriais brasileiros, destacando-se especialmente na produção e exportação de frutas para vários países (Embrapa Semiárido).

A Figura (1) apresenta a localização geográfica do município de Petrolina-PE (Morais et al. 2017), utilizada para delimitar a área de estudo e contextualizar os dados climáticos analisados.

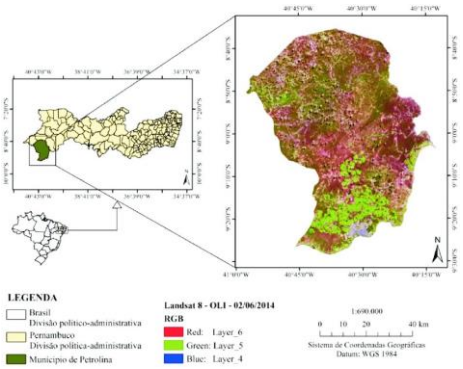


Figura 1. Localização do Município de Petrolina/PE.
Fonte: Morais et al. 2017.

O município de Petrolina está inserido na depressão sertaneja, unidade geoambiental marcada por um relevo suave-ondulado, paisagem típica do semiárido pernambucano. O clima da região é, segundo a classificação de Köppen, Bswh – quente e seco, com a estação chuvosa compreendida entre o verão e o outono. Petrolina é caracterizada pela escassez e irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e forte evaporação, como consequência das altas temperaturas.

METODOLOGIA

Os dados foram coletados por meio do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) na Estação de Petrolina (A307) desde os anos de 2004 a 2013. Foram analisados os

seguintes parâmetros meteorológicos: temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão atmosférica (instantânea, mínima e máxima), vento (velocidade, direção e rajadas), radiação solar e precipitação pluviométrica. Esses parâmetros foram classificados em três níveis de intensidade: alta, média e baixa, correspondendo, respectivamente, à data específica conforme o nível de intensidade observado 30/01. A análise descritiva foi utilizada para inter-relacionar os parâmetros climáticos avaliados, com objetivo de identificar tendência no aumento da frequência e da magnitude dos eventos observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro gráfico demonstra a correlação entre o volume de chuvas (mm) e o ponto de orvalho (°C) durante o período de 2003 a 2011.

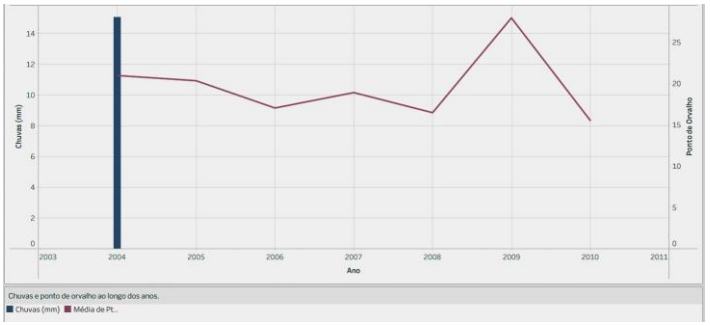


Figura 2: Quantidade chuva (mm) em Ponto de Orvalho ao longo dos anos de 2003 a 2011.

Fonte: Autores, 2025.

É possível observar que no ano de 2004, ocorreu um evento pluviométrico de grande magnitude, com um volume de chuvas que atingiu um pico de aproximadamente 15 mm. Em contrapartida, os anos seguintes, de 2005 a 2010, apresentaram volumes de chuva significativamente menores, quase irrelevantes na escala apresentada, ou inexistência de registros pluviométricos, o que sugere ausência de precipitação. Essa diferença indica que houve um evento isolado de muita chuva em 2004, seguido por um período de seca ou de chuvas muito raras nos anos seguintes. Em relação ao ponto de orvalho, o ano de 2004 registrou um valor em torno de 21 °C. A variação do ponto de orvalho foi e menos abrupta em relação à precipitação. Em 2004, o ponto de orvalho registrou um valor de 21 °C, já no ano de 2005 houve uma sutil queda, seguido de uma diminuição acentuada em 2006 registrando aproximadamente 18 °C Em 2007, houve um aumento para 20 °C, e novamente uma queda em torno de 17 °C no ano de 2008. No período de 2009, observou-se um pico no

de ponto de orvalho, atingindo cerca de 26 °C e logo depois uma queda acentuada para 15 °C em 2010, seguindo uma tendência anteriormente registrada de variabilidade interanual para este parâmetro. Foi analisada uma visível desconexão entre o ano de 2009, onde o ponto de orvalho atinge o seu valor máximo, mas não há registro de chuvas significativas. Isso pode revelar que, embora a umidade estivesse em níveis bem altos, outros fatores meteorológicos, como mecanismo de levantamento ou presença de núcleos de condensação, podem não ter sido o suficiente para estimular a precipitação. Em relação à variação de ponto de orvalho nos anos de baixa pluviosidade, a relação evidencia que a umidade do ar flutua independente da ocorrência de chuvas, e que a presença de alta umidade por si só não garante a precipitação.

A figura 3 demonstra uma relação entre o volume de chuvas e a umidade relativa do ar.

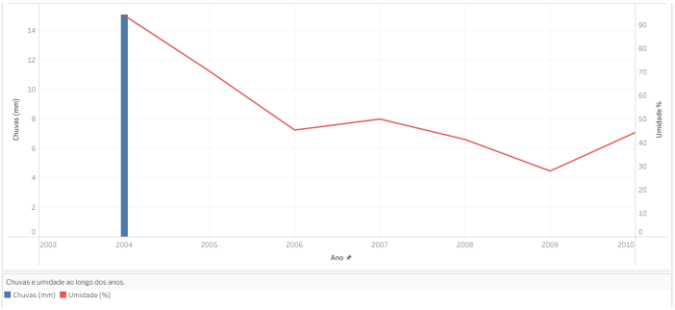


Figura 3: Chuvas (mm) e Umidade (%) ao longo dos anos de 2003 a 2011.

Fonte: Autores, 2025.

A umidade relativa do ar, por outro lado, exibe uma tendência geral de declínio referente aos anos analisados. No ano de 2004, a umidade atingiu seu valor máximo de aproximadamente 90%, coincidindo com o pico de chuvas. Após o ano de 2004, a umidade sofreu uma queda acentuada, chegando a cerca de 45% em 2006. Em 2007 houve um aumento de aproximadamente 50% no ano e logo após um novo declínio alcançando o menor valor registrado em 2009 (aproximadamente 25%). Já no ano de 2010, a umidade relativa do ar voltou a subir, alcançando o valor de 40%, reforçando a instabilidade climática observada na região.

É notório observar que, a análise das chuvas e da umidade tem revelado uma forte relação em 2004, onde a alta umidade (90%) está diretamente relacionada ao volume máximo de precipitação. Essa relação é esperada, pois a umidade é um pré-requisito para formação de nuvens e chuvas. Já as flutuações da umidade, ao longo dos anos, em anos de baixa pluviosidade, mesmo com pequenos aumentos em 2007 e 2010, não foram suficientes para

restaurar os volumes de chuva observados em 2004. Baseado nisso, percebe-se que, apesar de a umidade ser essencial nesse processo, outros elementos climáticos e atmosféricos são igualmente necessários para acionar chuvas de grande escala. Desta forma, a variação da umidade, ao longo dos anos, atua como um recurso valioso para determinar as condições climáticas e a ocorrência de água nesta região.

O Gráfico 4 apresenta a relação entre a temperatura média (°C) e a velocidade do vento (m/s) para o período de 2003 a 2011.

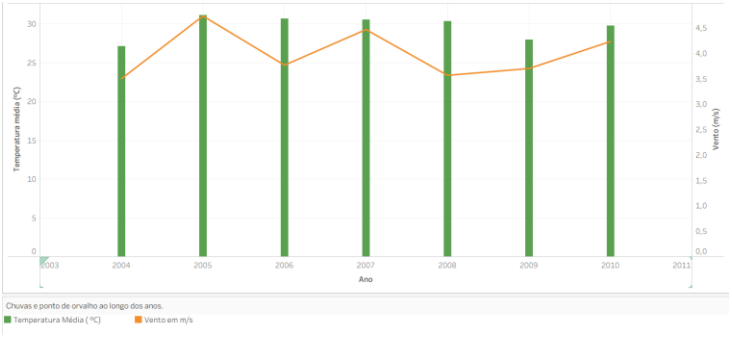


Figura 4: Temperatura Média (°C) e Vento (m/s) ao longo dos anos de 2003 a 2011.

Fonte: Autores, 2025.

A temperatura média anual apresentada foi relativamente estável ao longo do tempo, variando aproximadamente entre 27 °C e 31 °C. Episódios de elevada temperatura média foram observados nos anos de 2005, 2006 e 2007, todos com médias superiores a 30 °C. Entre esses anos de 2004, 2008, 2009 e 2010 as temperaturas médias foram ligeiramente mais baixas, embora ainda estejam na mesma faixa, o que demonstra um padrão de calor constante.

A velocidade média do vento situou-se entre aproximadamente em torno de 3,5 m/s e 4,5 m/s. Os valores máximos foram registrados em 2005 e 2007 (aproximadamente 4,5 m/s). Em 2008, a velocidade declinou para aproximadamente 3,5 m/s e depois voltou a subir gradualmente em 2009 e 2010 até cerca de 4,2 m/s. Uma comparação conjunta entre a temperatura média e a velocidade do vento, por fim, revela uma relação entre o ponto mais alto dessas duas variáveis ocorrendo ao mesmo tempo. Essa comparação indica que, em 2005 e 2007, a temperatura e o vento apresentaram valores mais altos. Isso sugere que períodos de temperaturas elevadas foram simultâneos a condições atmosféricas que favorecem velocidades de vento mais rápidas, ou vice-versa. Considerando a tendência ao longo dos vários anos, foi possível observar um gráfico que apresenta tendência razoavelmente estável.

Mesmo flutuando entre anos, não há evidências de picos que possam sugerir mudanças climáticas ecológicas drásticas.

Em geral, a análise dos gráficos 02, 03 e 04, referentes à precipitação, ao ponto de orvalho, à umidade, à temperatura média e à velocidade do vento durante o período de 2003 a 2011, revela padrões complexos e interações significativas entre essas variáveis. O comportamento observado revela, principalmente, a ocorrência de eventos relacionados às variações na temperatura da água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial. De acordo com Oliveira (2001), o El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, gerando uma alteração no sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico Tropical que tem consequências no tempo e no clima de todo o globo. Assim como o El Niño representa a fase quente, a La Niña é comumente conhecida como a fase fria, ou seja, o resfriamento das águas superficiais do Pacífico Equatorial, causando efeitos opostos ao do El Niño.

De acordo com Vital, Lyra e Santos (2013), baseado em dados do IBGE, Petrolina no período de 2000 a 2007 teve crescimento urbano de 2% ao ano, aumentando com isso a demanda por rede de água e esgoto. Dentre os impactos socioambientais causados pelos canais em alguns bairros em Petrolina, destacam-se problemas na drenagem e no saneamento, com infiltrações e escoamento de esgoto ao ar livre, acúmulo de lixo dentro e fora do canal, tendo com o resultado mau cheiro e poluição, além do despejo do efluente diretamente no rio São Francisco, causando desequilíbrios ambientais (VITAL; LYRA; SANTOS 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia a relação existente entre variáveis meteorológicas e os impactos causados pelas enchentes, mas também a premente necessidade de aprimorar a infraestrutura urbana e os sistemas de saneamento básico em Petrolina. A ocorrência de chuvas intensas em 2004, com índices pluviométricos acima da média, evidencia a necessidade de políticas públicas eficazes e de um planejamento urbano resiliente, capaz de reduzir a vulnerabilidade da população frente a eventos climáticos extremos. Somente por meio dessas medidas será possível assegurar a qualidade de vida dos cidadãos, especialmente daqueles em situação de maior vulnerabilidade social para tanto, é fundamental que ações sejam implementadas para enfrentar desafios persistentes, como a inadequação da drenagem e do tratamento de esgoto, que continuam a ser uma preocupação central para a qualidade de vida nos centros urbanos, como é o caso da cidade de Petrolina/PE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ciência Hoje. 2025. "Aquecimento global: um vilão nada fictício." Ciência Hoje. Acesso em 29 de setembro de 2025. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/artigo/aquecimento-global-um-vilao-nada-ficticio/.

DB-City. 2025. "Petrolina, Pernambuco, Brasil." Acesso em 29 de setembro de 2025. Disponível em: https://pt.db-city.com/Brasil--Pernambuco--Petrolina.

Enes, Helida. 2024. "Chuvas intensas em Petrolina superam média histórica dos últimos 20 anos." Jornal do Sertão, 28 de fevereiro de 2024. Disponível em: https://jornaldosertaope.com.br/2024/02/28/chuvas-intensas-em-petrolina-superam-media-historica-dos-ultimos-20-anos/.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2025. "Petrolina – Panorama." Acesso em 29 de setembro de 2025. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/panorama.

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). 2025. Eventos climáticos extremos. Glossário IPAM. Acesso em 29 de setembro de 2025. Disponível em: https://ipam.org.br/glossario/eventos-climaticos-extremos/.

IRPAA. 2025. Carta El Niño 16. Fevereiro de 2025. Disponível em: https://irpaa.org/wp-content/uploads/2025/02/carta-el-nino-16.pdf.

Morais, Ygor Cristiano Brito, Maria do Socorro Bezerra Araujo, Magna Soelma Beserra Moura, Rodrigo De Queiroga Miranda, e Cleusa Maria de Lima. 2017. "Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano." Revista Brasileira de Geografia Física 11 (6): 1535–1547. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Localizacao-geografica-do-municipio-de-Petrolina-PE_fig1_321863551.

Salazar, Germán Ariel, Janis Joplim Bezerra Galdino, Pedro Henrique Albuquerque, e Naum Fraidenraich. 2016. "Estudo da Radiação Solar da Cidade de Petrolina Através de um Modelo Empírico de Céu Claro." Revista Brasileira de Geografia Física 9 (4): 1065–1075. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Posicao-de-Petrolina-no-mapa-do-Brasil-O-clima-em-Petrolina-e-tropical_fig1_303064590.

Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (TCE-PE). 2025. "Petrolina." Acesso em 29 de setembro de 2025. Disponível em: https://tomeconta.tcepe.tc.br/dados/Municipio!municipioSelecionado?municipio.nome=Petrolina&municipio.codigo=P115.

Tucci, Carlos E. M. 2001. Gerenciamento Integrado das Inundações Urbanas no Brasil. Brasília: Global Water Partnership/World Bank. Disponível em: https://engcivil20142.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/9-gerenciamento-integrado-das-inundac3a7c3b5es-urbanas-no-brasil.pdf.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2012. Disaster Through a Different Lens: Behind Every Effect, There Is a Cause. Geneva: UNISDR. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/20108_mediabook.pdf.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034692

INTERFERÊNCIAS CLIMÁTICAS NO CLIMA DE ILHÉUS, BAHIA

CLIMATE INTERFERENCES IN THE CLIMATE OF ILHÉUS, BAHIA

Maria Luiza Pereira de Souza[1], Marta Souza dos Santos[2], Jainy Silva Nascimento e Mariana Lins Rodrigues[4]

[1] Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil marialuiza.souza@gfe.ufsb.edu.br, n° de ORCID 0009-0004-3831-7916;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil, marta.santos@gfe. ufsb.edu.br, n° de ORCID 0009-0005-4920-2804;
[3]Graduanda em Engenharia Ambiental e da Sustentabilidade, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil, jainy.nascimento@cja.ufsb.edu.br, n° de ORCID 0009-0008-1597-3493;
[4] Doutora em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Sul da Bahia,Itabuna, Brasil, mariana.lins@ufsb.edu.br, n° de ORCID 0000-0003-4957-9626.

RESUMO

As enchentes estão entre os desastres naturais que impactam diretamente a vida da população desde os períodos mais antigos da história das civilizações. No município de Ilhéus, Bahia, em períodos de chuvas fortes, ocorrem desastres ambientais resultantes da infraestrutura da cidade para suportar grande volume de água em períodos de volume mais elevado de chuvas, resultando em danos materiais para a população e modificação da paisagem. Em casos como estes, estão relacionados a bairros, onde as moradias são construídas em cortes incorretos na vertente, ausência de saneamento básico, no qual permite que os mais vulneráveis, venham estar expostos aos desastres. O objetivo deste estudo foi realizar um apanhado histórico desde dos anos de 2015 a 2024 acerca de como os eventos climáticos estão interferindo em relação às enchentes no Município de Ilhéus, Bahia, especialmente em eventos extremos, considerando os impactos ambientais, sociais e econômicos causados por essas ocorrências. Os dados foram coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) na Estação de Ilhéus (A410) desde dos anos de 2015 a 2024. Os parâmetros meteorológicos avaliados foram: temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão (instante, mínima e máxima), vento (velocidade, direção e rajada), radiação e chuvas, e estes foram classificados respectivamente em três níveis, sendo de alta intensidade, média intensidade e baixa intensidade. Nos anos de 2015 e 2016, é possível observar que os índices pluviométricos foram baixos, onde em 2015 registrou 10 mm e em 2016 menos de 5 mm. Já que a cidade esteve sob a presença do fenômeno climático do El Niño. Em 2021, a cidade sofreu com as chuvas extremas, provocando danos à população do município. Dessa forma, a partir da análise gráfica, as chuvas ultrapassaram de 40 mm, chegando a quase 60 mm, ao contrário dos anos de 2015 e 2016, que foram precipitações baixas. A razão das chuvas nessas áreas é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que juntamente com a La Niña gerou enormes impactos em cerca de 180 municípios baianos. Assim, em períodos de variações climáticas relacionadas ao maior volume de chuvas na região de Ilhéus, Bahia, concomitantemente com o perfil de infraestrutura do município, impactam diretamente a vida da população, em especial, as que vivem em regiões de vulnerabilidade social.

Palavras-chave: Chuvas extremas, Desastre naturais, Enchentes, Eventos climáticos, Impactos ambientais

RESÚMEN

Las inundaciones se encuentran entre los desastres naturales que han impactado directamente la vida de la población desde los primeros períodos de la historia de la civilización. En el municipio de Ilhéus, Bahía, durante los períodos de fuertes lluvias, se producen desastres ambientales como resultado del diseño de la infraestructura de la ciudad para soportar grandes volúmenes de agua durante los períodos de mayor precipitación, lo que resulta en daños materiales a la población y cambios en el paisaje. En tales casos, están relacionados con barrios donde las viviendas se construyen en pendientes incorrectas y la falta de saneamiento básico, lo que expone a los más vulnerables a los desastres. El objetivo de este estudio fue realizar un resumen histórico de 2015 a 2024 de cómo los eventos climáticos están afectando las inundaciones en el municipio de Ilhéus, Bahía, especialmente durante eventos extremos, considerando los impactos ambientales, sociales y económicos causados por estos sucesos. Los datos fueron recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología de Brasil (INMET) en la Estación Ilhéus (A410) de 2015 a 2024. Los parámetros meteorológicos evaluados fueron: temperatura, humedad, punto de rocío, presión (instantánea, mínima y máxima), viento (velocidad, dirección y ráfaga), radiación y precipitaciones, que se clasificaron en tres niveles: alta intensidad, intensidad media y baja intensidad. En 2015 y 2016, los niveles de precipitaciones fueron bajos, con 10 mm en 2015 y menos de 5 mm en 2016. Esto se debió al fenómeno climático de El Niño. En 2021, la ciudad sufrió precipitaciones extremas, que causaron daños a la población del municipio. Así, con base en el análisis gráfico, las precipitaciones superaron los 40 mm, llegando a casi 60 mm, a diferencia de los años 2015 y 2016, que registraron bajas precipitaciones. La causa de las precipitaciones en estas zonas es la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), que, junto con La Niña, generó impactos significativos en aproximadamente 180 municipios de Bahía. Por lo tanto, los períodos de fluctuaciones climáticas relacionados con el aumento de las precipitaciones en la región de Ilhéus, Bahía, junto con el perfil de infraestructura del municipio, impactan directamente la vida de la población, especialmente de quienes viven en zonas socialmente vulnerables.

Palabras clave: Precipitaciones extremas, Desastres naturales, Inundaciones, Fenómenos climáticos, Impactos ambientales

ABSTRACT

Floods are among the natural disasters that have directly impacted the lives of the population since the earliest periods in the history of civilization. In the municipality of Ilhéus, Bahia, during periods of heavy rainfall, environmental disasters occur as a result of the city's infrastructure being designed to withstand large volumes of water during periods of higher rainfall, resulting in material damage to the population and changes to the landscape. In such cases, they are related to neighborhoods where homes are built on incorrect slopes and a lack of basic sanitation, which exposes the most vulnerable to disasters. The objective of this study was to conduct a historical overview from 2015 to 2024 of how climate events are affecting flooding in the municipality of Ilhéus, Bahia, especially during extreme events, considering the environmental, social, and economic impacts caused by these occurrences. The data were collected by the Brazilian National Institute of Meteorology (INMET) at the Ilhéus Station (A410) from 2015 to 2024. The meteorological parameters evaluated were: temperature, humidity, dew point, pressure (instantaneous, minimum, and maximum), wind

(speed, direction, and gust), radiation, and rainfall, which were classified into three levels: high intensity, medium intensity, and low intensity. In 2015 and 2016, rainfall levels were low, with 10 mm in 2015 and less than 5 mm in 2016. This was due to the El Niño climate phenomenon. In 2021, the city suffered from extreme rainfall, causing damage to the municipality's population. Thus, based on the graphical analysis, rainfall exceeded 40 mm, reaching almost 60 mm, unlike the years 2015 and 2016, which saw low rainfall. The reason for the rainfall in these areas is the South Atlantic Convergence Zone (ZCAS), which, along with La Niña, generated significant impacts in approximately 180 municipalities in Bahia. Thus, periods of climate fluctuations related to higher rainfall volumes in the Ilhéus, Bahia region, combined with the municipality's infrastructure profile, directly impact the lives of the population, especially those living in socially vulnerable areas.

Keywords: Extreme rainfall, Natural disasters, Floods, Climate events, Environmental impacts

INTRODUÇÃO

As enchentes estão entre os desastres naturais que impactam diretamente a vida da população desde os períodos mais antigos da história das civilizações (Wollmann 2014). No entanto, esse problema tem se agravado cada dia mais devido a ação humana, em particular pelo descarte inadequado de resíduos sólidos em rios urbanos e encostas. Essa circunstância interfere no ciclo hidrológico local assim contribuindo para a impermeabilização do solo através da pavimentação excessiva e da canalização dos rios (Oliveira; Ferreira; Estevam 2021 apud Estevam 2019).

As chuvas extremas de elevada intensidade e curta duração geram alagamentos, enxurradas e inundações, essas chuvas intensas de média potência e de longa duração encharcam o solo e consequentemente as chuvas de curto período e de alta intensidade, intensifica mais ainda o solo encharcado, acarretando os deslizamentos (Tominaga et al. 2009). Afetando assim, a saúde da população, danos físicos e materiais, como famílias desabrigadas, ampliando o risco de contaminação por doenças de veiculação hídrica e podendo causar óbitos (hacon et al. 2018).

O Brasil tem um histórico de assentamentos informais, com a ausência de infraestrutura urbana (Maricato 2009) e cidades isoladas socioespacialmente, presentes em áreas de baixa ou nenhuma infraestrutura urbana, habitada por parcela considerável de uma população mais pobre e vulnerável socialmente e economicamente (Maricato 2003a 2003b 2009), o que torna as algumas localidades mais vulneráveis às mudanças climáticas (Perez et al. 2020).

O termo “mudanças climáticas” tem sido usado para se referir a modificações recentes

no clima da Terra, que engloba alterações na temperatura, na precipitação e nos padrões de vento e correntes (Global Climate Change 2023; Richardson et al. 2023). Esse aumento da temperatura global, no decorrer das últimas décadas, tem modificado os padrões climáticos e desestabilizando o ecossistema, todas essas ocorrências representam sérios danos aos seres humanos e as mais diversas formas de vida (Global Climate Change 2023; Nações Unidas 2024).

No Município de Ilhéus localizado no Sul da Bahia, possui um antigo histórico de ocupação que retrata uma classe de urbanização sem planejamento correto (Póvoas; Fontes; Moreau 2014). Por causa do seu relevo que tem por característica das feições geomorfológicas de colinas ou morros, que são locais ondulados com topos pulvinados, de declividade suave (Silva et al. 2023), do tipo de solo e condições pluviométricas das localidades de ocupação irregular. Nos períodos de chuvas fortes, ocorrem várias ocorrências em massa que podem resultar em perdas de vidas, danos materiais e modificação da paisagem. Em casos como estes, estão relacionados a bairros, onde as moradias são construídas em cortes incorretos na vertente, ausência de saneamento básico, no qual permite que os mais vulneráveis, venham estar expostos aos desastres (Santos; Beaitz 2017).

Segundo a Fiocruz, os grupos sociais mais vulneráveis possuem uma menor capacidade de reagir ou de ser resiliente frente aos impactos climáticos, como a seca e o excesso de chuvas (Barata 2015). A vulnerabilidade une a população ao risco da ausência de abastecimento de água que pode piorar a depender dos fatores socioeconômicos (Alves 2013). É evidente que, o tipo de gestão da água e do saneamento básico pode refletir diferentes níveis de eficiência do serviço prestado (Martínez-Córdoba et al. 2020).

O objetivo deste estudo foi realizar um apanhado histórico desde dos anos de 2015 a 2024 acerca de como os eventos climáticos estão interferindo em relação às enchentes no Município de Ilhéus, Bahia, especialmente em eventos extremos, considerando os impactos ambientais, sociais e econômicos causados por essas ocorrências.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Ilhéus está localizado no Sul da Bahia e ocupa uma área de 1.588,555 km ² (IBGE, 2024). A população é de aproximadamente 178.649 habitantes (IBGE, 2022) e

densidade demográfica de aproximadamente 112,46 hab km (IBGE, 2022), a escolha dessa área se deve à recorrência dos eventos e seus impactos socioeconômicos e ambientais, especialmente no ano de 2021.

METODOLOGIA

Os dados foram coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) na Estação de Ilhéus (A410) desde dos anos de 2015 a 2024. Os parâmetros meteorológicos avaliados foram: temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão (instante, mínima e máxima), vento (velocidade, direção e rajada), radiação e chuvas, e estes foram classificados respectivamente em três níveis, sendo de alta intensidade, média intensidade e baixa intensidade, onde as datas 24/12, 25/12 e 26/12, são correspondente de acordo com o tipo de intensidade. Utilizando assim, a análise estatística descritiva, interrelacionando os parâmetros climáticos avaliados, para determinar as tendências no aumento da frequência e magnitude.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento alarmante no índice de desastres naturais nas últimas décadas tem posto o Brasil em alerta. Esses acontecimentos, causados por eventos climáticos extremos, refletem uma ameaça relevante para a sociedade, gerando danos, perdas sociais, ambientais e econômicas (Rocha; Assis; Fontes 2024).

Em Ilhéus nos anos de 2015 e 2016, é possível observar que os índices pluviométricos foram baixos, onde em 2015 registrou 10 mm e em 2016 menos de 5 mm (figura 1). Já que, a cidade esteve sob a presença do fenômeno climático do El Niño, no qual permite que haja a redução de chuvas. Essas condições de tempo e, principalmente, a condição temporária das chuvas, sofrem interferências, tanto em escalas locais e regionais e no período de chuvas (Almeida 2017). De acordo com a FUNCEME (2009), com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, observam-se mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos e altos, determinando alterações nos padrões de transporte de umidade e, portanto, nas variações na distribuição das chuvas, em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também se observa aumento ou queda de temperatura. Assim, é possível observar essa variação nas presentes (figuras 1, 2 e 3).

Em 2021, a cidade sofreu com as chuvas extremas, a qual deixou muitos danos ao município. Dessa forma, a partir da análise gráfica (figura 1), as chuvas ultrapassaram de 40 mm, chegando a quase 60 mm, ao contrário dos anos de 2015 e 2016, que foram precipitações baixas. Segundo os noticiários e com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as precipitações acumuladas de dezembro de 2021 excederam, e muito, a média de todo o mês (INMET, 2021). A razão das chuvas nessas áreas é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que juntamente com a La Niña gerou enormes impactos em cerca de 180 municípios baianos (Silva et al. 2025). Visto que, as estações meteorológicas localizadas neste município e de Caravelas registraram as maiores pluviosidades para esse mês desde o ano de 1961 (Marengo et al. 2023). Dessa forma, esses eventos climáticos que atingiram a cidade, não somente influenciou nos índices elevados das precipitações, mas também nos demais parâmetros meteorológicos.

Além, dessas causas naturais, também existe o impulsionamento pelos impactos gerados pela ocupação humana irregular. Pois com a retirada da vegetação, gera a exposição das encostas que sucede às intempéries climáticas, primordialmente com a água da chuva, resultando em mais frequência a erosão e o deslizamento de terra. Vale frisar sobre a ausência de sistemas de drenagem, que intensificam esses danos (Santos; Beaitz 2017). Os distritos da cidade também foram afetados, um deles foi o distrito de Sambaituba, onde o bairro foi inundando, e o principal meio de locomoção foram os barcos (Observatório de Terceiro Setor 2022).

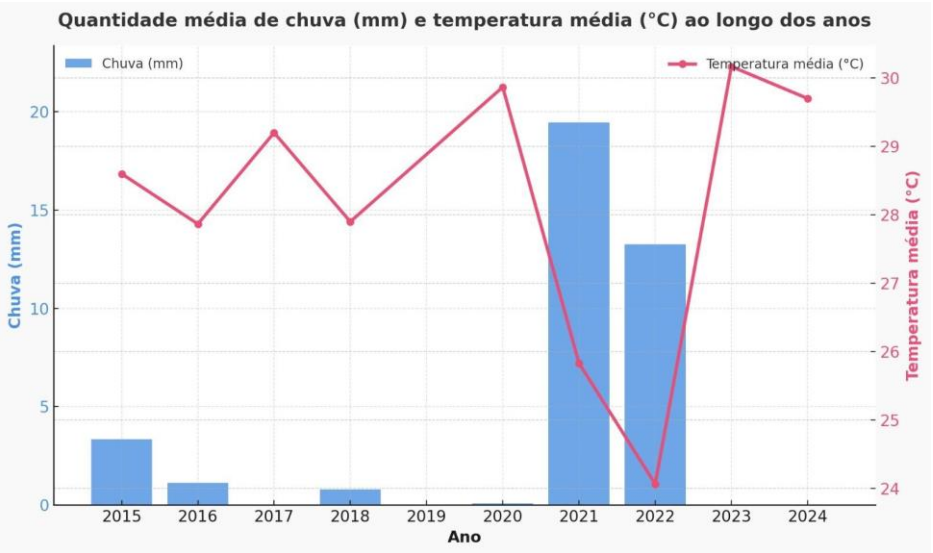


Figura 1: Quantidade chuva (mm) em função da temperatura média ao longo dos anos de 2015 a

2024.

Fonte: Autores, 2025.

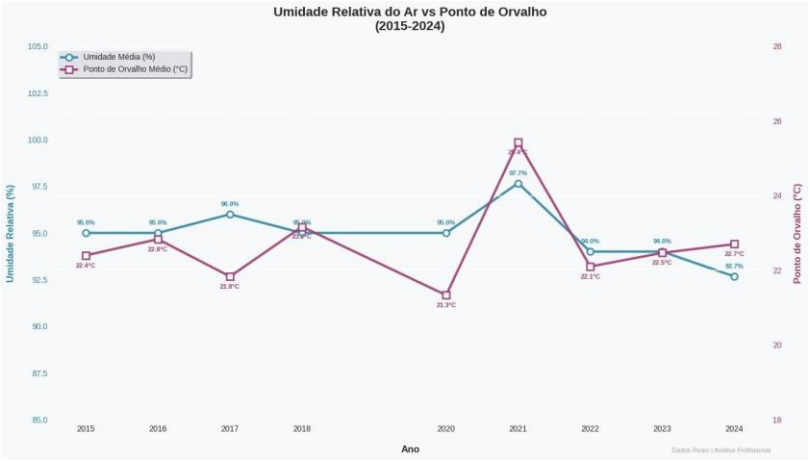


Figura 2: Umidade relativa do ar (%) em função do Ponto de Orvalho ao longo dos anos de 2015 a 2024.

Fonte: Autores, 2025.

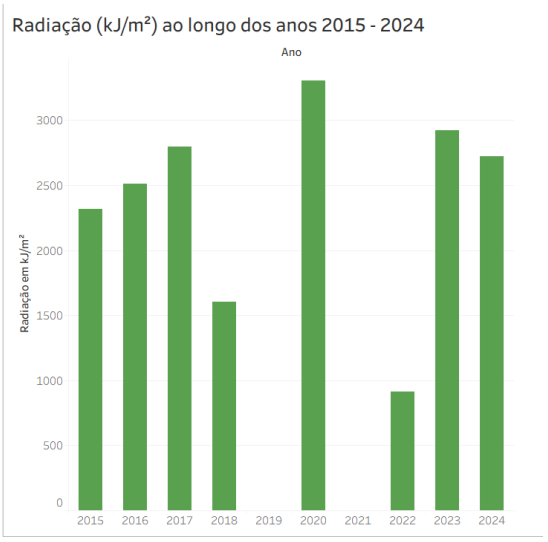


Figura 3: Radiação (KJ/m²) ao longo dos anos 2015-2024.

Fonte: Autores, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fenômenos climáticos interferem de maneira direta no clima do município de Ilhéus, Bahia. Promovendo, uma maior frequência e intensidade das chuvas, fator este que gera impacto ambiental e social, pois a cidade possui um grande volume de ocupações

residenciais irregulares. Com a ausência da democratização do saneamento básico intensifica mais ainda estes danos, principalmente no ano de 2021 no qual a cidade sofreu uma das maiores enchentes registradas no município, no qual frisa a necessidade de ter o acesso ao saneamento básico e o planejamento urbano adequado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Hermes Alves de. "Índices de Secas e a Influência do Fenômeno El Niño na Estação Chuvosa de Ipiaú, BA." *Agrotrópica* 29, no. 1 (2017): 51–62. https://doi.org/10.21757/0103-3816.2017v29n1p51-62.

Alves, Francisco Gustavo Dutra, Emerson da Purificação Moura, Irlanda Pires de Sá Sousa, e Fabiana Pinto de Almeida Bizarria. "Vulnerabilidades Social e Saneamento Básico na Perspectiva do Desenvolvimento Sustentável." *Saúde e Ambiente - Interfaces Científicas* 9, no. 3 (2024): 288–305. https://doi.org/10.17564/2316-3798.2024v9n3p288-305.

Alves, H. P. F. "Análise da vulnerabilidade socioambiental em Cubatão-SP por meio da integração de dados sociodemográficos e ambientais em escala intraurbana." *Revista Brasileira de Estudos de População* 30, no. 2 (2013): 349–366.

Aquino, Davi Santiago, Kimberly dos Santos Sanches, Priscila Rocha da Cruz Silva, e Lilian Lopes Cordeiro. "Identificação e análise de anomalias de chuvas em dois municípios do sul da Bahia entre 1980 e 2023." *Revista Mirante* (Anápolis-GO) 17, no. 2 (edição extra, dez. 2024): 48–63. ISSN 1981-4089.

Barata, M., coord. *Estudo da vulnerabilidade socioambiental da população dos municípios baianos inseridos na bacia hidrográfica do rio São Francisco no bioma caatinga, aos impactos das mudanças climáticas*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2015.

Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). "Análise das Chuvas na Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo em dezembro de 2021." *Portal INMET*, 2021. Acessado em 7 de janeiro de 2022. https://portal.inmet.gov.br/noticias/an%C3%A1lise-das-chuvasna-bahia-minas-gerais-e-espir%C3%ADto-santo-em-dezembro-de-2021.

Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). "Dados meteorológicos das estações de tempo." *Portal INMET*, 2025. Acessado em [data de acesso]. https://portal.inmet.gov.br.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). "Sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste do Brasil." 2009. Acessado em 6 de maio de 2009. http://www4.funceme.br/funceme/categoria1/tempo-e-clima/sistemas-atmosfericos-atuantes-sobre-o-nordeste.

Hacon, Sandra de Souza, Bruna Ferreira de Almeida Oliveira, e Izabel Silveira. "Climate Change Risks in Brazil: a Review of the Health Sector Impacts of 4°C or More Temperature Rise." In *Impacts of 4°C or More Temperature Risk*, organizado por Carlos A. Nobre, José A.

Marengo, e William R. Soares. UK: Springer, 2018.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Área Territorial Brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Censo Demográfico 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

Marangoni, Ermínia. "Conhecer para resolver a cidade ilegal." In *Urbanização Brasileira*, organizado por L. Castrola. São Paulo: Ed. C/Arte, 2003.

Marengo, J. A., M. E. Seluchi, A. P. Cunha, L. A. Cuartas, D. Gonçalves, V. B. Sperling, A. M. Ramos, G. D. S. Saito, F. Bender, T. R. Lopes, R. C. Alvala, e O. L. Moraes. "Heavy Rainfall Associated with Floods in Southeastern Brazil in November–December 2021." *Natural Hazards* 116 (2023): 3617–3644. https://doi.org/10.1007/s11069-023-06037-5.

Martínez-Córdoba, P. J., et al. "Achieving Sustainable Development Goals: Efficiency in the Spanish Clean Water and Sanitation Sector." *Sustainability* 12 (2020): 3015. https://doi.org/10.3390/su12073015.

NASA. "What's the Difference between Climate Change and Global Warming?" *Global Climate Change*. 2023. Acessado em 14 de abril de 2024. https://www.nasa.gov.

Observatório de Terceiro Setor. "Ilhéus: como a solidariedade uniu comunidades atingidas por enchentes." 2022. Acessado em 25 de março de 2022. https://observatorio3setor.org.br/noticias/ilheus-como-a-solidariedade-uniu-comunidades-atingidas-por-enchentes/.

Oliveira, Laila dos Santos, Bárbara Carlos Ferreira, e André Luiz Dantas Estevam. "Enchentes na cidade de Salvador, Bahia (Brasil): estudos geográficos nos rios urbanos Lucaia e Camarajipe." *Brazilian Journal of Development* 7, no. 1 (janeiro 2021): 10551–10571. https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-721.

ONU – Organização das Nações Unidas. "Perspectiva Global Reportagens Humanas: População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054." *ONU*, 2024. Acessado em 27 de maio de 2024. https://www.un.org.

Perez, Letícia Palazzi, Saulo Rodrigues-Filho, José Antônio Marengo, Diogo Victor Santos, e Lucas Mikosz."Mudanças climáticas e desastres: análise das desigualdades regionais no Brasil." *Sustainability in Debate* (Brasília) 11, no. 3 (dezembro 2020): 278–296. https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33813.

Pereira, Letícia de Santana, Iara Negreiros, Karina Leonetti Lopes, e Alex Abiko. "Cidades resilientes: desafios frente às enchentes urbanas." In *Anais do XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2022)*, Canela, RS, 9–11 nov. 2022. Porto Alegre: ANTAC.

Póvoas, Hogana Sibilla Soares, Ednice de Oliveira Fontes, e Ana Maria dos Santos Moreau. "Mapeamento geomorfológico da área urbana de Ilhéus, Bahia." In *III Congresso*

Internacional de Riscos, I Simpósio Ibero-Americano, VIII Encontro Nacional de Riscos. Guimarães: [Editora/Organização do evento], 2014. http://dx.doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4_41.

Richardson, K., et al. "Earth beyond six of nine planetary boundaries." *Science Advances* 9, no. 37 (2023). https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458.

Rocha, Nizete Neli Caroline da Silva Granja, Janaina Maria Oliveira de Assis, e Andrea Sousa Fontes. "Índice de Anomalia de Chuva e Ocorrência de Desastres: Estudo em Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Bahia." *Revista de Gestão de Água da América Latina* 21 (2024): e16. https://doi.org/10.21168/rega.v21e16.

Santos, Aldeni Alves dos, e Ueslei Teixeira Coelho. "O potencial dos recursos hídricos para a exploração do turismo em Itapecuru Mirim – Maranhão." *Boletim Gaúcho de Geografia* 51, no. 1 (2024): 1–25. https://doi.org/10.22456/1678-4324.136069.

Santos, Lucas Rosário, e Ednice de Oliveira Fontes Baitz."Impactos ambientais em áreas urbanas da cidade de Ilhéus: uma relação entre dados pluviométricos, movimentos de massa e submoradias." *Suporte* (Gerente da Revista), 2017.

Silva, Iguaraci Santos da, Acácia Maria Barros Souza, Ricelle Brandão Barros, e Micheline Flores Porto Dias. "Danos causados pelas chuvas em dezembro de 2021 em municípios do estado da Bahia." *Revista Regeo* 16, no. 4 (Edição Especial, 2021): 1–21. https://doi.org/10.56238/revgeov16n4-041.

Silva, P. F., et al. "Caracterização física do município de Ilhéus-BA e suscetibilidade a processos erosivos." *Revista Geociências do Nordeste* 9, no. 1 (jan.–jun. 2023): 105–129.

Tominaga, L., J. Santoro, e R. Amaral. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

Wollmann, Cássio Arthur. "Enchentes no Rio Grande do Sul do Século XXI." *Mercator* 13, no. 1 (jan./abr. 2014): 79–91. https://doi.org/10.4215/RM2014.1301.0006.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034715

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO: IMPACTOS HÍDRICOS E SOCIOAMBIENTAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

CAMBIO CLIMÁTICO Y DESERTIFICACIÓN: IMPACTOS HÍDRICOS Y SOCIOAMBIENTALES EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

CLIMATE CHANGE AND DESERTIFICATION: WATER AND SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION

Rodrigo Amorim Moura de Carvalho[1], João Vitor Gonçalves Brandão[2], Pedro Henrique Silva dos Santos[3] e Geovanna Ferreira do Nascimento Pinto[4].

[1]Graduando em Ciências Biológicas, UNIVASF, Petrolina, Brasil, rodrigo.c@discente.univasf.edu.br, ORCID: 0009-0006-7987-0544;
[2]Graduando em Ciências Biológicas, UNIVASF, Petrolina, Brasil, joao.vitorgoncalves@discente.univasf.edu.br, ORCID: 0009-0000-6828-0190;
[3]Graduando em Ciências Biológicas, UNIVASF, Petrolina, Brasil, pedro.santos@discente.univasf.edu.br, ORCID: 0009-0002-4260-2221
[4]Graduanda em Ciências Biológicas , UNIVASF, Petrolina, Brasil, geovanna.pinto@discente.univasf.edu.br, ORCID: 0009-0009-2426-2236

Eixo Temático 01 – Mudanças climáticas
Efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em áreas rurais

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar os impactos da desertificação e das mudanças climáticas sobre o semiárido brasileiro, sendo desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica buscando a utilização de diferentes dados presentes em artigos científicos depositados nos principais repositórios on-line. Os resultados evidenciam o grande impacto da mudança climática na Caatinga, no qual mostra uma baixa disponibilidade de água e alterações climáticas drásticas que podem afetar a produção agrícola e pecuária devido ao efeito de desertificação. Os ensaios com grupos de sementes sob diferentes condições constatam que anos mais secos e quentes resultaram em baixa germinação devido à dessecação ao longo da maturação. As simulações de como seria o comportamento climático do Nordeste brasileiro (NEB) em 50 anos seguindo os atuais processos de desertificação apontam diversas anomalias referentes tanto a precipitação, evapotranspiração, umidade, escoamento e temperatura do ar. Em geral, os trabalhos acadêmicos revisados no atual estudo mostram um quadro preocupante tanto no presente quanto no futuro da região semiárida brasileira e esses resultados reforçam a necessidade de práticas sustentáveis de manejo da água e do solo com a preservação da vegetação nativa, a fim de minimizar os efeitos da desertificação e das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Água, Caatinga, Déficit hídrico, Agricultura, Semiárido.

RESÚMEN

El objetivo del estudio fue evaluar los impactos de la desertificación y del cambio climático sobre la región semiárida brasileña, desarrollado a partir de una revisión bibliográfica que buscó la utilización de diferentes datos presentes en artículos científicos depositados en los principales repositorios en línea. Los resultados evidencian que el gran impacto del cambio climático en la Caatinga se manifiesta en la baja disponibilidad de agua y en drásticas alteraciones climáticas que pueden afectar la producción agrícola y ganadera debido al efecto de la desertificación. Los ensayos con grupos de semillas bajo diferentes condiciones constataron que los años más secos y cálidos resultaron en una baja germinación debido a la desecación a lo largo de la maduración. Las simulaciones sobre cómo sería el comportamiento climático del Nordeste brasileño (NEB) en 50 años siguiendo los actuales procesos de desertificación señalan diversas anomalías relacionadas con la precipitación, la evapotranspiración, la humedad, la escorrentía y la temperatura del aire. En general, los trabajos académicos revisados en el presente estudio muestran un panorama preocupante tanto en el presente como en el futuro de la región semiárida brasileña, y estos resultados refuerzan la necesidad de prácticas sostenibles de manejo del agua y del suelo junto con la preservación de la vegetación nativa, con el fin de minimizar los efectos de la desertificación y del cambio climático.

Palabras clave: Agua, Caatinga, Déficit hídrico, Agricultura, Semiárido.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the impacts of desertification and climate change on the Brazilian semiarid region, being developed through a literature review that sought to use different data available in scientific articles deposited in the main online repositories. The results show that the major impact of climate change in the Caatinga is characterized by low water availability and drastic climatic alterations that can affect agricultural and livestock production due to the effect of desertification. Experiments with seed groups under different conditions found that drier and hotter years resulted in low germination due to desiccation during maturation. Simulations of how the climate behavior of the Brazilian Northeast (NEB) would evolve in 50 years under current desertification processes indicate several anomalies related to precipitation, evapotranspiration, humidity, runoff, and air temperature. In general, the academic works reviewed in the present study reveal a concerning scenario both in the present and future of the Brazilian semiarid region, and these findings reinforce the need for sustainable water and soil management practices, along with the preservation of native vegetation, in order to minimize the effects of desertification and climate change.

Keywords: Water, Caatinga, Water deficit, Agriculture, Semiarid region.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são um dos problemas mais preocupantes da atualidade, alterando os padrões de temperatura e precipitação, afetando diretamente os processos

hidrológicos e, consequentemente, a manutenção da sociedade e o equilíbrio dos ecossistemas (Tibúrcio et al, 2023). Entre os efeitos observados, destacam-se a variabilidade das chuvas, causando precipitações mais intensas e concentradas em alguns períodos, enquanto em outros são marcados por secas mais prolongadas. Essa situação intensifica a escassez de água, principalmente em regiões semiáridas (Nascimento, Borges e Melo, 2023).

O Semiárido brasileiro é composto por 1.262 municípios distribuídos entre o Nordeste e do norte de Minas Gerais, ocupando cerca de 982.563 km² (IBGE 2021) e é classificado como "Bswh", de acordo com a escala Köppen (Leite et al, 2012). Esse clima é caracterizado por uma uma precipitação anual média inferior a 800 mm, insolação média de 2.800 horas por ano e uma umidade relativa anual média em torno de 50% (Moura et al, 2019) Essas características tornam a região uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas, visto que, é propensa a tornar-se cada vez mais árida, agravando a frequência e intensidade das secas e redução da disponibilidade hídrica (Angelotti, Júnior e de Sá, 2012). Tal cenário já foi observado em algumas regiões do Semiárido brasileiro, como em Pernambuco. Um estudo feito por Lacerda et al (2016) mostrou tendências de aridização nessa região, como o aumento da temperatura máxima anual, aumento da evapotranspiração e queda da umidade do solo. Os impactos socioeconômicos são igualmente preocupantes, pois grande parte da população depende da agricultura, sendo altamente vinculada à disponibilidade de recursos naturais (Angelotti, Júnior e de Sá, 2012). Além disso, a região apresenta solos de baixa fertilidade e pressões antrópicas constantes, que, somados às condições climáticas adversas, favorecem a ocorrência de desertificação, um dos principais desafios ambientais enfrentados no Semiárido brasileiro (Costa et al, 2023)

A desertificação pode ser definida como um processo de degradação em que o solo produtivo perde gradativamente a fertilidade e capacidade de uso. Ela começa como pequenas manchas isoladas que ficam maiores com o passar do tempo, formando extensas faixas áridas semelhantes a um deserto (Moraes, Wanderley e Delgado, 2024). No semiárido, esse processo começa com a supressão da vegetação nativa por ações antrópicas, como o sobrepastoreio e a implementação inadequada de sistemas agrícolas (Vendruscolo et al, 2020), fazendo com que a cobertura local seja substituída por plantas de menor porte, resultantes da incapacidade de sustentar a flora original (Rodrigues, Senna e Cataldi, 2019).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar os impactos da

desertificação e das mudanças climáticas sobre o semiárido brasileiro, analisando aspectos como a degradação da vegetação nativa e seus reflexos na germinação de sementes, a redução da disponibilidade hídrica na Caatinga e as consequências socioambientais resultantes desses processos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O atual estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica, buscando a utilização de diferentes dados presentes em artigos científicos depositados nos principais repositórios on-line. As buscas foram realizadas no periódico CAPES, SciELO e Web of Science (WoS), buscando as palavras-chave "água", "mudanças climáticas", desertificação" e em inglês "water", climate change", "desertification". Restringiu-se a artigos publicados entre os anos de 2015 a 2025, nos idiomas português e inglês.

A fim de uma seleção mais criteriosa foi realizada a filtragem manual, que consiste na leitura do título e resumo dos trabalhos disponíveis objetivando a procura de teses relacionadas a mudanças climáticas e seus efeitos sobre processos hidrológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Implicações sobre a disponibilidade de água no domínio da Caatinga

Foram avaliadas 42 estações meteorológicas distribuídas no domínio fitossociológico da Caatinga, utilizando dados de precipitação e temperatura obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Normal Climatológica (1961–2015). A disponibilidade hídrica foi quantificada pelo método do balanço hídrico climatológico (BH) de Thornthwaite e Mather (1955), aplicado para projeções futuras (2071–2100) nos cenários otimista (RCP4.5) e pessimista (RCP8.5), para avaliar o balanço hídrico (Nascimento et al, 2023).

O norte (retângulo sólido) e o centro (círculo pontilhado) da caatinga apresentaram uma disponibilidade positiva de 800 mm e 200 mm de balanço hídrico, mas, o nordeste (círculo sólido) e centro-oeste (retângulo pontilhado) tiveram um balanço negativo de -1400 mm e -1200 mm. Já no cenário otimista, uma pequena porção do norte (retângulo sólido) apresentou um balanço positivo, mas reduzido a 400 mm, já a área localizada no centro (círculo pontilhado) apresentou um déficit hídrico de -800 mm, assim como o oeste (retângulo pontilhado) e leste (círculo sólido) que apresentaram -2600 mm e -2400 mm. Por

fim, no cenário pessimista as regiões do norte e oeste (retângulo sólido) tiveram os balanços hídricos mais negativos, sendo 2600 mm e 3400 mm, já o leste (círculo sólido) apresentou um balanço negativo de 1600 mm (Figura 1).

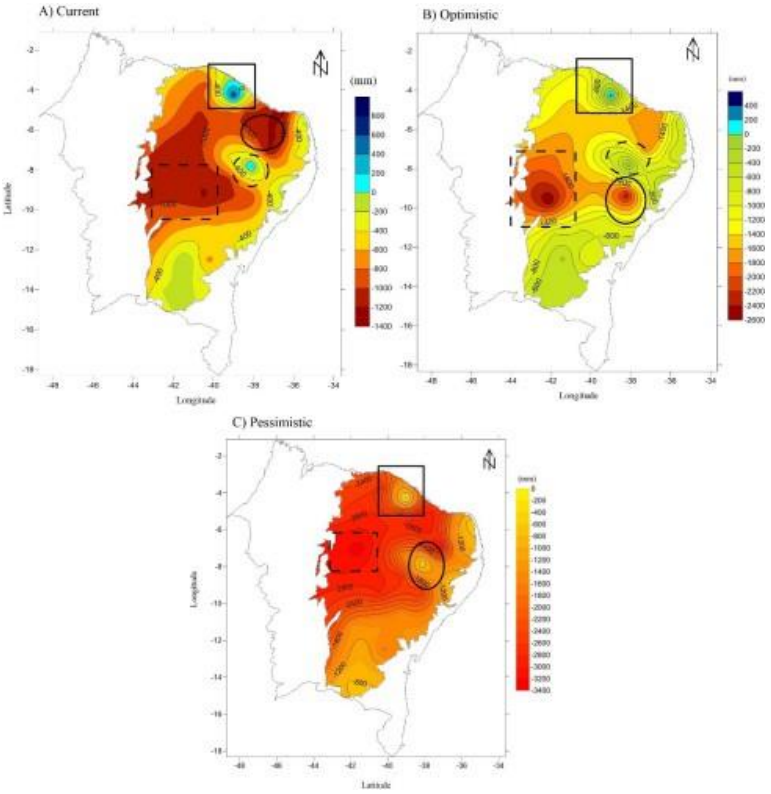


Figura 1: Balanço hídrico (excedente menos déficit) em milímetros nos cenários: A) Atual, B) Otimista e C) Pessimista., retângulos pontilhados, círculos pontilhados e círculos sólidos representam áreas destacadas nos cenários estudados.

Em classificações climáticas, foram utilizadas previsões otimistas e pessimistas utilizando de base o cenário climático atual, em que a Caatinga é composta por 36% de região semiárida e 64% de subúmido seco, subúmido e úmido. O cenário otimista evidência que o clima semiárido iria ocupar uma área de aproximadamente 84% da Caatinga, um surgimento de 0.34% de uma área de clima árido e uma redução das regiões secas e subúmidas de 42% para 13.50% e de 21% para 2.19%. E a Caatinga no cenário pessimista é ocupada exclusivamente pelos climas áridos e semiáridos, com 12% e 88% de distribuição respectivamente.

As análises presentes nesses distintos cenários evidenciam o grande impacto da mudança climática na Caatinga, principalmente no cenário pessimista, no qual mostra uma

disponibilidade de água negativa e alterações climáticas drásticas que podem afetar a produção agrícola e pecuária devido ao efeito de desertificação. Assim, é evidente a necessidade de planejamento para evitar tais impactos relacionados à alteração climática na Caatinga.

Influência das mudanças climáticas e da desertificação sobre a germinação de sementes

Gomes et al (2022) realizaram no semiárido pernambucano ensaios com grupos de sementes sob diferentes condições para avaliar os impactos das mudanças climáticas e da desertificação sobre a produtividade e qualidade na germinação de sementes de Angico, pertencente ao gênero Anadenanthera. Para isso, sementes coletadas em diferentes anos e localidades da Caatinga foram caracterizadas quanto ao tamanho (pequenas e grandes) e testadas em condições controladas de germinação, considerando temperatura, osmolaridade e salinidade.

Foi constatado que anos mais secos e quentes, como 2014, resultaram em baixa germinação devido à dessecação ao longo da maturação, mesmo que as sementes apresentassem peso e tamanho grandes. Apesar de ter sido um ano seco, 2017 apresentou temperaturas constantes sem picos acima de 40 °C, e, por esse motivo, as sementes menores apresentaram alto percentual de germinação. Já os anos de maior precipitação (2015-2016) resultaram em sementes grandes e com alto índice de germinação.

Harvest (year)	W100 (g)	PSS (%)	G (%)	---------- Rainfall (mm) ----------			
				AR	PH	PErs	PEds
2014	13.85	0	22	347.8	261	239	16.5
2015	14.08	22.72	86	216.3	373	276	56
2016	14.74	15.31	95.5	270	338	326	9
2017	11.23	46.98	88.5	391	209	168.5	7.5

	P> 17.5 mm	P> 20 mm	Tav (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tav > 30 °C	Tmax > 40 °C	Tmin > 20 °C
2014	1	2	24.9	30.5	19.8	2	29	0
2015	4	4	25.5	31.2	20.6	3	0	230
2016	4	4	27.1	33.3	21.2	35	0	227
2017	3	1	27.4	33.7	21.6	27	0	266

Tabela 1. Características das sementes e dados climáticos (precipitação pluvial e temperatura) coletados na Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro da Embrapa Semiárido. As variáveis são: peso de 100 sementes (W100), porcentagem de sementes pequenas (PSS), porcentagem de germinação (G%), temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax), número de dias com Tmin > 20 °C e Tmax > 40 °C.

Esse resultado reforça a adaptação da espécie às flutuações ambientais típicas da Caatinga, já que sua germinação pode ocorrer em diferentes épocas do ano. No entanto, extremos de calor reduziram a viabilidade da germinação, como visto em 2014, quando menores percentuais de germinação coincidiram com maior número de dias com temperatura acima de

40 °C. Os resultados também indicam que a limitação hídrica, mais do que a salinidade natural do solo, é o maior desafio para a manutenção da espécie. Constatou-se ainda que sementes pequenas apresentaram maior germinação que as grandes em condições de estresse hídrico e salino, conferindo um caráter adaptativo no qual a produção de sementes menores em anos secos funciona como estratégia de sobrevivência populacional.

Simulação dos impactos climáticos da desertificação do Nordeste brasileiro

Um estudo publicado por Rodrigues et al (2019) realizou duas simulações de como seria o comportamento climático do Nordeste brasileiro (NEB) em 50 anos seguindo os atuais processos de desertificação que afetam a Caatinga. Assim, foram realizadas pesquisas sobre as variações climáticas, tipos de vegetação e os efeitos da substituição da vegetação natural por cultivos agrícolas.

Essas pesquisas resultaram em uma correlação com o processo de desertificação que acomete a Caatinga, já que a pesquisa trouxe que a degradação da vegetação original pela ação antrópica a fim de substituí-la por produções agrícolas age como um impulsionador dos efeitos de desertificação. Também, tais ações afetam a distribuição de períodos chuvosos, que ao invés de ocorrer durante os períodos de seca, a precipitação ocorre nos períodos úmidos da Caatinga, resultando na redução das chuvas nas médias anuais e sazonais.

Para a realização das duas simulações, foi utilizado o CCM3-IBIS, que é um modelo de simulação climática (CCM3) junto de um simulador de biosfera (IBIS) com os parâmetros específicos com base nas situações de concentração de CO2 atmosféricos e climas atuais, bem como dois cenários distintos, onde um deles apresentaria uma cobertura vegetal para todo o NEB e a outra seria a substituição da Caatinga pelo Deserto (Simulação Deserto).

Ambas as simulações apontam diversas anomalias referentes tanto a precipitação, evapotranspiração, umidade, escoamento e temperatura do ar. As anormalidades evidenciam que o processo de desertificação da Caatinga impactaria o comportamento climático do Nordeste, principalmente a própria área na qual teve sua vegetação original alterada, resultando em diminuição da precipitação e evapotranspiração, bem como em um aumento da temperatura do ar e escoamento superficial.

Integração dos Estudos

Os estudos analisados apontam, de forma geral, para a mesma tendência, em que as

mudanças climáticas devem reduzir de forma significativa a disponibilidade hídrica do semiárido. Esse quadro de escassez é reforçado por simulações que substituem a vegetação nativa por áreas degradadas, mostrando que essa substituição não apenas aumenta o escoamento superficial e reduz a infiltração, como também altera a dinâmica climática regional, com o aumento da desertificação e substituição de áreas semiáridas por áridas, com manifestação na biologia das espécies nativas, trazendo consequências diretas para a produção agrícola, especialmente na dinâmica de germinação de sementes, revelando sensibilidade a precipitação e ao clima durante o período de formação, em especial em períodos quentes e secos, onde há a produção principalmente de sementes secas e inviáveis, comprometendo a germinação.

Estudos de balanço hídrico aplicados ao domínio fitossociológico da Caatinga indicam a intensificação dos déficits hídricos em cenários futuros, com previsão de redução do excedente hídrico que sustenta tanto a agricultura de sequeiro quanto os reservatórios locais. Além disso, a substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas tem potencializado o processo de desertificação do semiárido, ao mesmo tempo em que altera a distribuição dos períodos chuvosos e reduz as médias pluviométricas anuais e sazonais, contribuindo para mudanças climáticas e ambientais na região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas apontam o avanço da desertificação no semiárido brasileiro, intensificado pela substituição da flora nativa e uso excessivo de recursos, com impactos no clima, na disponibilidade hídrica e na germinação das sementes. Esse processo ameaça populações locais e a produção agrícola, exigindo alternativas sustentáveis como a conservação da vegetação, a agroecologia e o manejo responsável do solo e da água. Nesse contexto, o ICID2025 (3ª Conferência Internacional sobre Clima e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas), ocorrerá de 15 a 19 de setembro de 2025, em Fortaleza (CE), e deverá contribuir com propostas de adaptação às mudanças climáticas em regiões semiáridas e reforçar a inserção da vulnerabilidade do semiárido nas negociações da COP 30.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tibúrcio, Igor Maciel, Nara Tôrres Silveira, Tayran Oliveira dos Santos, et al. 2023. “Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: Aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer).” Revista

Brasileira de Geografia Física 16 (3): 1657–70. https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1657-1670

Vendruscolo, Jhony, Aldrin M. Perez Marin, Evaldo dos Santos Felix, et al. 2020. "Monitoring Desertification in Semiarid Brazil: Using the Desertification Degree Index (DDI)." Land Degradation & Development 31 (16): 1–15. https://doi.org/10.1002/ldr.3740.

Angelotti, Francislene, Paulo Ivan Fernandes Júnior, e Iêdo Bezerra de Sá. 2012. "Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação." Revista Brasileira de Geografia Física 6: 1097-1111.

Lacerda, Francinete Francis, Paulo Nobre, Maria do Carmo Martins Sobral, Geraldo Majella Bezerra Lopes, e Eduardo Delgado Assad. 2016. "Tendência do Clima do Semiárido Frente as Perspectivas das Mudanças Climáticas Globais: O Caso de Araripina, Pernambuco." Revista do Departamento de Geografia 31: 132–41. https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.114843

Costa, João Guilherme Justino da, Geber Barbosa de Albuquerque Moura, Pabrício Marcos Oliveira Lopes, Pedro Rogério Giongo, e José Ivaldo Barbosa de Brito. 2023. "Assessment of Desertification in the Brazilian Semiarid Region Using Time Series of Climatic and Biophysical Variables." Revista Brasileira de Geografia Física 16, no. 6: 3424–44. https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p3424-3444.

Dittmar, Emily L., and Douglas W. Schemske. 2023. "Temporal Variation in Selection Influences Microgeographic Local Adaptation." *American Naturalist* 202 (4): 471–85. https://doi.org/10.1086/725865.

Dror, Amiel A., Nicole Morozov, Amani Daoud, et al. 2022. "Pre-Infection 25-Hydroxyvitamin D3 Levels and Association with Severity of COVID-19 Illness." *PLOS ONE* 17 (2): e0263069. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263069.

Gomes, Samara Elizabeth Vieira, Raquel Araujo Gomes, and Bárbara França Dantas. 2023. "Climate and Seed Size of a Dry Forest Species: Influence on Seed Production, Physiological Quality, and Tolerance to Abiotic Stresses." Journal of Seed Science 45: e202345013. https://doi.org/10.1590/2317-1545v45258265.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2021. Semiárido. Quadro Geográfico de Referência para Produção, Análise e Disseminação de Estatísticas. https://www.ibge.gov.br/

Leite, José Basílio Vieira, Eduardo Varejão Fonseca, George Andrade Sodré, Raúl René Valle, Marivaldo Nunes Nascimento, e Paulo César Lima Marrocos. 2012. "Comportamento produtivo de cacau no semiárido do Brasil." Agrotrópica 24 (2): 85–90. https://doi.org/10.21757/0103-3816.2012v24n2p85-90.

Khoramishad, H., O. Alizadeh, e L. F. M. da Silva. 2018. "Effect of multi-walled carbon

nanotubes and silicon carbide nanoparticles on the deleterious influence of water absorption in adhesively bonded joints". *Journal of Adhesion Science and Technology* 32, no. 16 (august): 1795-808. https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1447295.

Moraes, Jessica Barretos, Henderson Silva Wanderley, and Rafael Coll Delgado. 2024. "Áreas Suscetíveis à Desertificação no Nordeste do Brasil e Projeção para Cenário de Mudanças Climáticas." Revista Brasileira de Geografia Física 17 (6): 4003–4014. https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4003-4014.

Moura, Magna Soelma Beserra de, José Espínola Sobrinho, and Thieres George Freire da Silva. 2017. "Aspectos Meteorológicos do Semiárido Brasileiro." In Tecnologias de Convivência com o Semiárido Brasileiro, edited by Luis Henrique de Brito and Magna Soelma Beserra de Moura, 85-103. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112124.

Nascimento, Robson de Sousa, Valéria Peixoto Borges, and Davi de Carvalho Diniz Melo. 2023. "Implications of Climate Change on Water Availability in a Seasonally Dry Tropical Forest in the Northeast of Brazil." Revista Ceres 70 (3): 1–11. https://doi.org/10.1590/0034-737X202370030001.

Rodrigues, Talmo Manhães de França, Mônica Carneiro Alves Senna, e Marcio Cataldi. 2019. "Simulação dos impactos climáticos da desertificação do Nordeste brasileiro." Engenharia Sanitária e Ambiental 24 (5): 1037–47. https://doi.org/10.1590/S1413-4152201916475047.

Silva, Lucas Augusto Pereira da, Claudionor Ribeiro da Silva, Cristiano Marcelo Pereira de Souza, Édson Luis Bolfe, João Paulo Sena Souza e Marcos Esdras Leite. 2023. "Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros – Semiárido Brasileiro." Sociedade & Natureza 35: e67666. https://doi.org/10.1982-4513.2023.v35.e67666.

Rodrigues, Talmo Manhães de França, Mônica Carneiro Alves Senna, Marcio Cataldi. 2019. "Simulação dos impactos climáticos da desertificação do Nordeste brasileiro." Eng. Sanit. Ambient. 24 (05). https://doi.org/10.1590/S1413-41522019164751.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034723

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL EM MANGUE SECO, BA: RISCOS DO AVANÇO DAS DUNAS E DA EROSÃO COSTEIRA

CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL EN MANGUE SECO, BA: RIESGOS DE AVANCE DE DUNAS Y EROSIÓN COSTERA

CLIMATE CHANGE AND SOCIOENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN MANGUE SECO, BA: RISKS OF DUNE ADVANCE AND COASTAL EROSION

Gabriel Simões Martinez Santos[1], Jorge Murilo Batista de Macedo Santos[2], Francisco Ramon Alves do Nascimento[3]

[1]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, gabrielmartinez@ufba.br, nº de 0009-0008-8670-3052.
[2]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, jorgemacedo@ufba.br.
[3]Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, nº de 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 1 - Mudanças Climáticas
Eventos extremos e seus impactos no saneamento rural.

Eje Temático 1 – Cambio Climático
Eventos extremos y sus impactos en el saneamiento rural.

Thematic Axis - 10 - Climate Change
Extreme events and their impacts on rural sanitation.

RESUMO

As zonas costeiras brasileiras apresentam elevada vulnerabilidade frente aos efeitos combinados da ação antrópica e das mudanças climáticas. Em Mangue Seco (Jandaíra-BA), processos como a migração de dunas e a erosão costeira comprometem ecossistemas sensíveis, infraestrutura local e modos de vida tradicionais. Além disso, a ausência de sistema coletivo de esgotamento sanitário, somada ao uso de fossas sépticas rudimentares sem impermeabilização, aumenta o risco de contaminação do aquífero raso e compromete a saúde ambiental da comunidade. Este trabalho tem como objetivo analisar os impactos do avanço das dunas e da erosão costeira em Mangue Seco, relacionando-os à vulnerabilidade socioambiental e às fragilidades do saneamento básico rural. O estudo foi conduzido por meio de abordagem qualitativa e exploratória, integrando pesquisa bibliográfica, análise de imagens de satélite (1998–2024), observações de campo e registros sobre práticas de saneamento local. Durante a visita técnica foram coletadas informações sobre o uso de fossas, disposição de resíduos e acesso a serviços básicos, que foram posteriormente confrontadas com dados do IBGE, da ANA e da FUNASA, bem como com a legislação nacional. Os resultados apontaram migração acelerada das dunas em direção à vila, soterrando trilhas e vegetação nativa, além de erosão em trechos do litoral próximos à foz do rio Real. Paralelamente, constatou-se precariedade nos serviços de saneamento, com 100% dos domicílios utilizando fossas individuais rudimentares, sem padronização construtiva, e

descarte inadequado de resíduos sólidos. A percepção dos moradores revelou preocupação tanto com a instabilidade da paisagem quanto com os riscos sanitários associados à qualidade da água subterrânea. Tais achados corroboram estudos que demonstram a intensificação da degradação costeira em cenários de mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que reforçam a exclusão de comunidades isoladas das metas de universalização previstas no Marco Legal do Saneamento. Conclui-se que Mangue Seco apresenta alta vulnerabilidade socioambiental, exigindo estratégias de mitigação integradas, como reflorestamento de restingas, zoneamento participativo e adoção de soluções descentralizadas de saneamento, a exemplo de wetlands construídos, que podem alinhar conservação ambiental, saúde pública e adaptação comunitária às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Vulnerabilidade socioambiental, Erosão Costeira, Dunas Moveis, Manguezais

RESÚMEN

Las zonas costeras brasileñas presentan una elevada vulnerabilidad frente a los efectos combinados de la acción antrópica y los cambios climáticos. En Mangue Seco (Jandaíra-BA), procesos como la migración de dunas y la erosión costera comprometen ecosistemas sensibles, infraestructura local y modos de vida tradicionales. Además, la ausencia de un sistema colectivo de alcantarillado sanitario, sumada al uso de fosas sépticas rudimentarias sin impermeabilización, aumenta el riesgo de contaminación del acuífero somero y compromete la salud ambiental de la comunidad. Este trabajo tiene como objetivo analizar los impactos del avance de las dunas y de la erosión costera en Mangue Seco, relacionándolos con la vulnerabilidad socioambiental y las fragilidades del saneamiento básico rural. El estudio fue desarrollado a partir de un enfoque cualitativo y exploratorio, integrando investigación bibliográfica, análisis de imágenes satelitales (1998–2024), observaciones de campo y registros sobre prácticas locales de saneamiento. Durante la visita técnica se recopilaron informaciones sobre el uso de fosas, disposición de residuos y acceso a servicios básicos, que posteriormente fueron confrontadas con datos del IBGE, la ANA y la FUNASA, así como con la legislación nacional. Los resultados indicaron migración acelerada de las dunas hacia la villa, enterrando senderos y vegetación nativa, además de erosión en sectores del litoral próximos a la desembocadura del río Real. Paralelamente, se constató precariedad en los servicios de saneamiento, con el 100% de los domicilios utilizando fosas individuales rudimentarias, sin estandarización constructiva, y disposición inadecuada de residuos sólidos. La percepción de los habitantes reveló preocupación tanto con la inestabilidad del paisaje como con los riesgos sanitarios asociados a la calidad del agua subterránea. Estos hallazgos corroboran estudios que demuestran la intensificación de la degradación costera en escenarios de cambio climático, al mismo tiempo que refuerzan la exclusión de comunidades aisladas de las metas de universalización previstas en el Marco Legal de Saneamiento. Se concluye que Mangue Seco presenta una alta vulnerabilidad socioambiental, exigiendo estrategias de mitigación integradas, como reforestación de restingas, zonificación participativa y adopción de soluciones descentralizadas de saneamiento, como los humedales construidos, que pueden articular conservación ambiental, salud pública y adaptación comunitaria a los cambios climáticos.

Palabras clave: Cambio climático, Vulnerabilidad socioambiental, Erosión costera, Dunas móviles, Manglares

ABSTRACT

Brazilian coastal zones are highly vulnerable to the combined effects of human activities and climate change. In Mangue Seco (Jandaíra, Bahia), processes such as dune migration and coastal erosion threaten sensitive ecosystems, local infrastructure, and traditional livelihoods. Furthermore, the absence of a collective sewerage system, combined with the use of rudimentary septic pits without impermeabilization, increases the risk of shallow aquifer contamination and compromises the community's environmental health. This study aims to analyze the impacts of dune migration and coastal erosion in Mangue Seco, linking them to socio-environmental vulnerability and weaknesses in rural basic sanitation. The research was conducted using a qualitative and exploratory approach, integrating bibliographic review, analysis of satellite imagery (1998–2024), field observations, and records of local sanitation practices. During the technical visit, information was collected on pit usage, waste disposal, and access to basic services, which was later compared with data from IBGE, ANA, and FUNASA, as well as national legislation. The results indicated accelerated dune migration toward the village, burying trails and native vegetation, in addition to erosion along coastal stretches near the Real River mouth. At the same time, precarious sanitation conditions were observed, with 100% of households relying on rudimentary individual pits, lacking construction standards, and improper solid waste disposal. Residents' perceptions revealed concern with both landscape instability and health risks associated with groundwater quality. These findings corroborate studies that demonstrate the intensification of coastal degradation under climate change scenarios, while also reinforcing the exclusion of isolated communities from the universalization goals established by the Brazilian Sanitation Legal Framework. It is concluded that Mangue Seco presents high socio-environmental vulnerability, requiring integrated mitigation strategies such as restinga reforestation, participatory zoning, and adoption of decentralized sanitation solutions, such as constructed wetlands, which can align environmental conservation, public health, and community adaptation to climate change.

Keywords: Climate change, Socio-environmental vulnerability, Coastal erosion, Moving dunes, Mangroves

INTRODUÇÃO

A dinâmica costeira representa um dos maiores desafios de gestão ambiental em regiões litorâneas. Fenômenos como o avanço de dunas e a erosão costeira ameaçam não apenas o equilíbrio ecológico, mas também a infraestrutura urbana e a qualidade de vida de comunidades locais. A vila de Mangue Seco, localizada no município de Jandaíra (BA), tem sido um caso emblemático desses processos. Esta pesquisa, desenvolvida no âmbito da disciplina de Geologia Ambiental da Universidade Federal da Bahia (UFBA) ministrada pelo professor Ricardo Galeno Fraga de Araujo Pereira, resulta de uma experiência de campo vivenciada entre os dias 23 a 26 de maio de 2024, complementada por estudos prévios e pós-campo.

A região abriga ecossistemas sensíveis, como manguezais, áreas de restinga e dunas móveis, que exercem papel fundamental na proteção da linha de costa e na manutenção da biodiversidade local. No entanto, o crescimento desordenado da ocupação humana, a pressão da atividade turística e a ausência de um planejamento territorial eficaz têm intensificado os processos naturais de transformação da paisagem, gerando impactos socioambientais cada

vez mais evidentes. A aceleração da migração das dunas sobre trilhas, vegetação nativa e edificações, bem como a erosão de trechos da costa, têm comprometido o cotidiano da população local e ameaçado os modos de vida tradicionais.

Essa realidade exige análises que integrem os aspectos físicos e sociais do território, considerando tanto os dados técnico-científicos quanto os saberes da comunidade. Além disso, insere-se em um contexto mais amplo de vulnerabilidade ambiental observado em diferentes zonas costeiras do Brasil, nas quais as mudanças climáticas, a ocupação irregular e o desmonte das políticas ambientais ampliam os riscos de degradação.

Estudos recentes em manguezais brasileiros confirmam essa vulnerabilidade. Eventos climáticos extremos vêm provocando mortalidade em massa de vegetação, perda de cobertura e lentidão na recuperação natural, como demonstrado por Ferreira et al. (2018) e Santos et al. (2023). Além disso, análises de adaptação genética apontam que populações de mangue em regiões tropicais, como a Bahia, apresentam maior suscetibilidade às mudanças climáticas, com risco elevado de perda de habitat (Mori et al. 2022).

Nesta perspectiva, é fundamental a análise das interações entre ambientes naturais e a ação antrópica em Mangue Seco, com foco nos riscos sociais e sanitários associados à migração de dunas e da erosão costeira. A pesquisa busca ainda contribuir com reflexões sobre estratégias de mitigação e adaptação que promovam a sustentabilidade ambiental, o ordenamento territorial e a valorização do conhecimento local como ferramenta de enfrentamento dos impactos.

No contexto do saneamento básico, é possível salientar que o município de Jandaíra não dispõe de um Plano Municipal de Saneamento Básico atualizado, o que fragiliza a gestão integrada de água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem (Instituto Água e Saneamento 2022). Em Mangue Seco, especificamente, não há sistema coletivo de abastecimento de água ou de esgotamento sanitário, a comunidade depende de soluções individuais, como fossas rudimentares e poços rasos, muitas vezes construídos sem critérios técnicos de impermeabilização, o que eleva o risco de contaminação do aquífero (IBGE 2021). Essa precariedade contrasta com as metas estabelecidas pelo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 11.445/2007; Lei nº 14.026/2020), que prevê a universalização dos serviços até 2035, mas que ainda não contempla de forma efetiva comunidades isoladas e vulneráveis como Mangue Seco (ANA 2017; FUNASA 2016). Além disso, estudos recentes ressaltam que, mesmo após a atualização legislativa, persistem desafios de governança e financiamento para a universalização em áreas vulneráveis, segundo Vieira & Costa (2018). Tal cenário evidencia que a ausência de planejamento e de políticas públicas estruturadas de saneamento intensifica a vulnerabilidade socioambiental já agravada pelas mudanças climáticas e pela dinâmica costeira.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fase inicial compreendeu a preparação pré-campo, quando foram analisados artigos científicos, legislações ambientais, mapas temáticos e relatórios técnicos com foco em temas como a vulnerabilidade costeira, dinâmica das dunas móveis, ocupação de áreas de preservação permanente e saberes tradicionais sobre o meio ambiente. Foram selecionados artigos científicos como principais referências, os quais forneceram fundamentação teórica para o entendimento dos processos físicos e sociais que afetam a região. Esses artigos foram escolhidos a partir da classificação da Plataforma Sucupira, sendo caracterizados como A2-B3. Sendo assim, foi tido como meios de fundamentação teórica principais a Revista SciELO e Periódicos CAPES de modo que fossem contempladas as questões relacionadas ao

avanço das dunas em regiões costeiras, com destaque para os ecossistemas de restinga e manguezal, além da atuação de fatores climáticos e antrópicos no problema em questão.

A etapa de campo consistiu em uma visita técnica à vila de Mangue Seco, onde foram realizadas observações diretas da paisagem, registros fotográficos, anotações descritivas e coleta de relatos informais de moradores(as). Como complemento às observações de campo, foi realizada uma análise espacial comparativa com base em imagens de satélite históricas da região de Mangue Seco. Dessa forma, foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo Google Earth de diferentes anos (de 1998 a 2024) para identificar e quantificar o avanço das dunas ao longo do tempo. Logo, a comparação entre os valores espaciais possibilitou o cálculo aproximado da taxa de migração dunar, revelando as áreas mais afetadas e os deslocamentos mais significativos. Esse procedimento contribuiu para a compreensão da magnitude do fenômeno e para a fundamentação de propostas de mitigação voltadas à proteção da paisagem e da população local.

Em sequência, na etapa pós-campo, as informações coletadas foram sistematizadas e analisadas, com o objetivo de relacionar as evidências empíricas com os aspectos teóricos e legais discutidos. Nesse viés, a articulação entre as anotações de campo, os dados espaciais e os referenciais acadêmicos viabilizou elaborar uma visão integrada dos riscos enfrentados por Mangue Seco, das possibilidades de enfrentamento e adaptação a partir do diálogo entre ciência, políticas públicas e conhecimento local.

Além da dimensão físico-ambiental, a metodologia contemplou também a caracterização das práticas locais de saneamento. Foram observadas as condições de disposição de esgoto e resíduos sólidos, registrando-se a predominância de fossas sépticas rudimentares sem impermeabilização e a inexistência de sistema coletivo de coleta e tratamento. Essas observações foram complementadas por relatos informais dos moradores sobre o uso cotidiano das fossas e a destinação dos resíduos domésticos. Para contextualizar a realidade do município, foram consultados dados do IBGE (2021), da ANA (2017), da FUNASA (2016) e do Instituto Água e Saneamento (2022), além da legislação vigente (Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020). Essa integração metodológica permitiu relacionar os riscos ambientais decorrentes da migração de dunas e da erosão costeira às fragilidades sanitárias locais, oferecendo uma abordagem interdisciplinar entre geodinâmica costeira, saúde pública e governança do saneamento rural.

Por fim, os resultados foram analisados com base no objetivo geral do artigo, com evidência no cenário do avanço das dunas em Mangue Seco, Bahia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As observações realizadas em campo, aliadas à análise de imagens de satélite ao longo dos anos, permitiram identificar um processo acelerado de migração das dunas em Mangue Seco, especialmente em direção ao núcleo habitacional e às áreas de restinga. A comparação entre registros entre os anos de 2001 e 2024 evidenciou um avanço significativo das dunas, que ao longo do período passaram a ocupar setores antes estáveis da paisagem. Esse deslocamento tem gerado soterramento de trilhas, perda de cobertura vegetal nativa e ameaça direta a estruturas utilizadas pela comunidade, como áreas de circulação, instalações turísticas e residências. Através de falas dos moradores foi possível constatar que provavelmente 100% dos domicílios utilizam fossas sépticas individuais ou rudimentares, sem padronização construtiva. Muitas carecem de impermeabilização, aumentando o risco de infiltração para o lençol freático, um aquífero raso e altamente vulnerável em solos arenosos (IBGE 2021). Não há sistema de coleta ou tratamento centralizado de esgoto doméstico, e resíduos sólidos

orgânicos são descartados indevidamente, já que maior parte do acesso a Mangue Seco se dá através de embarcações devido a falta de uma trilha adequada, o que contraria as diretrizes da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) e do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA 2020), assim como, dificulta qualquer tipo de intervenção na região. A utilização de pontos de referência fixos na paisagem possibilitou o cálculo aproximado da taxa de migração dunar, revelando as áreas mais afetadas e os deslocamentos mais expressivos. Esses resultados corroboram os achados de Souza & Ferreira (2020), que analisaram o litoral do Ceará e evidenciaram a migração acelerada de dunas como fenômeno recorrente em áreas costeiras, diretamente relacionado à retirada da vegetação nativa e à ausência de planejamento territorial.

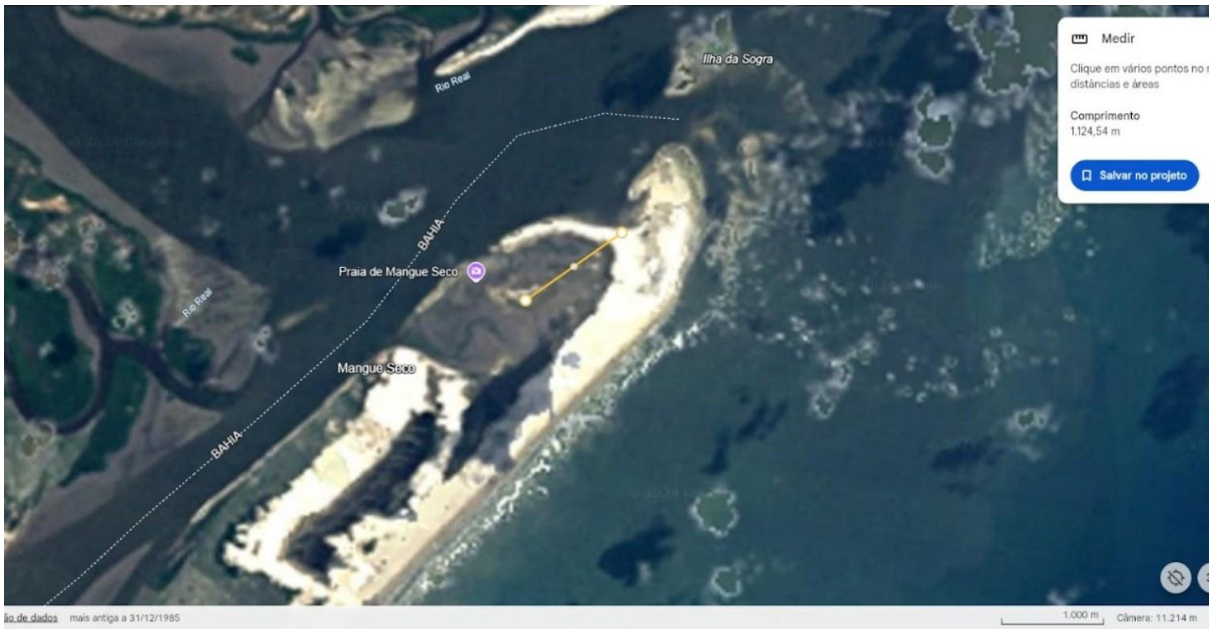


Figura 1. Região de Mangue Seco (1985)
Fonte: Google Earth, 2024.

Figura 2. Região de Mangue Seco (2024)

Fonte: Google Earth, 2024.

Para estimar a velocidade média de migração das dunas em Mangue Seco entre 1985 e 2024, foram utilizados os recursos de medição do Google Earth e o aplicativo DUNA MAP.

A distância percorrida pela frente de duna foi de 1 124,54 m (mil cento e vinte e quatro metros e cinquenta e quatro centímetros), conforme indicado nas Figuras 1 e 2 (comparação das imagens de 1985 e 2024).

Considerando o intervalo de 39 anos (2024 – 1985), a taxa média de deslocamento é dada por:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1124{,}54\ m}{39\ anos} \approx 28{,}8 \text{ m/ano}$$

Esse resultado indica que, em média, as dunas avançaram cerca de 28,8 metros por ano em direção ao mar, valor compatível com a dinâmica costeira local. Ressalta-se que se trata de uma estimativa média, sujeita a variações sazonais e a possíveis incertezas inerentes à resolução das imagens de satélite.

Dessa forma, as áreas de restinga, que são fundamentais como barreira natural à ação dos ventos e ao avanço das dunas, encontram-se degradadas, em parte pela ocupação desordenada e pela ausência de ações de contenção e reflorestamento. Essa fragilidade ambiental está diretamente relacionada à atuação antrópica e à omissão do poder público quanto à aplicação da legislação vigente para Áreas de Preservação Permanente (APPs). Vieira & Costa (2018) reforçam que, mesmo em Áreas de Preservação Permanente, a ocupação irregular e a ausência de fiscalização agravam os processos erosivos e comprometem a proteção dos manguezais e restingas, realidade que também se manifesta em Mangue Seco, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3. Evidência de erosão costeira em Mangue Seco.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Outro fator identificado durante a visita técnica foi a presença de edificações e estruturas turísticas construídas próximas às dunas, sem respeito ao recuo mínimo ou às delimitações ambientais. Tal cenário intensifica a pressão sobre os ecossistemas locais e compromete a resiliência natural da região diante de eventos extremos. O avanço das dunas e o aumento da frequência de marés de tempestade em locais vulneráveis como o citado podem também desestabilizar fossas, rompendo paredes e causando extravasamento. Comparando o caso abordado junto com o estudo de Farias et al. (2020), desenvolvido no litoral do Ceará, é reforçado que a migração das dunas não é um fenômeno exclusivo da Bahia, mas sim um desafio comum em diversas regiões do país, onde o manejo inadequado do solo e a retirada da vegetação nativa agravam a instabilidade costeira.

Do ponto de vista físico-ambiental, a vila de Mangue Seco apresenta sinais claros de erosão costeira ativa em alguns trechos do litoral, especialmente nas margens próximas à foz do rio Real.

A degradação das margens e a perda da faixa de areia indicam a atuação combinada de processos naturais e impactos induzidos pela ação humana. Menezes et al. (2020) ressaltam que a análise de geoindicadores é essencial para compreender a vulnerabilidade costeira, destacando a influência dos processos erosivos e sedimentares na instabilidade das praias e dunas, especialmente em áreas próximas a desembocaduras fluviais.

Situações semelhantes têm sido registradas em outras regiões do Brasil, onde a elevação do nível do mar e a ocorrência de eventos extremos aceleram a degradação de manguezais e restingas. Santos et al. (2023) identificaram queda significativa nos índices de vegetação em manguezais após tempestades severas, enquanto Ferreira et al. (2018) relataram que até 29% da cobertura vegetal pode ser perdida em eventos abruptos. Esses achados reforçam que os impactos observados em Mangue Seco não se restringem a pressões locais, mas refletem tendências mais amplas de vulnerabilidade climática em ecossistemas costeiros tropicais.

Além da análise geográfica e ambiental, a pesquisa atual buscou compreender a percepção dos moradores locais sobre essas transformações. Os relatos informais coletados revelaram a preocupação da comunidade quanto à velocidade de avanço das dunas e às mudanças no uso do território. Alguns moradores relataram dificuldades de acesso, perda de espaços antes utilizados para pesca ou lazer e um sentimento crescente de insegurança diante da instabilidade da paisagem. Essa percepção é reforçada por Oliveira & Souza (2015), que evidenciam a importância dos saberes locais na gestão participativa dos territórios costeiros, destacando como as comunidades de Mangue Seco e de outras regiões da Bahia contribuem para a construção de estratégias de adaptação ambiental.

Outro destaque da análise foi a observação das práticas comunitárias voltadas à mitigação ambiental, como a utilização de folhas de coqueiro para estimular a revegetação e a estabilização das dunas. Essa técnica tradicional, constatada tanto no local quanto nas imagens de satélite, funciona como um mecanismo natural de retenção de areia, favorecendo a fixação de espécies vegetais nativas e a recuperação da restinga. Essa estratégia local evidencia a importância da integração entre conhecimento científico e saberes populares para a construção de soluções efetivas e adaptativas frente aos desafios ambientais e sociais. A ausência de um plano municipal de saneamento básico para Jandaíra reforça a necessidade de governança participativa, processos de planejamento integrados, com participação da comunidade e apoio de órgãos como a FUNASA e universidades, podem garantir soluções personalizadas e sustentáveis (FUNASA 2016).

Considerando a ausência de sistema coletivo de esgotamento sanitário em Mangue Seco e o uso predominante de fossas rudimentares sem impermeabilização, observa-se elevado risco de contaminação do aquífero raso como citado anteriormente. Uma alternativa viável é a adoção de sistemas descentralizados de tratamento, como wetlands construídos (sistemas alagados de fluxo horizontal ou vertical), aproveitando o alto fluxo de água disponível e o manguezal em si (Sezerino, Rousso, Pelissari, Santos, Freitas, Fechine e Lopes 2018). O sistema consiste na utilização de processos naturais de filtração, adsorção e atividade microbiológica em substratos e plantas macrófitas, proporcionando elevada eficiência na remoção de nutrientes e patógenos. Além disso, apresentam baixo custo de implantação e manutenção, podendo ser adaptados ao contexto local com uso de espécies vegetais nativas. Experiências bem-sucedidas em comunidades rurais brasileiras indicam reduções significativas de DBO, coliformes e nutrientes (Sezerino et al. 2018), o que demonstra seu potencial como solução adaptativa para Mangue Seco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados espaciais, os registros de campo e as contribuições teóricas evidenciam a urgência de medidas de mitigação e manejo sustentável em Mangue Seco. Entre as alternativas destacam-se o reflorestamento com espécies nativas de restinga, a delimitação de zonas de proteção ambiental, o ordenamento do turismo e o fortalecimento do protagonismo comunitário nos processos decisórios. A precariedade do saneamento básico amplia a vulnerabilidade socioambiental diante das mudanças climáticas, reforçando a necessidade de políticas públicas específicas para comunidades costeiras isoladas. Apesar disso, práticas tradicionais como a revegetação com folhas de coqueiro demonstram potencial de integração com soluções técnicas, valorizando o conhecimento local. Conclui-se que a articulação entre ciência, governança e saberes comunitários é fundamental para promover a resiliência socioambiental de Mangue Seco, conciliando conservação ambiental e qualidade de vida.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é dedicado à memória de Jorge Murilo Batista de Macedo Santos, amigo querido que nos acompanhou durante a produção desta pesquisa e cuja lembrança permanece como inspiração. Agradeço também ao Professor Ricardo Galeno Fraga de Araujo Pereira, do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA), pela orientação acadêmica e pela experiência de campo na disciplina de Geologia Ambiental, que motivou o desenvolvimento deste estudo, a todos os membros do PET ESA que contribuíram para a realização desse trabalho, e também ao FNDE/MEC pela concessão das bolsas ao grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). 2017. Atlas Esgotos: Desafios para Universalização do Saneamento no Brasil. Brasília: ANA.

Ferreira, T. O., C. E. R. Silva, A. D. Otero, C. G. Nóbrega, F. R. S. Oliveira, R. M. Nascimento Jr., C. R. A. Gomes, and R. M. Macedo. 2018. “Extreme Weather Impacts on Tropical Mangrove Forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion.” Global Change Biology 24 (11): 5368–81. https://doi.org/10.1111/gcb.14445.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). 2016. Manual de Saneamento. Brasília: Ministério da Saúde.

https://wp.ufpel.edu.br/ccz/files/2016/03/FUNASA-MANUAL-SANEAMENTO.pdf

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2021. Atlas de Saneamento: Municípios Litorâneos. Rio de Janeiro: IBGE.

Menezes, Athos Farias, Pedro de Souza Pereira, Rodrigo Mikosz Gonçalves, and Heithor Alexandre de Araújo Queiroz. 2020. "O Uso de Geoindicadores para Avaliação da Vulnerabilidade à Erosão Costeira na Praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá-PE, Brasil)." Anuário do Instituto de Geociências 43 (3): 250–259. https://doi.org/10.11137/2020_3_250_259.

Mori, G. M., G. F. Viana, F. A. Carvalho, R. S. Nascimento, F. G. B. Silva, P. H. S. Silva, and M. M. Silva. 2022. "Differential Adaptive Potential and Vulnerability to Climate-Driven Habitat Loss in Brazilian Mangroves." Frontiers in Conservation Science 3: 763325. https://doi.org/10.3389/fcosc.2022.763325.

Oliveira, A. S., and R. L. Souza. 2015. "Saberes Locais de Moradores de Mangue Seco, Bahia: Questões Socioculturais e Ambientais." Ouricuri 5 (2): 67–85. https://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri/article/view/1760.

Santos, M. J., A. L. R. Furlan, R. A. Amaral, M. R. Pereira, L. S. Dias, A. A. Lima, and T. P. Alves. 2023. "Impacts of Extreme Weather Events in Southeast Brazilian Mangrove Forest." Atmosphere 14 (8): 1195. https://doi.org/10.3390/atmos14081195.

Sezerino, Pablo Heleno, Benny Zuse Rousso, Catiane Pelissari, Mayara Oliveira dos Santos, Monique Nunes Freitas, Victor Ybarzo Fechine, e Ana Maria Beims Lopes. 2018. Wetlands Construídos Aplicados no Tratamento de Esgoto Sanitário: Recomendações para Implantação e Boas Práticas de Operação e Manutenção. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.

Souza, P. H., and T. C. Ferreira. 2020. "Migração de Dunas e o Processo de Soterramento no Litoral de Barroquinha, Ceará, Brasil." Revista GeoUECE 9 (18): 55–70. http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/56683.

Vieira, L. R., and M. T. Costa. 2018. "Áreas de Preservação Permanente: Análise Legislativa e da Ocupação de Manguezais na Ilha do Maranhão." Revista de Direito Ambiental 23 (2): 233–50. https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/8603.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034738

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUA RELAÇÃO COM A DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE

Luana Maria de Souza Matos[1], Wendell Nascimento Oliveira[2], Douglas de Souza Rodrigues[3] e Elizângela Maria de Souza[4].

[1]Graduanda em Agronomia, IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina - PE, Brasil, luana.maria@aluno.ifsertão-pe.edu.br, ORCID: 0009-0002-8500-7334;
[2]Graduando em Agronomia,IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina - PE, Brasil, wendell.nascimento@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0006-9423-4220;
[3]Graduando em Agronomia, IFSertãoPE,Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, douglas.souza@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0005-4232-1763;
[4]Doutora em Zootecnia, Docente, IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0000-0002-8949-3774.

Eixo Temático 01 – Mudanças climáticas
Efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em áreas rurais.

RESUMO

As mudanças climáticas constituem um desafio global, com efeitos observados no aumento da temperatura média, na alteração do regime de chuvas e na intensificação de eventos extremos, como secas e precipitações concentradas em curtos períodos. Essas alterações impactam diretamente a disponibilidade hídrica, especialmente em regiões semiáridas, onde a irregularidade pluviométrica já é um fator limitante para a agricultura e o abastecimento humano. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar a variação da temperatura média, da evapotranspiração potencial (ETP) e da precipitação, correlacionando-as à disponibilidade hídrica em Petrolina-PE, no período de 1981 a 2020. O município está situado no Submédio do Vale do São Francisco e se destaca como polo estratégico da fruticultura irrigada no Brasil, o que torna fundamental compreender sua dinâmica climática diante das mudanças globais. Os dados utilizados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes às normais climatológicas de 1981–2010 e 1991–2020. O processamento foi realizado pelo programa BHCN & CCTK, que integra o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico Normal (segundo Thornthwaite & Mather, 1955) com a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. Assim, foi possível obter informações de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e índices de aridez e umidade. Os resultados revelaram que Petrolina apresenta déficit hídrico permanente, sem registro de excedentes. A comparação entre as duas normais evidenciou redução da precipitação anual e aumento da ETP, intensificando o déficit hídrico. Essa condição confirma a intensificação da aridez climática, ampliando a vulnerabilidade das áreas rurais e reforçando a dependência da agricultura irrigada do efluente. Conclui-se que a limitação estrutural da disponibilidade hídrica exige estratégias de gestão integrada, maior eficiência no uso da irrigação, aproveitamento das águas pluviais e políticas públicas de adaptação para garantir a segurança hídrica e socioeconômica de Petrolina e do

Semiárido brasileiro.

Palavras-chave: agricultura irrigada, déficit hídrico, políticas públicas, semiárido.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, incluindo a desertificação, configuram uma pauta de relevância global, amplamente debatida em função de seus impactos e consequências em diversas regiões do planeta, sobretudo em áreas de clima semiárido (TAVARES, 2019). Entre os elementos mais sensíveis a essas transformações, destacam-se as variações nos padrões de temperatura, precipitação e evapotranspiração, que afetam diretamente a disponibilidade hídrica.

A cidade de Petrolina, localizada no Sertão Pernambucano, constitui um dos principais pólos de referência em fruticultura irrigada do Brasil. Com ênfase no cultivo de manga e uvas, a ascensão do município deve-se ao acesso ao quarto maior rio da América do Sul, o rio São Francisco (CASTAÑEDA; WEBB, 2025). O progresso, entretanto, pode ser ameaçado em decorrência à severa crise hídrica que o efluente tem sofrido nas últimas décadas. Estudos indicam que a vazão anual do Velho Chico foi reduzida em média 60%, um fenômeno que é atribuído ao aumento das temperaturas (BARBOSA; BURITI, 2024).

Este estudo visou identificar e correlacionar as alterações de temperatura média, evapotranspiração e precipitação com a disponibilidade de água no município de Petrolina - PE durante o período de 1981 - 2020. Através de dados coletados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), os dados foram processados utilizando o método de Köppen e Thornthwaite para classificação climatológica do local em tese.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referentes às normais climatológicas de 1981–2010 e 1991–2020, para o município de Petrolina-PE. As variáveis de entrada consideradas foram precipitação média mensal (mm) e temperatura média mensal (°C), e evapotranspiração potencial (ETP) fornecidas pelo mesmo. A escolha deste método se justifica por sua ampla aplicação em estudos do Semiárido e pela compatibilidade com o modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather

(1955) e Köppen (1936). O processamento dos dados foi realizado com auxílio do programa BHCN&CCTK (Sousa & Brito, 2022), que integra o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHCN) com a classificação climática segundo as metodologias de Köppen (1936) e Thornthwaite (1948; 1955). Foram obtidos parâmetros como precipitação (P), evapotranspiração (ETP), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e armazenamento de água no solo (ARM). Também foram calculados os índices de aridez (Ia), hídrico (Ih) e de umidade (Iu) a partir do programa.

A análise foi conduzida de forma comparativa entre as diferentes normais climatológicas, permitindo identificar tendências na variabilidade de chuvas, temperatura, evapotranspiração e balanço hídrico, além de mudanças no enquadramento climático de Petrolina. Esse procedimento possibilitou avaliar as implicações das mudanças climáticas regionais sobre a disponibilidade hídrica no município, com foco na vulnerabilidade da agricultura e das áreas rurais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação das normais climatológicas para Petrolina-PE revelou a predominância de déficit hídrico durante todo o ano, sem ocorrência de excedente em nenhum mês. Entre os períodos de 1981–2010 e 1991–2020 observou-se uma redução da precipitação anual de aproximadamente 65 mm e um aumento da evapotranspiração potencial de cerca de 110 mm (figuras 1 e 2), resultando no agravamento do déficit anual, que passou de 1.915 mm para 2.090 mm. Essa condição confirma o caráter estruturalmente semiárido do município, classificado como BSh (Köppen) e EdA’a’ (Thornthwaite), mas evidencia uma tendência de intensificação da aridez climática.

BHCN&CCTK - Balanço Hídrico Climatológico Normal e Classificação Climática de Thornthwaite e Köppen.

Planilha Especial - Inicialização manual. *Autor: Prof. Dr. José Sebastião Costa de Sousa*

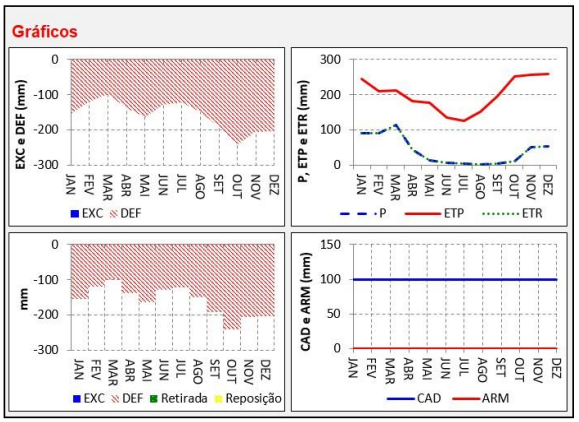
Cidade: Petrolina/PE - 1981-2010 | Hemisfério: Sul | CAD = 100 mm

Mês	T (ºC)	P (mm)	ETP (mm)	P–ETP (mm)	NEG. ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	28	91	246	-155	-2.316	0	0	91	155	0
FEV	28	91	210	-119	-2.435	0	0	91	119	0
MAR	28	114	213	-99	-2.534	0	0	114	99	0
ABR	27	44	182	-138	-2.672	0	0	44	138	0
MAI	26	13	177	-164	-921	0	0	13	164	0
JUN	25	6	134	-128	-1.049	0	0	6	128	0
JUL	24	4	125	-121	-1.170	0	0	4	121	0
AGO	25	1	151	-150	-1.320	0	0	1	150	0
SET	27	3	195	-192	-1.512	0	0	3	192	0
OUT	28	11	251	-240	-1.752	0	0	11	240	0
NOV	29	52	257	-205	-1.957	0	0	52	205	0
DEZ	28	54	258	-204	-2.161	0	0	54	204	0
ANO	27	484	2.399	-1.915	-21.799	0	0	484	1.915	0

Regra para inicialização do balanço hídrico: Digitar valor em NEG.ACUM (recomenda-se -921) no último mês da estação chuvosa (que possivelmente é MAR). ACESSE O MANUAL DO USUÁRIO.

Classificação climatológica de Thornthwaite: EdA'a', ou seja, clima Megatérmico Árido com excedente hídrico pequeno ou nulo (VIANELLO & ALVES, 2012).

Classificação climatológica de Köppen: BSh, ou seja, clima seco semiárido de baixa latitude e baixa altitude (PEEL et al., 2007; ALVARES et al., 2013).



Fontes consultadas: 1 - VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia Básica e Aplicações. UFV, 460p, 2012. 2 - PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 478p, 2002. 3 - PEEL, M.C., B.L. FINLAYSON, T.A. MCMAHON. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol. Earth Syst. Sci. v. 11, n. 05, p.1633–1644, 2007. 4 - ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift (Berlin), v. 22, n. 06, p.711-728, 2013.

Figura 1. Tela do BHCN&CCTK com os valores utilizados para a classificação climática para normal 1981-2010.

BHCN&CCTK - Balanço Hídrico Climatológico Normal e Classificação Climática de Thornthwaite e Köppen.

Planilha Especial - Inicialização manual. *Autor: Prof. Dr. José Sebastião Costa de Sousa*

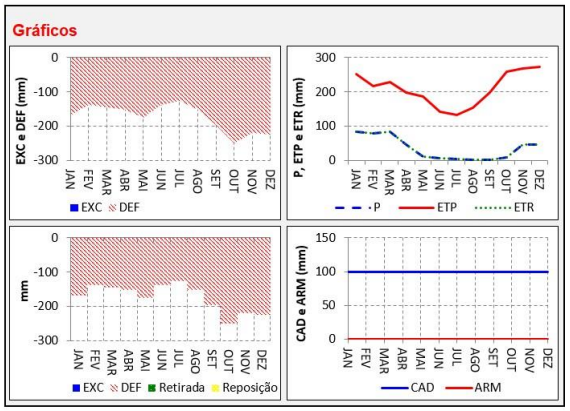
Cidade: Petrolina/PE - 1991 - 2020 | Hemisfério: Sul | CAD = 100 mm

Mês	T (ºC)	P (mm)	ETP (mm)	P–ETP (mm)	NEG. ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	28,2	83,5	252,3	-169	-2.399	0	0	84	169	0
FEV	28,1	78,1	216,8	-139	-2.537	0	0	78	139	0
MAR	28,1	83,6	228,7	-145	-2.682	0	0	84	145	0
ABR	27,6	45,8	198,8	-153	-2.835	0	0	46	153	0
MAI	26,6	11	186,2	-175	-921	0	0	11	175	0
JUN	25,2	5,7	142,7	-137	-1.058	0	0	6	137	0
JUL	24,6	4,5	132	-128	-1.186	0	0	5	128	0
AGO	25,2	1,7	153,7	-152	-1.338	0	0	2	152	0
SET	26,9	2,3	199,1	-197	-1.534	0	0	2	197	0
OUT	28,5	9,2	258,6	-249	-1.784	0	0	9	249	0
NOV	28,8	46,5	267,3	-221	-2.005	0	0	47	221	0
DEZ	28,6	47,1	272,4	-225	-2.230	0	0	47	225	0
ANO	27	419	2.509	-2.090	-22.508	0	0	419	2.090	0

Regra para inicialização do balanço hídrico: Digitar valor em NEG.ACUM (recomenda-se -921) no último mês da estação chuvosa (que possivelmente é MAR). ACESSE O MANUAL DO USUÁRIO.

Classificação climatológica de Thornthwaite: EdA'a', ou seja, clima Megatérmico Árido com excedente hídrico pequeno ou nulo (VIANELLO & ALVES, 2012).

Classificação climatológica de Köppen: BSh, ou seja, clima seco semiárido de baixa latitude e baixa altitude (PEEL et al., 2007; ALVARES et al., 2013).



Fontes consultadas: 1 - VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia Básica e Aplicações. UFV, 460p, 2012. 2 - PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 478p, 2002. 3 - PEEL, M.C., B.L. FINLAYSON, T.A. MCMAHON. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol. Earth Syst. Sci. v. 11, n. 05, p.1633–1644, 2007. 4 - ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift (Berlin), v. 22, n. 06, p.711-728, 2013.

Figura 2. Tela do BHCN&CCTK com os valores utilizados para a classificação climática para normal 1991-2020.

Resultados semelhantes foram descritos por Silva (2021), ao analisar tendências e extremos pluviométricos na região hidrográfica do rio São Francisco. A autora constatou redução significativa da pluviosidade em diversas sub-bacias, incluindo aquelas situadas no semiárido nordestino, com predominância de episódios de seca mais severos e prolongados. Tais achados reforçam a evidência de que Petrolina-PE segue a tendência regional de diminuição das chuvas e aumento da frequência de eventos extremos, especialmente secas.

De forma complementar, Melo (2022) destacou que, na bacia do rio São Francisco, as vazões médias anuais vêm apresentando redução consistente desde a década de 1980, sendo influenciadas tanto pelo aumento da evapotranspiração e das temperaturas (figura 3 e 4) quanto pelas pressões antrópicas (expansão agrícola e maior consumo de água). Essa constatação tem relação direta com o cenário de Petrolina-PE, onde a ausência de excedente hídrico no balanço anual limita a recarga de aquíferos e reservatórios, reforçando a dependência do rio São Francisco para suprimento agrícola e humano.

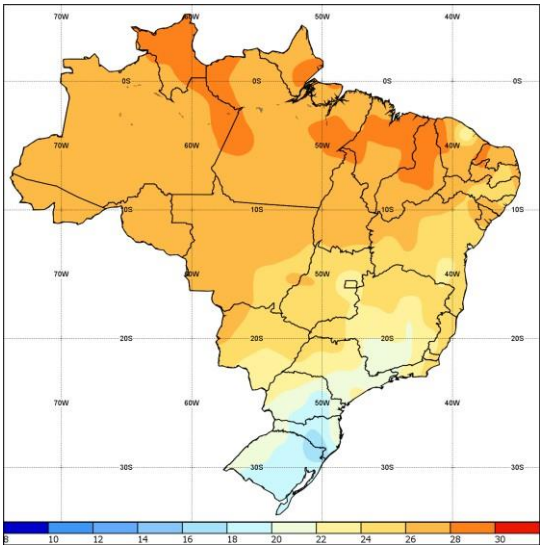


Figura 3. Mapa de temperatura média compensada dos anos 1981-2010. Fonte: INMET.

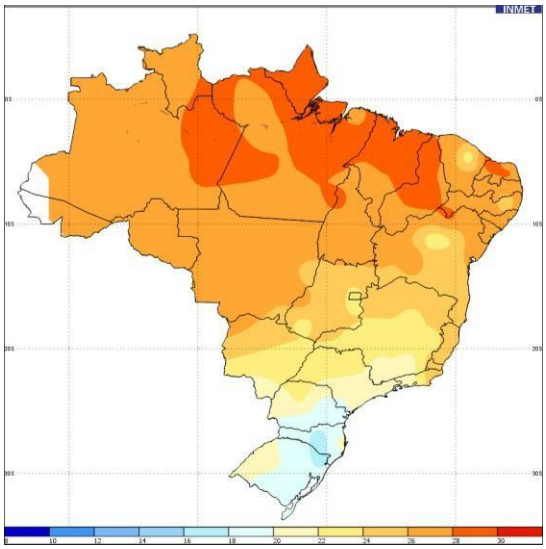


Figura 4. Gráfico de temperatura média compensada dos anos 1991-2020

A análise evidencia, portanto, que a disponibilidade hídrica natural em Petrolina é extremamente limitada e apresenta sinais de agravamento frente às mudanças climáticas. Essa condição implica maior vulnerabilidade para a agricultura de sequeiro, que se torna inviável sem técnicas de convivência com a seca, e para o abastecimento rural, que depende de cisternas e poços sujeitos à irregularidade das chuvas. Na irrigação, intensifica-se a pressão sobre as águas do São Francisco, em consonância com a tendência regional de redução de vazões descrita por Melo (2022).

No conjunto, os resultados confirmam que o município de Petrolina representa um caso crítico da interação entre variabilidade climática, déficit hídrico estrutural e pressão antrópica sobre os recursos hídricos, sendo uma síntese das vulnerabilidades que caracterizam o Semiárido brasileiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo confirmou que Petrolina-PE apresenta déficit hídrico permanente ao longo de todo o ano, sem registro de excedente hídrico nas normais climatológicas analisadas. As evidências indicam que a disponibilidade hídrica natural em Petrolina é estruturalmente limitada e tende a se agravar diante das mudanças climáticas, ampliando a vulnerabilidade das áreas rurais e da agricultura irrigada, fortemente dependente do rio São Francisco. Como solução, destaca-se a necessidade de gestão integrada da água, com investimentos em irrigação eficiente, bem como a irrigação tecnológica, captação e armazenamento de águas pluviais e políticas públicas de adaptação climática.

Sugere-se, como continuidade, a incorporação de cenários climáticos futuros e análises em escala de bacia hidrográfica, de modo a fortalecer estratégias de resiliência hídrica não apenas em Petrolina, mas em todo o Semiárido nordestino.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural pelo apoio institucional, a Dra. Elizângela Souza e ao Dr. Sebastião Costa, pelas a orientações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: Handbuch der Klimatologie, Köppen, W.; Geiger, G. (Eds.), Gebrüder Borntraeger, p. 1–44, part C, 1936.

IPCC. Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade – Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. *Genebra: Organização Meteorológica Mundial,* 2014. 34 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/03/ar5_wg2_spm.pdf. Acesso em: 24 set. 2025.

CASTAÑEDA, Concepción E.; WEBB, Kempton E. São Francisco River. In: Encyclopaedia Britannica. *Chicago: Encyclopaedia Britannica*, 2023. Disponível em: https://www.britannica.com/place/Sao-Francisco-River. Acesso em: 24 set. 2025.

MELO, Larissa Silva. Avaliação das alterações de vazões na bacia hidrográfica do rio São Francisco entre 1985 e 2019: análise de tendências e relações com variáveis climáticas e antrópicas. 2022. Tese de doutorado — *Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte*, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/items/d23b0caa-884a-4d16-85aa-3e8f18453ee6. Acesso em: 24 set. 2025.

SOUSA, J. S. C.; BRITO, Marcos Eric Barbosa. Programa computacional BHCN&CCTK: Balanço hídrico climatológico normal e classificação climática de Thornthwaite e Köppen. Braz. J. Dev, v. 8, p. 35877-35898, 2022.

SILVA, Mariana Mendes. Tendências e extremos da pluviosidade na região hidrográfica do Rio São Francisco [recurso eletrônico]. 2021. 134 f. Tese (Doutorado em Geografia) — *Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia*, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31585/1/Tend%C3%AanciasExtremos Pluviosidade.pdf. Acesso em: 24 set. 2025.

TAVARES, Válter Cardoso; DE ARRUDA, Ítalo Rodrigo Paulino; DA SILVA, Danielle Gomes. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. The Geographical Review. v. 38, n. 01, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19034759

PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIA SOCIAL PARA O REUSO DE ÁGUAS CINZAS NA AGRICULTURA FAMILIAR COMO ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

PROPOSICIÓN DE TECNOLOGÍAS SOCIALES PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN LA AGRICULTURA FAMILIAR COMO ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

"PROPOSITION OF SOCIAL TECHNOLOGIES FOR GREYWATER REUSE IN FAMILY FARMING AS AN ADAPTATION STRATEGY TO CLIMATE CHANGE"

Isadora Nayala Santos da Paz[1], Manoela Carvalho Cruz Vieira[2], Ana Camile Barbosa Rodrigues[3] e Janiara Alves Batista[4].

[1]Acadêmica em Engenharia Sanitária e Ambiental., UNEB, Alagoinhas, Brasil, isadoranayala18@gmail.com, 0009-0001-4184-1207 ;
[2]Acadêmica em Engenharia Sanitária e Ambiental., UNEB, Alagoinhas, Brasil, manoelacruzvieira@gmail.com, 0009-0001-7846-5882;
[3] Acadêmica em Engenharia Sanitária e Ambiental, UNEB, Alagoinhas, Brasil, camile0anabarbosa@uneb.br, 0009-0004-9464-8672;
[4]Engenheira Sanitarista e Ambiental. Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento (UFAL). Professora do Departamento de Ciências Exatas e da Terra, UNEB, Alagoinhas, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087.

Eixo Temático 01 – Mudanças Climáticas
Estratégias de mitigação e adaptação para o saneamento rural diante do aquecimento global.

Eje Temático 01 – Cambio Climático
Estrategias de mitigación y adaptación del saneamiento rural ante el calentamiento global.

RESUMO

A precariedade do saneamento básico nas comunidades rurais ainda é uma realidade persistente, marcada pela ausência de infraestrutura adequada para o tratamento e disposição dos efluentes domésticos, afetando a qualidade de vida das famílias, a saúde pública e a conservação ambiental, agravando-se diante da insuficiência de políticas públicas específicas. Nesse contexto, o reuso de águas cinzas surge como alternativa estratégica, especialmente na agricultura familiar, que depende da disponibilidade hídrica para sua sustentabilidade. O presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da adoção de tecnologias sociais voltadas ao aproveitamento de águas cinzas na agricultura familiar, como estratégia de adaptação às mudanças climáticas e fortalecimento do saneamento rural. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica qualitativa em bases como SciELO, Google Scholar e Periódicos CAPES, além de relatórios institucionais, considerando publicações entre 2009 e 2025 e excluindo estudos sem enfoque no meio rural. Os resultados mostraram que tecnologias sociais de baixo custo, como o Sistema Bioágua, os círculos de bananeiras e os sistemas alagados construídos, têm apresentado resultados promissores na redução do desperdício hídrico e no aumento da produção agrícola em pequena escala, permitindo destino final seguro e o

aproveitamento das águas cinzas para fins produtivos. Essa realidade foi observada no Assentamento São Gonçalo, em Crateús-CE, onde 83,3% das famílias já separam águas cinzas das águas negras, revelando predisposição social e cultural para o reúso e demonstrando seu potencial de impacto econômico e social, como a redução de custos com fertilizantes e o fortalecimento da renda familiar. Conclui-se que a implementação dessas tecnologias contribui para mitigar impactos ambientais, melhorar a segurança hídrica e promover a autonomia das famílias agricultoras, além de alinhar-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Assim, este trabalho reforça a relevância do saneamento rural como eixo de adaptação às mudanças climáticas, destacando que o reuso de águas cinzas, aliado a práticas educativas, constitui estratégia eficaz de promoção da sustentabilidade socioambiental alinhada à Agenda 2030.

Palavras-chave: Saneamento rural, Reúso de águas cinzas , Agricultura familiar, Tecnologia social, Mudanças climáticas

RESÚMEN

La precariedad del saneamiento básico en las comunidades rurales sigue siendo una realidad persistente, marcada por la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento y la disposición de aguas residuales domésticas, lo que afecta la calidad de vida de las familias, la salud pública y la conservación del medio ambiente, agravada por la insuficiencia de políticas públicas específicas. En este contexto, la reutilización de aguas grises surge como una alternativa estratégica, especialmente en la agricultura familiar, cuya sostenibilidad depende de la disponibilidad de agua. Este estudio tuvo como objetivo analizar la viabilidad de la adopción de tecnologías sociales orientadas a la reutilización de aguas grises en la agricultura familiar como estrategia de adaptación al cambio climático y fortalecimiento del saneamiento rural. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica cualitativa en bases de datos como SciELO, Google Académico y revistas CAPES, así como en informes institucionales, considerando publicaciones entre 2009 y 2025 y excluyendo estudios no centrados en zonas rurales. Los resultados mostraron que las tecnologías sociales de bajo costo, como el Sistema Bioágua, los círculos bananeros y los humedales artificiales, han mostrado resultados prometedores en la reducción del desperdicio de agua y el aumento de la producción agrícola a pequeña escala, permitiendo la disposición segura y el uso de aguas grises con fines productivos. Esta realidad se observó en el asentamiento São Gonçalo en Crateús, Ceará, donde el 83,3% de las familias ya separan las aguas grises de las negras, lo que revela una predisposición social y cultural a la reutilización y demuestra su potencial impacto económico y social, como la reducción de costos de fertilizantes y el fortalecimiento de los ingresos familiares. La conclusión es que la implementación de estas tecnologías contribuye a mitigar los impactos ambientales, mejorar la seguridad hídrica y promover la autonomía de las familias agricultoras, además de alinearse directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por lo tanto, este trabajo refuerza la relevancia del saneamiento rural como eje de adaptación al cambio climático, destacando que la reutilización de aguas grises, combinada con prácticas educativas, constituye una estrategia eficaz para promover la sostenibilidad socioambiental alineada con la Agenda 2030.

Palabras clave: Saneamiento rural, Reutilización de aguas grises, Agricultura familiar, Tecnología social, Cambio climático

ABSTRACT

The precariousness of basic sanitation in rural communities remains a persistent reality, marked by the lack of adequate infrastructure for the treatment and disposal of domestic wastewater, affecting families' quality of life, public health, and environmental conservation, worsened by the inadequacy of specific public policies. In this context, graywater reuse emerges as a strategic alternative, especially in family farming, which depends on water availability for its sustainability. This study aimed to analyze the feasibility of adopting social technologies aimed at graywater reuse in family farming as a strategy for adapting to climate change and strengthening rural sanitation. To this end, a qualitative literature review was conducted in databases such as SciELO, Google Scholar, and CAPES Journals, as well as institutional reports, considering publications between 2009 and 2025 and excluding studies not focused on rural areas. The results showed that low-cost social technologies, such as the Bioágua System, banana circles, and constructed wetlands, have shown promising results in reducing water waste and increasing small-scale agricultural production, enabling safe disposal and the use of graywater for productive purposes. This reality was observed in the São Gonçalo Settlement in Crateús, Ceará, where 83.3% of families already separate graywater from blackwater, revealing a social and cultural predisposition for reuse and demonstrating its potential economic and social impact, such as reducing fertilizer costs and strengthening family income. The conclusion is that the implementation of these technologies contributes to mitigating environmental impacts, improving water security, and promoting the autonomy of farming families, in addition to directly aligning with the Sustainable Development Goals. Thus, this work reinforces the relevance of rural sanitation as an axis of adaptation to climate change, highlighting that the reuse of gray water, combined with educational practices, constitutes an effective strategy for promoting socio-environmental sustainability aligned with the 2030 Agenda.

Keywords: Rural sanitation, Graywater reuse, Family farming, Social technology, Climate change

INTRODUÇÃO

O saneamento básico nas áreas rurais brasileiras ainda é marcado por deficiências significativas, principalmente quanto ao tratamento e à destinação final dos efluentes domésticos. De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2022), muitas comunidades dependem de soluções individuais precárias ou sequer possuem sistemas de esgotamento, o que compromete a saúde pública, a qualidade de vida e a conservação ambiental. Esse cenário é ainda mais crítico quando associado às mudanças climáticas, já apontadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), que preveem para o Brasil aumento da temperatura média entre 2,5 °C e 3,5 °C até 2050, maior frequência de secas prolongadas e enchentes e instabilidade no regime de chuvas. Relatórios recentes (Instituto Trata Brasil, 2024) também indicam que eventos climáticos extremos têm

comprometido a segurança hídrica em comunidades rurais, ampliando a vulnerabilidade dessas populações. Esses efeitos atingem diretamente a agricultura familiar, responsável por cerca de 70% dos alimentos consumidos no país e meio de subsistência de milhões de famílias brasileiras (EMBRAPA, 2024).

Nesse contexto, o reuso de águas cinzas se apresenta como alternativa estratégica. Esse tipo de efluente doméstico, originado de pias, chuveiros e lavanderias, possui menor carga poluidora em relação às águas negras, podendo ser aproveitado na agricultura após tratamento adequado. Além de reduzir a pressão sobre mananciais, seu uso em irrigação contribui para a segurança hídrica e pode fornecer nutrientes às plantas, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Estudos recentes têm mostrado que a irrigação com águas residuais tratadas ou águas cinzas pode aumentar em até 25% a biomassa das culturas, preservar a umidade do solo e reduzir o consumo de água potável (Zhao et al., 2024). Também se verificou que, quando devidamente tratada, essa prática não compromete a fertilidade do solo nem a qualidade dos alimentos produzidos (Silva et al., 2023). Por outro lado, análises sanitárias indicam que o reuso inadequado ainda pode apresentar riscos, principalmente quando há falhas no processo de tratamento, o que reforça a necessidade de monitoramento rigoroso e padrões de qualidade para garantir segurança ao agricultor e ao consumidor (Martins et al., 2022).

Do ponto de vista institucional, o Brasil tem avançado na regulamentação do setor. A Lei nº 14.026/2020, conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento, estabelece metas de universalização e incentivo ao reuso, enquanto o Decreto nº 11.704/2023 cria a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS), fortalecendo o alinhamento do país à Agenda 2030 da ONU. Dentro desse marco, o emprego de tecnologias sociais acessíveis, como o sistema Bioágua, os círculos de bananeiras e os wetlands construídos, mostra-se viável para ampliar o uso de águas cinzas de forma segura e sustentável em comunidades rurais.

Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da adoção de tecnologias sociais voltadas ao aproveitamento de águas cinzas na agricultura familiar, considerando-a como estratégia de adaptação às mudanças climáticas e como instrumento de fortalecimento do saneamento rural, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Climática).

MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Leite (2024), a pesquisa bibliográfica constitui uma metodologia fundamental para a educação e a ciência, pois possibilita ao pesquisador examinar e reinterpretar conhecimentos já consolidados, além de contribuir para a formulação de novas perspectivas sobre o tema investigado. Nesse sentido, o presente estudo adotou uma abordagem descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica, com foco na relação entre mudanças climáticas, saneamento rural e tecnologias sociais aplicadas ao reúso de águas cinzas.

A busca de informações foi realizada em bases acadêmicas e periódicos científicos, como SciELO, Google Scholar e Periódicos CAPES, além de relatórios institucionais de órgãos como FUNASA, EMBRAPA e IPCC. Para orientar a seleção, utilizaram-se as seguintes palavras-chave: “saneamento rural”, “mudanças climáticas”, “reúso de águas cinzas” e “tecnologias sociais”. Foram incluídos trabalhos publicados entre 2009 e 2025, priorizando artigos revisados por pares, teses, dissertações e relatórios de órgãos governamentais. Como critérios de exclusão, desconsideraram-se estudos que não apresentavam enfoque no meio rural, trabalhos de caráter opinativo sem fundamentação científica e documentos sem acesso completo aos dados metodológicos e resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o Instituto Trata Brasil (2024), as mudanças climáticas têm intensificado eventos extremos de chuvas e secas, afetando diretamente os sistemas de saneamento em áreas rurais. Durante as estiagens, a escassez hídrica agrava a dificuldade de abastecimento e torna mais urgente a busca por fontes alternativas, como o reaproveitamento das águas cinzas, tanto claras (proveniente de chuveiros, banheiras, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa) como escuras (proveniente de pia de cozinha e máquina de lavar louça considerada isoladamente ou somada à água cinza-clara) de acordo a norma ABNT NBR 16783:2019. Já as chuvas intensas favorecem o transbordamento de fossas rudimentares e o escoamento superficial de efluentes, aumentando o risco de contaminação dos solos e das fontes hídricas (Correia et al., 2021). Esse contexto evidencia a vulnerabilidade das comunidades rurais, que, além de conviverem com a precariedade da infraestrutura sanitária, sofrem de maneira mais intensa os impactos do aquecimento global (Porto, Sales & Rezende, 2019).

Nesse cenário, a agricultura familiar, responsável por significativa parcela da produção de alimentos consumidos no Brasil, é uma das mais atingidas pela instabilidade climática, devido à forte dependência da disponibilidade hídrica (Embrapa, 2024). As revisões bibliográficas analisadas mostram que o reúso de águas cinzas, quando tratado adequadamente, contribui para a manutenção da umidade do solo, o incremento da biomassa agrícola e a redução da dependência de insumos químicos. Além disso, essas práticas podem gerar benefícios econômicos e sociais diretos, fortalecendo a segurança alimentar e econômica das famílias rurais (Silva et al., 2023; Zhao et al., 2024). Dessa forma, transformar as águas cinzas de resíduo em recurso produtivo representa uma estratégia essencial para a sustentabilidade da agricultura de base familiar, gerando redução de custos com fertilizantes, maior autonomia produtiva e potencial incremento na renda familiar.

Com base nessa perspectiva, o estudo de caso realizado no Assentamento São Gonçalo, em Crateús-CE, envolveu 36 famílias selecionadas de forma a representar diferentes perfis socioeconômicos e práticas de manejo de água da comunidade, garantindo que os resultados refletissem de maneira consistente a realidade local. Nesse grupo, 83,33% das famílias já separam as águas cinzas das águas negras, demonstrando predisposição social para a adoção de soluções descentralizadas de saneamento (Alves, 2025). Entre as alternativas identificadas destacam-se o Sistema Bioágua, que utiliza filtragem biológica e fertirrigação por gotejamento, garantindo eficiência no uso da água, melhorias na fertilidade do solo e redução de custos com insumos agrícolas; os círculos de bananeiras, que possibilitam a infiltração e o aproveitamento de nutrientes das águas cinzas por meio de valas orgânicas sustentando o cultivo de frutíferas; e os sistemas alagados construídos (SAC), que reproduzem zonas úmidas artificiais capazes de remover carga orgânica e patógenos, fornecendo efluente de qualidade para uso agrícola.

Ademais, todas essas práticas refletem benefícios econômicos e sociais significativos para as famílias rurais, na medida em que o reúso das águas cinzas contribui para a redução dos custos com fertilizantes químicos, uma vez que os nutrientes presentes no efluente tratado atuam como adubação natural, suplementando ou substituindo insumos comprados externamente (Silva et al., 2023; Zhao et al., 2024). Além disso, ao manter a umidade do solo e favorecer o desenvolvimento das culturas, essas práticas incrementam a produtividade agrícola em quintais e pequenas hortas familiares, possibilitando a geração de excedentes de produção para consumo próprio ou comercialização, com impacto direto na segurança

alimentar e na renda domiciliar. Do ponto de vista econômico, tal abordagem representa uma estratégia de mitigação de custos operacionais e ampliação da autonomia produtiva das famílias, ao reduzir a dependência de insumos externos e otimizar o uso de recursos hídricos locais. Socialmente, a adoção do reúso de águas cinzas fortalece a resiliência comunitária, promovendo práticas sustentáveis que garantem a subsistência, incentivam o engajamento na gestão eficiente dos recursos naturais e potencializam a melhoria da qualidade de vida no meio rural.

Entretanto, é importante destacar que as águas cinzas possuem características físicas, químicas e biológicas específicas que precisam ser conhecidas para que haja segregação e tratamento adequado, tornando-as passíveis de reutilização segura. Entre as características físicas, podem ser observadas a presença de areia, cabelo e fibras de roupas (MAY, 2009). Quanto ao pH, ele tende a apresentar sensível alcalinidade devido aos produtos químicos presentes nos sabões. Em relação a óleos e graxas, estes variam de 8,0 $mg \cdot L^{-1}$ a 78 $mg \cdot L^{-1}$, sendo provenientes principalmente de resíduos do preparo de alimentos e do corpo humano, como suor (MAY, 2009).

No que se refere à operacionalização dessas práticas, o processo de tratamento desse efluente é realizado através de um sistema de esgotamento adaptado nas residências, que transporta as águas para uma caixa de gordura, onde ocorre um pré-tratamento retendo materiais físicos de maior proporção, sendo recomendada a limpeza quinzenal da caixa. Em seguida, o efluente é conduzido a um filtro composto por camadas organizadas do fundo para o topo: seixos de pedra, brita, areia lavada, raspas de madeira e húmus com minhocas. Por fim, a água é armazenada em um reservatório elevado, de onde é distribuída por gravidade para irrigação (Embrapa 2023). Esse sistema, além de ambientalmente adequado, gera impactos sociais e econômicos positivos, pois diminui a dependência de água potável e fertilizantes, fortalece a produtividade agrícola e contribui para a renda das famílias rurais.

Sendo assim, essas tecnologias dialogam diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O ODS 6, que discorre sobre a Água potável e o Saneamento, é contemplado ao oferecer soluções seguras de tratamento e reúso de águas cinzas através do sistema bioágua reduzindo a poluição e ampliando o acesso a práticas de saneamento adequadas no meio rural. O ODS 2, referente a Fome zero e Agricultura sustentável, é fortalecido porque o reúso das águas cinzas tratadas favorece a produção de alimentos em

quintais produtivos e hortas, garantindo segurança alimentar e diminuindo os riscos de escassez a dependência de recursos hídricos externos. Já o ODS 13, de Ação contra a mudança climática, é atendido ao implementar tecnologias como sistemas de tratamento e distribuição de água que visam possibilitar a adaptação das famílias rurais às novas condições climáticas, tornando-as menos vulneráveis às estiagens e às chuvas extremas, além de contribuir para a mitigação dos impactos ambientais do descarte inadequado de efluentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados discutidos demonstram que as tecnologias sociais de reúso de águas cinzas constituem instrumentos fundamentais para promover a adaptação das comunidades rurais às mudanças climáticas, fortalecendo simultaneamente a agricultura familiar, a segurança hídrica e a segurança alimentar.

Embora os benefícios sejam claros, ainda existem obstáculos que precisam ser superados, como a resistência cultural ao reúso de águas residuárias, a ausência de regulamentação específica para águas cinzas e a carência de assistência técnica nas comunidades. A literatura aponta, no entanto, que tais barreiras podem ser minimizadas quando os projetos são acompanhados de ações de educação ambiental e de gestão participativa, favorecendo a apropriação social e a sustentabilidade das soluções.

Conclui-se, portanto, que o presente trabalho representa uma iniciativa viável, pertinente e sustentável, mesmo frente aos desafios que o envolvem, as mudanças climáticas, ausência de políticas públicas efetivas e até mesmo o preconceito e falta de informações sobre a reutilização das águas cinzas. Buscando de tal modo o fortalecimento e incentivo das tecnologias sociais de baixo custo, a resiliência da agricultura familiar, esperando-se que o mesmo sirva de subsídio para o protagonismo local na gestão ambiental, promova segurança hídrica, desenvolvimento sustentável e justiça climática. Empenhando-se em contribuir como base técnica e reflexiva para novas pesquisas e práticas que fortaleçam o saneamento rural em consonância com a Agenda 2030 e as demandas sociais contemporâneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE ARAÚJO, José Edson de, e Nildo da Silva Dias. 2024. “Potencial Uso Agrícola de Água Cinza Tratada em Sistema de Produção Familiar.” Caderno Pedagógico 21 (10): e9543. https://doi.org/10.23925/cadped.v21i10.9543

ALVES, Patrícia Pereira da Silva. 2025. Proposição de Solução de Tecnologia para Destinação Final de Águas Cinzas no Assentamento São Gonçalo, Crateús-CE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2019. NBR 16783: Reúso de Água – Diretrizes para Aproveitamento de Águas Cinzas em Edificações. Rio de Janeiro: ABNT.

BERMÚDEZ, Victória, et al. 2025. "Uso de Água Cinza na Irrigação de Feijão Caupi (Vigna unguiculata L. Walp) no Nordeste Brasileiro."

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). 2019. Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural. Brasília: FUNASA. http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf

———. 2023. Programa Nacional de Saneamento Rural. http://www.funasa.gov.br/programa-nacional-de-saneamento-rural

BRASIL. Presidência da República. 2020. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020: Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília: Casa Civil. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

CERQUEIRA, Joaci dos Santos, et al. 2025. "Práticas de Sustentabilidade e Uso Racional da Água." Revista Práxis: Saberes da Extensão 13 (26): 201–18

EMBRAPA. 2023. Saneamento Básico Rural. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. https://www.embrapa.br/tema-saneamento-basico-rural

———. 2024. Gestão de Riscos Climáticos na Agricultura. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1172189/1/Documento192.pdf

GUIMARÃES, Rui Campos, e José A. Sarsfield Cabral. 2011. Estatística. Lisboa: Verlag Dashofer

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Masson-Delmotte, Valérie, et al. 2021. Mudança do Clima 2021: A Base Científica – Sumário para Formuladores de Políticas. Genebra: IPCC

MAY, S. 2009. Caracterização, Tratamento e Reúso de Águas Cinzas e Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo

MORAIS, Rony Anderson Silva. 2025. "Impactos Socioeconômicos Causados pelas Mudanças Climáticas nas Áreas Urbanas: Uma Revisão de Literatura."

ROCHA, Camila Tainá dos Santos, et al. 2023. "Qualidade da Água de uma Nova

Tecnologia Social de Tratamento de Água Cinza." Research, Society and Development 12 (5): e5512541418. https://doi.org/10.33448/rsd-v12i5.41418

RODRIGUES, Ester Ferreira. 2023. Saneamento Rural: Estudo sobre a Implantação de um Sistema Descentralizado de Coleta e Tratamento de Esgoto Doméstico na Zona Rural do Ceará

SANTOS, Clérison Albanizio Pio, et al. 2025. "Tecnologias Sociais e o Desenvolvimento Territorial do Semiárido Cearense." Revista Tecnologia e Sociedade 21 (64): 75–98

SHIMABUKURO, Letícia Kaori. 2025. Adaptação da Agricultura às Mudanças Climáticas: Uma Análise da Implementação de um Instrumento de Política Pública no Vale do Paraíba. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035213

SEGURANÇA HÍDRICA EM ALDEIAS INDÍGENAS DO SERTÃO CEARENSE: ANÁLISE DA VAZÃO DE POÇOS PROFUNDOS E DECRETOS DE CALAMIDADE POR SECA E ESTIAGEM

SEGURIDAD HÍDRICA EN COMUNIDADES INDÍGENAS DEL SERTÓN CEARENSE: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LOS POZOS PROFUNDOS Y DE LOS DECRETOS DE EMERGENCIA POR SEQUÍA Y ESTIAJE

WATER SECURITY IN INDIGENOUS COMMUNITIES OF THE CEARÁ HINTERLAND: ANALYSIS OF DEEP WELL YIELD AND EMERGENCY DECREES DUE TO DROUGHT AND DRY SPELLS

Leiluan Igo Carvalho de Mesquita[1], Sarah Lacerda Farias[2], Márcio da Silva Castro[3].

[1] Tecnólogo em Saneamento Ambiental, Técnico em Química, Distrito Sanitário Especial Indígena do Ceará, leiluan.mesquita@saude.gov.br, https://orcid.org/0009-0003-2925-2236;
[2] Tecnóloga em GestãoAmbiental, Supervisora de Saúde Ambiental, Distrito Sanitário Especial Indígena do Ceará, sarah.farias@saude.gov.br, https://orcid.org/0000-0002-5739-3154;
[3] Engenheiro Químico, Supervisor de Saúde Ambiental, Distrito Sanitário Especial Indígena do Ceará, marcio.castro@saude.gov.br, https://orcid.org/0009-0003-1904-1208.

Eixo Temático 01 –Mudanças climáticas
Efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em áreas rurais.

Eje Temático 01 – Cambios climáticos
Efectos de los cambios climáticos sobre la disponibilidad hídrica en áreas rurales.

Thematic Axis 01 – Climate Change
Effects of climate change on water availability in rural areas

RESUMO

A escassez hídrica é um dos principais desafios enfrentados pelas comunidades indígenas no semiárido brasileiro, especialmente na região do sertão central do Ceará. Este estudo teve como objetivo analisar a disponibilidade de água em aldeias indígenas localizadas nos municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Tamboril e Santa Quitéria, sob a jurisdição do Distrito Sanitário Especial Indígena do Ceará (DSEI-CE), relacionando a variação de vazão de poços profundos ao longo dos anos com a frequência de decretos municipais de calamidade pública por seca e estiagem. Foram sistematizados dados de monitoramento de poços instalados nas aldeias, complementados por informações oficiais sobre as precipitações e a decretação de emergência hídrica na região. Os resultados evidenciam tendência de redução da vazão média de poços, especialmente nos períodos de maior recorrência de secas prolongadas, o que intensifica a vulnerabilidade hídrica e compromete o abastecimento humano e o bem-estar das populações indígenas. A correlação entre baixa vazão e aumento na emissão de decretos de calamidade confirma a interdependência entre fatores ambientais e institucionais na gestão da água. Este cenário reforça a necessidade de políticas públicas específicas para a segurança hídrica em territórios indígenas, incluindo estratégias de diversificação de fontes de abastecimento, fortalecimento da gestão comunitária e maior integração das ações de saúde

indígena com a política de recursos hídricos do estado do Ceará.

Palavras-chave: Escassez hídrica, Poços profundos, Povos indígenas, Semiárido, Segurança hídrica

RESÚMEN

La escasez de agua es uno de los principales desafíos que enfrentan las comunidades indígenas en la región semiárida de Brasil, especialmente en el sertão central de Ceará. Este estudio analizó la disponibilidad de agua en aldeas indígenas ubicadas en los municipios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Tamboril y Santa Quitéria, bajo la jurisdicción del Distrito Sanitario Especial Indígena de Ceará (DSEI-CE). Correlacionó las variaciones en el caudal de agua de pozos profundos a lo largo del tiempo con la frecuencia de decretos municipales de calamidad pública debido a sequías y períodos secos. Se sistematizaron los datos de monitoreo de los pozos instalados en las aldeas, complementados con información oficial sobre precipitaciones y declaraciones de emergencia hídrica en la región. Los resultados muestran una tendencia a la reducción del caudal promedio de los pozos, especialmente durante los períodos de mayor recurrencia de sequías prolongadas, lo que intensifica la vulnerabilidad hídrica y compromete el abastecimiento humano y el bienestar de las poblaciones indígenas. La correlación entre el estiaje y el aumento en la emisión de decretos de emergencia confirma la interdependencia entre los factores ambientales e institucionales en la gestión del agua. Este escenario refuerza la necesidad de políticas públicas específicas para la seguridad hídrica en los territorios indígenas, incluyendo estrategias para diversificar las fuentes de agua, fortalecer la gestión comunitaria e integrar mejor las iniciativas de salud indígena con la política de recursos hídricos del estado de Ceará.

Palabras clave: Escasez hídrica, Pozos profundos, Pueblos indígenas, Semiárido, Seguridad hídrica

ABSTRACT

Water scarcity is one of the main challenges faced by Indigenous communities in Brazil's semiarid region, especially in the central backlands of Ceará. This study analyzed water availability in Indigenous villages located in the municipalities of Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Tamboril, and Santa Quitéria, under the jurisdiction of the Special Indigenous Health District of Ceará (DSEI-CE). It correlated variations in water flow from deep wells over time with the frequency of municipal decrees of public calamity due to drought and dry spells. Monitoring data from wells installed in the villages were systematized, supplemented by official information on rainfall and water emergency declarations in the region. The results show a trend toward a reduction in average well flow, especially during periods of greater recurrence of prolonged droughts, which intensifies water vulnerability and compromises human supply and the well-being of Indigenous populations. The correlation between low water flow and increased issuance of emergency decrees confirms the interdependence between environmental and institutional factors in water management. This scenario reinforces the need for specific public policies for water security in Indigenous territories, including strategies to diversify water sources, strengthen community management, and better integrate Indigenous

health initiatives with the state of Ceará's water resources policy.

Keywords: Water scarcity, Indigenous peoples, Semiarid, Deep wells, Water security.

INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino é caracterizado por condições climáticas adversas, com chuvas irregulares, longos períodos de estiagem e altas taxas de evapotranspiração, fatores que comprometem significativamente a segurança hídrica das populações rurais. Segundo o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2023), cerca de 28 milhões de pessoas vivem na região, das quais uma parcela significativa reside em áreas rurais com acesso limitado à água potável, evidenciando a vulnerabilidade hídrica e a necessidade de políticas públicas voltadas à segurança hídrica. Esse cenário tende a se agravar com as mudanças climáticas, uma vez que o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que o Nordeste brasileiro está entre as áreas mais vulneráveis do país aos impactos do aquecimento global, com projeções de intensificação das secas, maior variabilidade das chuvas e aumento das temperaturas médias, o que agrava ainda mais os riscos à disponibilidade e qualidade da água (IPCC 2022, 12.3; 2023, 14).

Entre os grupos mais vulneráveis, as comunidades indígenas enfrentam desafios ainda mais complexos devido à dependência predominante de fontes subterrâneas de abastecimento, à limitada infraestrutura hídrica disponível e à escassez de investimentos em saneamento e gestão de recursos hídricos em seus territórios (Dávalos et. Al, 2020). De acordo com o Censo Demográfico de 2022, 69,1% da população indígena residente em domicílios particulares permanentes convivem com pelo menos uma situação de precariedade ou ausência de saneamento básico relacionada ao abastecimento de água, esgotamento sanitário ou manejo de resíduos sólidos (IBGE, 2022).

No estado do Ceará, especificamente nas regiões de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Tamboril e Santa Quitéria, a situação é agravada pela recorrência de decretos municipais de calamidade por seca e estiagem, evidenciando a intensidade e frequência dos impactos da variabilidade climática sobre os meios de subsistência dessas populações. A escassez hídrica nessas áreas compromete práticas agrícolas, saúde pública, segurança alimentar e a manutenção de hábitos culturais tradicionais das aldeias.

Diante desse contexto, torna-se essencial compreender como a disponibilidade hídrica

se comporta ao longo do tempo, sobretudo em fontes críticas como poços profundos, que representam a principal garantia de abastecimento para muitas dessas comunidades. A perfuração de poços em regiões sedimentares é uma alternativa importante, que deve ser incentivada juntamente com a ampliação do programa de construção de cisternas rurais, especialmente voltado às comunidades carentes.

O presente estudo busca analisar a evolução da vazão desses poços em aldeias indígenas do DSEI Ceará, os dados de precipitação e sua relação com os decretos de emergência hídrica, oferecendo uma visão integrada do fenômeno da escassez de água em territórios tradicionais. Os resultados esperados visam não apenas subsidiar o planejamento e a gestão local de recursos hídricos, mas também contribuir para o debate sobre políticas públicas e estratégias de mitigação da escassez hídrica no semiárido, promovendo soluções mais adequadas às necessidades específicas das populações indígenas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em aldeias indígenas do sertão cearense, abrangendo os municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Tamboril e Santa Quitéria. Para contextualizar espacialmente a pesquisa, foi elaborado o mapa da área de estudo (Figura 1), com a localização das 35 aldeias, permitindo visualizar a distribuição das comunidades e sua relação com os municípios.

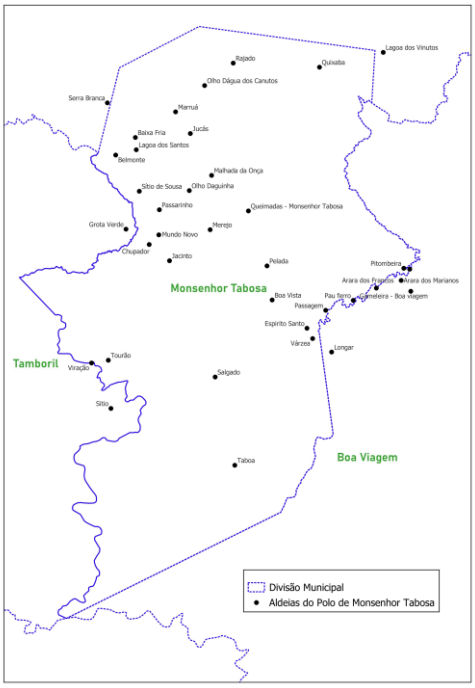


Figura 1- Mapa da área de estudo, abrangendo os municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Tamboril e Santa Quitéria, com a localização das 35 aldeias indígenas investigadas. Fonte: Elaboração própria, 2025.

A metodologia adotada envolveu múltiplas etapas complementares:

1)Levantamento de dados de vazão de poços profundos monitorados pelo DSEI Ceará entre os anos de 2020 e 2025, considerando as diferentes aldeias da região.

2)Análise documental de decretos municipais de situação de emergência ou estado de calamidade pública por seca e estiagem, obtidos em bases oficiais do Governo do Estado do Ceará e da Defesa Civil Nacional, a fim de identificar a frequência e a gravidade dos eventos críticos.

3)Análise dos dados pluviométricos do município de Monsenhor Tabosa, obtidos junto à estação meteorológica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Essa estação abrange também os municípios limítrofes de Boa Viagem, Tamboril e Santa Quitéria, permitindo associar a variação pluviométrica regional ao comportamento das vazões dos poços.

4)Tratamento e sistematização dos dados, relacionando as variações na disponibilidade hídrica dos poços com a incidência de decretos, de modo a evidenciar padrões e tendências.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) Ceará é responsável pela atenção à saúde de diversas etnias indígenas no estado, incluindo aquelas localizadas em regiões do sertão. O Plano Distrital de Saúde Indígena do Ceará (2024-2027) (DSEI/CE, 2024), destaca a presença de comunidades indígenas em Polos Base que abrangem áreas do sertão, como a região dos Inhamuns, onde Crateús e Monsenhor Tabosa estão inseridos. A vulnerabilidade dessas comunidades à escassez hídrica é acentuada pela dependência de fontes de água que são diretamente impactadas pelas variações climáticas e pela limitada infraestrutura de saneamento.

Vazão de Poços Profundos e Histórico de Secas

A análise da precipitação em Monsenhor Tabosa entre 2021 e 2025 revela um padrão característico do semiárido: chuvas concentradas em poucos meses, seguidas por longos períodos de estiagem. Mesmo em anos com episódios de precipitação mais elevada, a irregularidade e a alta evapotranspiração reduzem a eficiência da recarga dos aquíferos, limitando a recuperação da vazão dos poços profundos.

Como mostra a Figura 2, a disponibilidade de água subterrânea apresentou oscilações significativas. Aldeias como Gameleira tiveram redução expressiva, de 1.500 L/h em 2021 para 700 L/h em 2023, e Longar caiu de 4.500 L/h em 2022 para 710 L/h em 2024. Em contrapartida, Várzea dos Bentos manteve maior estabilidade, variando de 3.700 L/h em 2021 para 5.290 L/h em 2023, com leve queda em 2025 (4.730 L/h). A média geral de vazão confirma a tendência de declínio, passando de 3.049 L/h em 2024 para 3.009 L/h em 2025.

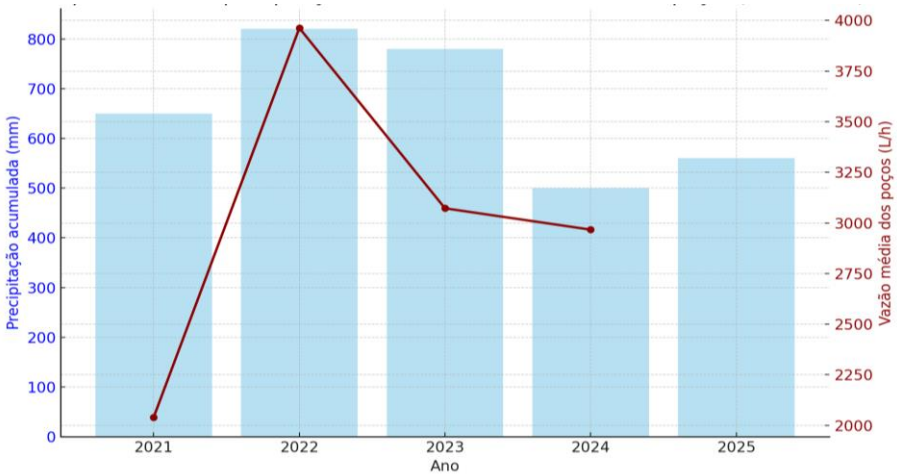


Figura 2- Comparativo entre a precipitação acumulada anual (barras azuis) e a vazão média dos poços profundos (linha vermelha) em aldeias de Monsenhor Tabosa, no período de 2021 a 2025.

A análise de chuvas e vazão dos poços evidencia que a irregularidade pluviométrica impacta diretamente a disponibilidade hídrica (Figura 2). Em 2022, maiores precipitações elevaram temporariamente a vazão em Longar (4.500 L/h) e Jacinto 1 (2.100 L/h), mas a seca nos anos seguintes reduziu os valores a 710 L/h e 1.930 L/h em 2024, respectivamente. Chuvas isoladas em 2023 não recuperaram vazões em poços como Gameleira (700 L/h), evidenciando a baixa recarga dos aquíferos cristalinos.

Decretos de Calamidade por Seca e Estiagem

Os municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem e Tamboril estão em região semiárida, caracterizada por longos períodos secos que comprometem a recarga dos aquíferos e a disponibilidade hídrica. Entre 2019 e 2025, diversos decretos reconheceram situação de emergência devido à estiagem e à seca, buscando minimizar os impactos humanos, ambientais e econômicos. A Tabela 1 abaixo apresenta o histórico desses decretos.

Tabela 1- Histórico dos decretos de calamidade pública por seca e estiagem nos municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem e Tamboril (2019–2025). Dados extraídos do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR).

Código IBGE	Município	Nº do Decreto	Data do Decreto	Desastre	SE/ ECP	Nº da Portaria	Data da Portaria
2302404	Boa Viagem	33.047	26/04/2019	SECA	SE	1.758	19/07/2019
2308609	Monsenhor Tabosa	33.047	26/04/2019	SECA	SE	1.758	19/07/2019
2313203	Tamboril	33.109	25/06/2019	SECA	SE	1.832	30/07/2019
2302404	Boa Viagem	33.317	24/10/2019	SECA	SE	2.721	20/11/2019
2308609	Monsenhor Tabosa	33.317	24/10/2019	SECA	SE	2.721	20/11/2019
2313203	Tamboril	33.419	30/12/2019	SECA	SE	76	16/01/2020
2308609	Monsenhor Tabosa	33.609	02/06/2020	SECA	SE	1756	22/06/2020
2313203	Tamboril	33.659	08/07/2020	SECA	SE	2216	18/08/2020
2308609	Monsenhor Tabosa	33.851	21/12/2020	SECA	SE	62	13/01/2021
2308609	Monsenhor Tabosa	29/2021	30/06/2021	ESTIAGEM	SE	2022	30/08/2021
2302404	Boa Viagem	083/2021	13/07/2021	ESTIAGEM	SE	2315	15/09/2021
2313203	Tamboril	68	23/09/2021	SECA	SE	2.640	19/10/2021
2308609	Monsenhor Tabosa	44/2021	22/12/2021	ESTIAGEM	SE	3416	30/12/2021
2302404	Boa Viagem	178/2022	03/02/2022	ESTIAGEM	SE	667	07/03/2022
2308609	Monsenhor Tabosa	57/2022	24/06/2022	ESTIAGEM	SE	2331	19/07/2022
2302404	Boa Viagem	257/2022	16/08/2022	ESTIAGEM	SE	2891	21/09/2022
2303709	Monsenhor Tabosa	75	16/01/2023	ESTIAGEM	SE	536	30/01/2023
2302404	Boa Viagem	011/2023	13/02/2023	ESTIAGEM	SE	1102	16/03/2023
2302404	Boa Viagem	080/2023	08/08/2023	ESTIAGEM	SE	2902	12/09/2023
2303709	Monsenhor Tabosa	95	16/12/2023	ESTIAGEM	SE	462	06/02/2024

2302404	Boa Viagem	020/2024	29/01/2024	ESTIAGEM	SE	731	01/03/2024
2302404	Boa Viagem	012	28/01/2025	ESTIAGEM	SE	356	06/02/2025

SE: Situação de emergência/ ECP: Estado de Calamidade Pública

A correlação entre a baixa vazão e a decretação de emergências hídricas reforça a influência das condições climáticas. Monsenhor Tabosa registrou decretos de calamidade e situação de emergência em 2020 e 2023, anos em que diversos poços apresentaram desempenho reduzido, comprometendo o abastecimento das aldeias. Esse cenário evidencia a vulnerabilidade estrutural da região, marcada pela forte dependência da água subterrânea em aquíferos cristalinos de baixa recarga.

Outro indicador da escassez hídrica em Monsenhor Tabosa é o Índice Municipal de Alerta (IMA) (IPECE, 2024), ferramenta que avalia a vulnerabilidade dos municípios cearenses frente a desafios climáticos, agrícolas e sociais, considerando fatores como produtividade agrícola, pluviometria e aridez.

A tabela 2 apresenta o histórico de classificações dos municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem e Tamboril nos últimos cinco anos, evidenciando áreas de alta e média-alta vulnerabilidade. Monsenhor Tabosa, exceto em 2024, manteve predominantemente a classificação de alta vulnerabilidade, sendo o município mais crítico entre 2020 e 2022.

Tabela 2- Histórico das classificações do Índice Municipal de Alerta (IMA) para os municípios de Monsenhor Tabosa, Boa Viagem e Tamboril (2020–2024), evidenciando níveis de vulnerabilidade climática, agrícola e social. Fonte: IPECE (2024).

Código IBGE	**Município**	**Classes de Vulnerabilidade segundo o IMA**				
		2020	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
2308609	Monsenhor Tabosa	Alta Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade
2302404	Boa Viagem	Alta Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade
2313203	Tamboril	Média-Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade	Média-Alta Vulnerabilidade

Portanto, os resultados indicam que a irregularidade climática, somada à recorrência de secas prolongadas, intensifica a pressão sobre os poços profundos e amplia o risco de insegurança hídrica nas comunidades indígenas. Tais evidências reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas à diversificação de fontes, ao monitoramento sistemático da vazão

e ao fortalecimento da gestão comunitária da água, de modo a aumentar a resiliência frente aos eventos extremos de seca e estiagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escassez hídrica nas aldeias indígenas do sertão do DSEI Ceará está diretamente ligada à dinâmica da vazão dos poços profundos, à recorrência de decretos de calamidade e às variações pluviométricas analisadas ao longo do período estudado. A dependência da água subterrânea enfrenta desafios como baixa vazão, qualidade comprometida e necessidade de investimentos em infraestrutura e tratamento.

A vulnerabilidade socioeconômica das comunidades agrava a situação, tornando essenciais políticas de saneamento rural que incluam perfuração e manutenção de poços, tratamento eficaz da água e sistemas de monitoramento. Estratégias de convivência com o semiárido, integrando conhecimentos tradicionais e tecnologias inovadoras, são fundamentais para garantir a resiliência hídrica e o direito à água.

A análise da vazão de poços, das precipitações e dos decretos de calamidade evidencia a vulnerabilidade hídrica das aldeias atendidas pelo DSEI Ceará e reforça a necessidade de políticas públicas integradas que priorizem a diversificação das fontes de abastecimento, o fortalecimento da gestão comunitária da água e a integração entre saúde indígena, defesa civil e política estadual de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Defesa Civil. 2025. *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID*. https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/.

Dávalos, Nelson Eduardo, et al. 2020. Desafios do clima para os povos indígenas: vulnerabilidade socioecológica na região do Submédio da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco/Brasil. *Revista Vínculos* 17 (1): 42–59.

DSEI Ceará. 2024. *Plano Distrital de Saúde Indígena do Ceará (2024-2027).* Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/sesai/planos-distritais-2024-2027/plano-distrital-ceara/view.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2022: indígenas: primeiros resultados do universo.* Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2023.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). 2024. *Índice Municipal de Alerta / 2024*. Fortaleza – Ceará: IPECE. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/indice-municipal-de-alerta/

Instituto Nacional do Semiárido (INSA). 2023. *O Semiárido Brasileiro*. https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro.

IPCC. 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama. Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

IPCC. 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report.* Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Core Writing Team, H. Lee, and J. Romero. Geneva: IPCC. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035241

VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO – IET DO RESERVATÓRIO ROSÁRIO LOCALIZADO NA ZONA RURAL DE LAVRAS DA MANGABEIRA - CE

VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO – IET DEL EMBALSE DE ROSÁRIO UBICADO EN LA ZONA RURAL DE LAVRAS DA MANGABEIRA – CE

VARIATION OF THE TROPHIC STATE INDEX – TSI OF THE ROSÁRIO RESERVOIR LOCATED IN THE RURAL AREA OF LAVRAS DA MANGABEIRA - CE

Germário Araújo[1], Maria Izabel Andrade[2], Janaína Andrade[3] Mira de Lima[4]

[1] Doutor em Engenharia Civil, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, germario@ifce.edu.br, 0000-0002-3388-0265;
[2]Estudante do Curso Técnico em Controle Ambiental, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, izabelandrade2828@gmail.com, 0009-0000-6069-6415;
[3]Mestranda em Meio Ambiente IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, janaina.andrade03@aluno.ifce.edu.br, 0009-0002-3680-6121;
[4]Doutora em Química Biológica pela URCA- Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, mira.raya@ifce.edu.br, 0000-0002-1736-7488.

Eixo Temático 01 – Mudanças Climáticas
Efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em áreas rurais.

Eje Temático 01 – Cambio Climático
Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en zonas rurales.

Thematic Axis 01 – Climate Change
Effects of climate change on water availability in rural areas.

RESUMO

Este estudo investigou a dinâmica do estado trófico do reservatório Rosário, um corpo d'água de uso múltiplo situado na sub-bacia do rio Salgado, no estado semiárido do Ceará, Brasil. A avaliação do Índice de Estado Trófico (IET) é uma ferramenta de diagnóstico essencial, pois quantifica o nível de eutrofização, fenômeno intrinsecamente ligado ao lançamento de efluentes e outras atividades degradantes em sua bacia de contribuição. O objetivo principal foi caracterizar o estado trófico do ecossistema aquático e analisar a influência das flutuações de volume, decorrentes das condições hidrológicas, sobre seus parâmetros de qualidade. A metodologia baseou-se na análise de uma série temporal de dados (maio de 2019 a maio de 2025) fornecida pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH). Os resultados revelaram que um maior volume de água no reservatório não necessariamente tem-se a melhoria da qualidade da água, sugerindo que processos como o carreamento de nutrientes e matéria orgânica pela vazão superficial (escoamento superficial) e a ressuspensão de sedimentos do fundo podem exercer uma grande influência. A análise de frequência das classificações tróficas demonstrou a predominância do estado **Eutrófico**, com 42,0% das ocorrências, seguido por Mesotrófico (26,3%), Oligotrófico (21,1%) e Hipereutrófico (10,5%), indicando um persistente enriquecimento de nutrientes no sistema.

Palavras-chave: Eutrofização, qualidade da água, Recursos Hídricos, Semiárido.

RESÚMEN

Este estudio investigó la dinámica del estado trófico del embalse de Rosário, un cuerpo de agua multipropósito ubicado en la subcuenca del río Salgado en el estado semiárido de Ceará, Brasil. El Índice de Estado Trófico (IST) es una herramienta de diagnóstico esencial porque cuantifica el nivel de eutrofización, un fenómeno intrínsecamente ligado a la descarga de efluentes y otras actividades degradantes en su cuenca. El objetivo principal fue caracterizar el estado trófico del ecosistema acuático y analizar la influencia de las fluctuaciones de volumen, resultantes de las condiciones hidrológicas, en sus parámetros de calidad. La metodología se basó en el análisis de una serie temporal de datos (mayo de 2019 a mayo de 2025) proporcionados por la Compañía de Gestión de Recursos Hídricos de Ceará (COGERH). Los resultados revelaron que un mayor volumen de agua en el embalse no necesariamente conduce a una mejor calidad del agua, lo que sugiere que procesos como el transporte de nutrientes y materia orgánica por flujo superficial (escorrentía superficial) y la resuspensión de sedimentos del fondo pueden tener un impacto significativo. El análisis de frecuencia de las clasificaciones tróficas demostró el predominio del estado eutrófico, con 42,0% de ocurrencias, seguido del mesotrófico (26,3%), oligotrófico (21,1%) e hipereutrófico (10,5%), indicando un enriquecimiento persistente de nutrientes en el sistema.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, Planificación municipal

ABSTRACT

This study investigated the trophic state dynamics of the Rosário Reservoir, a multipurpose water body located in the Salgado River sub-basin in the semiarid state of Ceará, Brazil. The Trophic State Index (TSI) is an essential diagnostic tool because it quantifies the level of eutrophication, a phenomenon intrinsically linked to the discharge of effluents and other degrading activities in its basin. The main objective was to characterize the trophic state of the aquatic ecosystem and analyze the influence of volume fluctuations, resulting from hydrological conditions, on its quality parameters. The methodology was based on the analysis of a time series of data (May 2019 to May 2025) provided by the Ceará Water Resources Management Company (COGERH). The results revealed that a greater volume of water in the reservoir does not necessarily lead to improved water quality, suggesting that processes such as the transport of nutrients and organic matter by surface flow (surface runoff) and the resuspension of bottom sediments may have a significant impact. The frequency analysis of trophic classifications demonstrated the predominance of the eutrophic state, with 42.0% of occurrences, followed by mesotrophic (26.3%), oligotrophic (21.1%), and hypereutrophic (10.5%), indicating persistent nutrient enrichment in the system.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Semiarid, Municipal planning

INTRODUÇÃO

O trópico semiárido brasileiro, que abrange extensas áreas do Nordeste do país, caracteriza-se por condições climáticas adversas, como elevadas temperaturas, baixos índices pluviométricos e acentuadas taxas de evapotranspiração. Tais fatores exacerbam a escassez hídrica, tornando a construção de reservatórios de acumulação, regionalmente denominados açudes, uma estratégia histórica e fundamental para garantir a segurança hídrica e viabilizar os múltiplos usos da água ao longo do ano (Lima, 2019).

Esses reservatórios são de importância estratégica para o desenvolvimento socioeconômico regional, atendendo a demandas essenciais como o abastecimento humano, a dessedentação animal, a irrigação e o lazer. Desta forma, constituem ecossistemas artificiais de elevado valor econômico, social e cultural (Freitas et al., 2011).

Contudo, a qualidade hídrica desses mananciais tem sofrido crescente deterioração, um fenômeno diretamente associado à deficiência na infraestrutura de saneamento básico. O lançamento de esgotos domésticos e resíduos sólidos sem o devido tratamento nas redes de drenagem naturais, que consequentemente aportam nos reservatórios, configura-se como a principal via de contaminação. Tais efluentes introduzem uma diversidade de poluentes aos sistemas aquáticos por meio de fontes pontuais e difusas, resultando em significativos impactos ambientais.

Dentre os impactos decorrentes, destaca-se o processo de eutrofização, resultante do enriquecimento excessivo do corpo d'água por nutrientes, notadamente compostos de nitrogênio e fósforo. Este aporte nutricional anômalo induz a proliferação exacerbada de produtores primários, como o fitoplâncton. Tal processo é particularmente acentuado em ecossistemas lênticos, cujas características hidrodinâmicas, como o prolongado tempo de residência da água, favorecem a acumulação de nutrientes. O crescimento excessivo da biomassa algal desencadeia severos desequilíbrios ecológicos, incluindo a depleção de oxigênio dissolvido na coluna d'água, a perda de biodiversidade e o comprometimento da funcionalidade do manancial.

No contexto cearense, as fontes preponderantes de nutrientes incluem o lançamento de efluentes domésticos não tratados, o carreamento de partículas de solo oriundas de processos erosivos, a atividade pecuária no entorno dos reservatórios e a prática de piscicultura intensiva. A eutrofização no semiárido é agravada pela baixa taxa de renovação hídrica, que varia interanualmente em função da intensidade do regime pluviométrico (Paulino et al., 2013; Araujo et al., 2016).

Para a quantificação do grau de trofia de um ecossistema aquático, utiliza-se o Índice de Estado Trófico (IET), uma ferramenta de classificação que se baseia em parâmetros limnológicos chave, como as concentrações de fósforo total e clorofila-a, e, secundariamente, a transparência da água, aferida pelo disco de Secchi (Lamparelli, 2004). O IET permite, assim, o monitoramento da qualidade da água e subsidia a formulação de estratégias de manejo, visando à mitigação dos impactos de fatores morfométricos, hidrológicos, climáticos e antrópicos (Pacheco et al., 2016).

Dentre os diversos modelos para o cálculo do IET, o proposto por Carlson (1977) é amplamente difundido, servindo de base para adaptações regionais. No Brasil, considerando as particularidades de ecossistemas tropicais, destacam-se as contribuições de Toledo Jr. et al. (1983), Lamparelli (2004) e Cunha et al. (2013).

O presente estudo objetivou avaliar o Índice de Estado Trófico (IET) do Reservatório Rosário, localizado no município de Lavras da Mangabeira, Ceará, Brasil. Para tanto, analisou-se a evolução temporal do seu estado trófico no período de maio de 2019 a maio de 2025, utilizando a série histórica de dados de monitoramento disponibilizada pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) em seu Portal Hidrológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

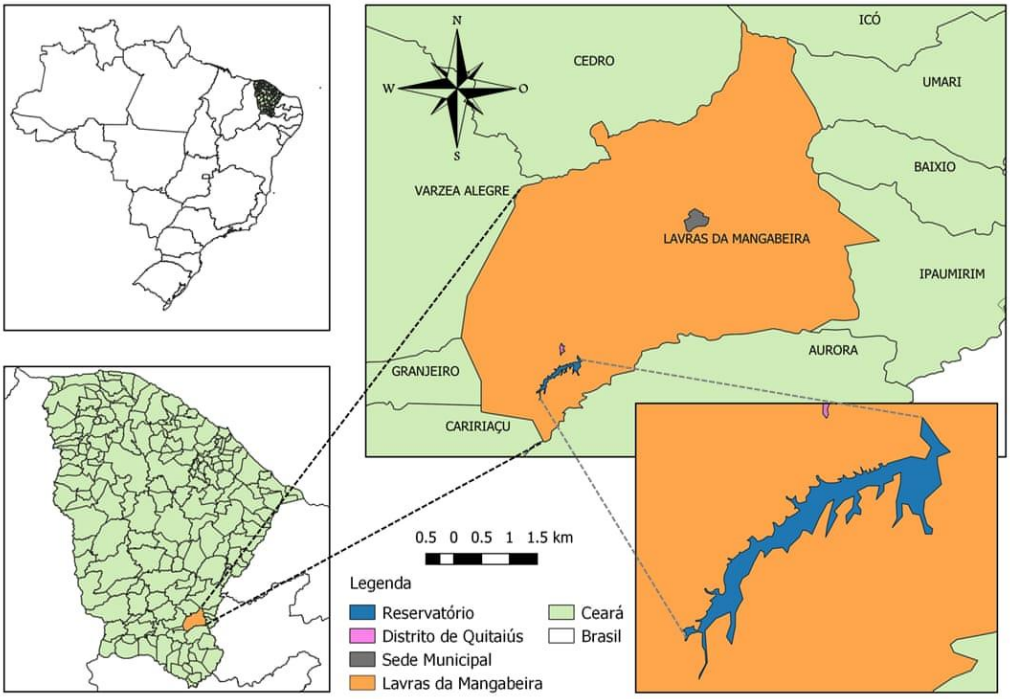
Área de estudo

A presente área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Açude Rosário, um reservatório estratégico situado no município de Lavras da Mangabeira, estado do Ceará. O barramento, projetado e executado pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) em colaboração com a Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA), teve sua construção iniciada no final da década de 1990 e foi concluído no ano de 2001. A principal função deste reservatório é o represamento do rio Salgado, integrante da sub-bacia hidrográfica homônima.

As finalidades primordiais do Açude Rosário, conforme estabelecido pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2011), são a garantia de recursos hídricos para a irrigação de áreas adjacentes e o abastecimento humano da sede municipal de Lavras da Mangabeira e do distrito de Quitaíus. Tais usos múltiplos ressaltam a importância do reservatório para a segurança hídrica e o desenvolvimento socioeconômico da região.

A bacia de drenagem do Açude Rosário abrange uma área de 336,97 km² e está inserida no sistema hidrográfico do rio Salgado. Este, por sua vez, figura como o principal coletor da sub-

bacia. Sua nascente localiza-se na Chapada do Araripe, uma área de relevo significativo no município do Crato, Ceará. O rio Salgado descreve uma trajetória no sentido sul-norte, percorrendo uma considerável extensão até sua confluência com o rio Jaguaribe, nas



proximidades do município de Icó. A dinâmica fluvial e a capacidade de acumulação do Açude Rosário são, portanto, diretamente influenciadas pelas características hidrológicas e climáticas que atuam sobre a bacia do rio Salgado a montante do barramento (COGERH, 2011). Na Figura 1 é mostrada a localização da cidade de Lavras da Mangabeira e do Reservatório Rosário.

Figura 1. Mapa de localização de Lavras da Mangabeira, Estado do Ceará-Brasil e do Reservatório Rosário.
Fonte: Adaptado de Moura Filho e Araújo, 2020.

Dados utilizados na pesquisa

Para a presente investigação, foram utilizados dados secundários de precipitação, volume hídrico, e das variáveis limnológicas de fósforo total e clorofila-a, provenientes do Portal Hidrológico, sistema de dados gerido pelo Governo do Estado do Ceará em parceria com a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

A análise abrangeu uma série temporal de maio de 2019 a maio de 2025. A avaliação do estado trófico dos ecossistemas aquáticos estudados foi fundamentada nos dados de fósforo total

e clorofila-a, coletados sistematicamente pela COGERH. A classificação trófica foi estabelecida mediante a aplicação do Índice de Estado Trófico (IET), conforme o modelo original de Carlson (1997) e a adaptação de Cunha et al. (2013).

Para a quantificação do grau de trofia, foram calculados os seguintes índices: o IET para clorofila-a (IET(Cla), Equação 1), o IET para fósforo total (IET(PT), Equação 2) e o índice médio (IETme´dio), obtido pela média aritmética dos valores mensais de IET(Cla) e IET(PT), conforme a Equação 3.

$$IETPT = 10 \times (6 - ((-0{,}2512 \times (ln\ Cla) + 0{,}842257)/ln\ 2)) \quad (1)$$

$$IETPT = 10 \times (6 - ((-0{,}27637 \times (ln\ PT) + 1{,}229766)/ln\ 2)) \quad (2)$$

$$IETmédio = [IET_{PT} + IET_{Cla}] / 2 \quad (3)$$

onde
ln Cla: Logaritmo natural da clorofila a ($mg.m^{-3}$)
ln PT: Logaritmo natural de fósforo total ($mg.L^{-1}$)

A classificação do estado trófico do reservatório foi utilizada o método de Lamparelli (2004) em comparação com o IET determinado. Conforme mostrada no Quadro 1.

Quadro 1. Classificação do estado trófico para o reservatório segundo Cunha *et.al.* modificado

Estado Trófico	Ponderação	P-total – P (mg/m³)	Clorofila-a (mg/m³)
Ultraoligotófrico	IET ≤ 51,1	P ≤ 15,9	Cl-a ≤ 2,0
Oligotrófico	51,2 < IET ≤ 53	16 < P ≤ 23,8	2,1 < Cl-a ≤ 3.9
Mesotrófico	53,2 < IET ≤ 55,7	23,9 < P ≤ 36,7	4,0 < Cl-a ≤ 10,0
Eutrófico	55,8 < IET ≤ 58,1	36,8 < P ≤ 63,7	10,1 Cl-a ≤ 20,2
Supereutrófico	58,2 < IET ≤ 59	63,8 < P ≤ 77,6	20,3 < Cl-a ≤ 27,1
Hiperreutrófico	IET > 59,1	77,7 > P	27,2 < Cl-a

Fonte: Cunha *et.al*. 2013

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados disponibilizados, foi possível observar o comportamento do IET ao longo do período estudado, como também a influência do volume do reservatório, como mostra

a Figura 2. Percebeu-se um comportamento variável ao londo dos 6 anos avaliados, sendo obtidos IET que variaram de oligotrófico (melhor qualidade da água) e hipereutrófico (pior qualidade da água), mesotrófcos e eutróficos (com qualidade intermediária da água). Sendo 42,10% para o nível de IET eutrófico, 10,50% para o IET hipereutrófico, 21,05% para o IET mesotrófico, e 26,30% para o IET oligotrófico.

O volume do reservatório variou de 36%, no mês de novembro de 2020, a 100% (totalmente cheio) nos meses de fevereiro e maio de 2024, como também em maio de 2025.

Notou-se um comportamento variável ao longo do tempo, considerando o volume e o nível de estado trófico no reservatório, pois nem sempre os menores volumes no reservatório apresentavam os piores Índices de Estado Trófico, como também, os maiores volumes não apresentaram na sua totalidade os melhores resultados de IET.

Isso pode estar relacionado ao fato de que no período chuvoso apesar do aporte de água para o reservatório, o que contribui na diluição dos poluentes, ocorre também o arraste de material (sedimentos, matéria orgânica, resíduos) alterando a qualidade da água. Um outro fator que pode contribuir também para explicar esse comportamento é a possível ressuspensão do material sedimentado no reservatório, que pode liberar fósforo no lodo de fundo. Este tipo de ressuspensão é denominada carga interna de fósforo e pode alterar os níveis de IET. A ação dos ventos, atividades no açude e na bacia podem contribuir para este fenômeno.

Nos meses de maio de 2019, maio de 2023 e maio de 2025 percebeu-se que o IET foi o Oligotrófico, mostrando uma possível melhora com o maior volume de água no reservatório, no entanto, esse comportamento não foi uniforme no período avaliado, pois nos meses de maio de 2021 e fevereiro de 2023, os volumes nos reservatórios eram elevados, mas o IET calculado apresentou-se como Eutrófico, de qualidade intermediária.

Comparando os resultados com os estudos desenvolvido por Sales 2010; Araujo *et. al.* 2016 que estudaram reservatórios em áreas urbanas, os resultados foram semelhantes, o que reforça a possibilidade de lançamentos de esgotos ser o principal fator na degradação da qualidade da água em reservatórios.

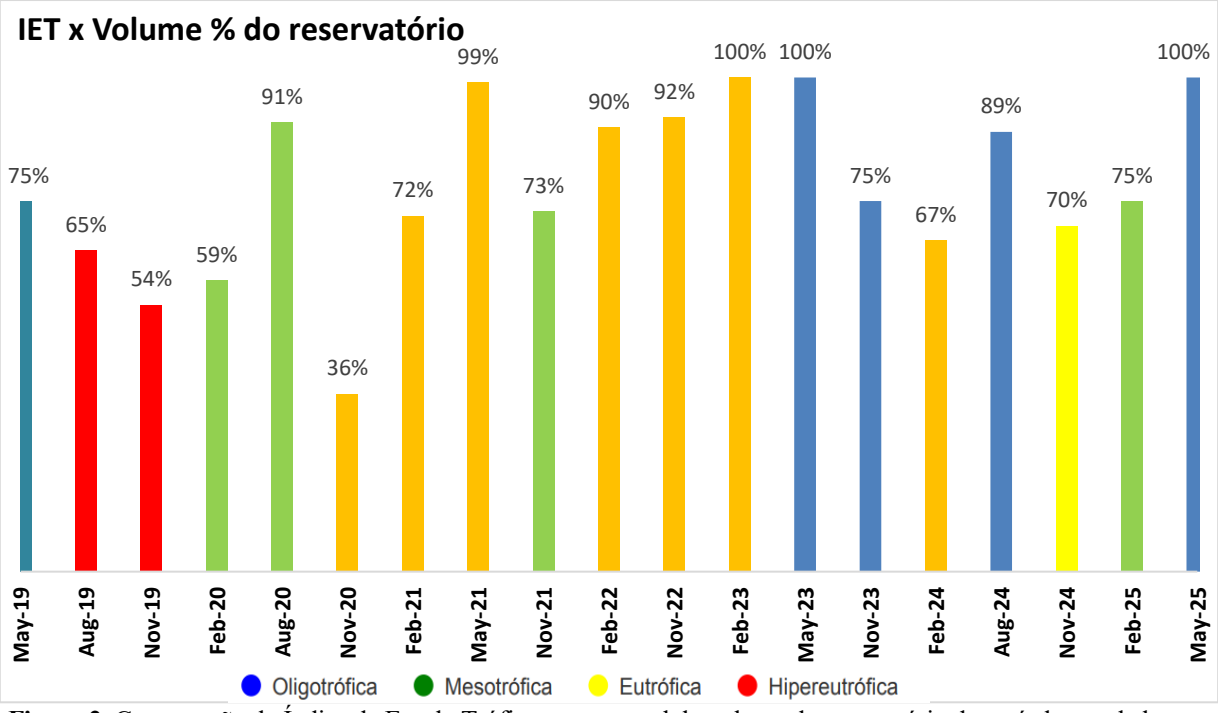


Figura 2. Comparação do Índice de Estado Trófico e percentual do volume do reservatório do período estudado.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que a dinâmica no reservatório é complexa e não mantém um comportamento uniforme em relação ao IET ao longo do tempo, considerando também o volume do reservatório. Esse comportamento variável pode estar atrelado a questão do arraste de material para dentro do açude no período chuvoso, maior volume nos reservatórios ou revolvimento do sedimento no reservatório.

O monitoramento constante é essencial para entendimento da dinâmica dos nutrientes e de outros parâmetros de qualidade da água. A ampliação do saneamento, principalmente no tocante ao esgotamento sanitário na bacia hidrográfica do Rio Salgado, podem contribuir diretamente na qualidade do índice de estádo trófico do reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. M.; NETO, I. E. L.; BECKER, H. Estado trófico em reservatório urbano raso – Estudo de caso: Açude Santo Anastácio, Fortaleza (CE). Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, v. 9, n. 2, p. 212-228, 2016.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH). Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH - campanha maio/2019 a maio/2025. Fortaleza: COGERH, 2025.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). Ecological Engineering, v. 60, p. 126-134, 2013.

FREITAS, F. R. S.; RIGHETTO, A. M.; ATTAYDE, J. L. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semiárido brasileiro. Oecologia Australis, v. 15, n. 3, p. 655-665, 2011.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Portal Hidrológico do Ceará. Disponível em: http://www.hidro.ce.gov.br/. Acesso em: [Inserir a data de acesso].

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIMA, G. R. R. Indicadores de qualidade de água nos reservatórios Acarape do Meio e Gavião. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MOURA FILHO, Hildegardo Martins; ARAÚJO, Germário Marcos. Estado trófico do reservatório Rosário localizado no município de Lavras da Mangabeira-CE, semiárido nordestino. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e623985761, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5761.

PACHECO, C. H. A.; CEBALLOS, B. S. O.; NETO, I. E. L. Uma análise de regressão para determinação do nível de eutrofização de um reservatório do semiárido brasileiro. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, v. 9, n. 2, p. 274-289, 2016.

PAULINO, W. D.; OLIVEIRA, R. R. A.; FREIRE, F. A. Classificação do estado trófico para o gerenciamento de reservatórios no semiárido: a experiência da COGERH no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2013.

SALES, J.W.de.F. Análise Multivariada aplicada na qualidade de água dos principais sistemas lacustres da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. (Dissertação). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2010.

TOLEDO, A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 1983, Camboriú. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1983.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035356

ANÁLISE DA UNIVERSALIZAÇÃO DOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS ÁREAS RURAIS DO BRASIL

ANÁLISIS DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES DE BRASIL

ANALYSIS OF THE UNIVERSALIZATION OF PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEM IN RURAL AREAS OF BRAZIL

Lucas Breno dos Santos[1] e Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[2]

[1]Mestrando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, lucas.breno@ufpe.br, 0009-0002-0232-8408;
[2]Doutor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br, 0000-0003-3475-1454;

Eixo Temático 02 – Saneamento estruturante: Gestão e Políticas Públicas
Desafios na implementação do Marco Legal do Saneamento em áreas rurais.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructural: Gestión y Políticas Públicas
Desafíos em la implementación del Marco Legal de Saneamiento en zonas rurales.

RESUMO

Desafios orçamentários e prioridade política são os principais fatores a serem superados para universalizar o saneamento rural no Brasil. Neste estudo, objetiva-se analisar, no período de 2012 a 2023, o índice de atendimento da população rural (IAR) com rede de abastecimento de água e os investimentos em sistema de abastecimento de água (SAA), relacionando com os déficits de atendimento, avaliando, assim, o impacto e a utilização estratégica dos recursos financeiros perante as necessidades regionais. Desde 2012, mais de 90% dos municípios brasileiros participam da coleta de informações sobre SAA, o que favorece a representatividade da população rural (PR) e urbana (PU). O IAR em 2023 de 58% dos municípios participantes do módulo de SAA do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico foi menor ou igual a 10% o que fez com que os IARs regionais fossem inferiores ao de 2021. Só o Nordeste atingiu os 30% de IAR e o Centro-Oeste não atingiu, se quer, 10%. Contrariamente, os índices de atendimento urbano (IAUs) regionais superaram os 75%, destacando-se o Centro-Oeste, Sul e Sudeste, que ultrapassaram os 90%. Investimentos em infraestruturas em saneamento, desde 2012, são considerados baixos, corroborando para este cenário, principalmente em áreas rurais. A aplicação nem sempre corresponde às reais necessidades das regiões - como no Norte, terceira região com maior déficit rural de SAA e com menor investimento de 2012 a 2021 - ou não se percebem avanços expressivos nos IAR e IAU - como no Nordeste e Sudeste, com as maiores parcelas de investimentos e com os maiores déficits rurais de SAA de 2012 a 2021. O investimento estimado em SAA de 2021 a 2023 é cerca de 46,08% do investido de 2007 a 2020, anos em que Política Nacional de Saneamento foi instituída e revisada, respectivamente, porém, ainda são insuficientes para alcançar a universalização. O estudo evidenciou a lenta expansão do SAA no meio rural, longe de universalizá-lo. Com a gestão e políticas públicas, metas de atendimento e de investimento a curto prazo devem ser definidas e monitoradas, para que o atendimento seja igualitário entre as populações (PR e PU) municipais e entre as regiões.

Palavras-chave: Índice de Atendimento de Água, Acesso a água, Abastecimento Rural, Política de Saneamento, Universalização no meio rural

RESÚMEN

Los desafíos presupuestarios y las prioridades políticas son los principales factores a superar para lograr el saneamiento rural universal en Brasil. Este estudio busca analizar, entre 2012 y 2023, el índice de cobertura de la red de abastecimiento de agua (ISR) y las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua (SAA) de la población rural, relacionándolos con los déficits del servicio y, así, evaluando el impacto y el uso estratégico de los recursos financieros en función de las necesidades regionales. Desde 2012, más del 90 % de los municipios brasileños han participado en la recopilación de datos de SBA, lo que favorece la representación tanto de la población rural (PR) como de la urbana (PU). El ISR en 2023 para el 58% de los municipios participantes en el módulo de SAA del Sistema Nacional de Información de Saneamiento Básico fue menor o igual al 10%, lo que resultó en ISR regionales inferiores a los de 2021. Solo el Nordeste alcanzó el 30% del ISR, y la región Centro-Oeste no llegó ni al 10%. Por el contrario, los índices de servicios urbanos (ISU) regionales superaron el 75%, destacando las regiones Centro-Oeste, Sur y Sudeste, que superaron el 90%. Las inversiones en infraestructura de saneamiento desde 2012 se consideran bajas, lo que corrobora este escenario, especialmente en las zonas rurales. Las inversiones no siempre se corresponden con las necesidades reales de las regiones - como en el Norte, la región con el tercer mayor déficit de SAA rural y la menor inversión entre 2012 y 2021 - o no se observan avances significativos en el ISR ni en los ISU - como en el Nordeste y Sudeste, que registraron las mayores participaciones en la inversión y los mayores déficits de SAA rural entre 2012 y 2021. La inversión estimada en SAA entre 2021 y 2023 representa aproximadamente el 46,08 % de la invertida entre 2007 y 2020, años en que se instituyó y revisó la Política Nacional de Saneamiento, respectivamente. Sin embargo, sigue siendo insuficiente para lograr la universalización. El estudio destacó la lenta expansión del SAA en zonas rurales, lejos de la universalización. Con la gestión y las políticas públicas, es necesario definir y monitorear los objetivos de servicio e inversión a corto plazo para garantizar la equidad en el servicio entre las poblaciones municipales (PR y PU) y entre las regiones.

Palabras clave: Índice de Servicios de Agua, Acceso al agua, Abastecimiento Rural, Política de Saneamento, Universalización en zonas rurales.

ABSTRACT

Budgetary challenges and political priorities are the main factors to be overcome to achieve universal rural sanitation in Brazil. This study aims to analyze, from 2012 to 2023, the rural population's water supply network coverage index (RSI) and investments in water supply systems (WSS), relating them to service deficits and thus assessing the impact and strategic use of financial resources in light of regional needs. Since 2012, more than 90% of Brazilian municipalities have participated in the WSS data collection, which favors the representation of both the rural (RP) and urban (UP) populations. The RSI in 2023 for 58% of the municipalities participating in the WSS module of the National Basic Sanitation Information System was less than or equal to 10%, resulting in lower regional RSIs than in 2021. Only the Northeast reached 30% of the RSI, and the Central-West region didn't even reach 10%. Conversely, regional urban

service indices (USIs) exceeded 75%, with the Central-West, South, and Southeast regions standing out, surpassing 90%. Investments in sanitation infrastructure since 2012 are considered low, corroborating this scenario, especially in rural areas. Investments do not always correspond to the real needs of the regions - as in the North, the region with the third largest rural WSS deficit and the lowest investment from 2012 to 2021 - or significant progress in RSI and USIs is not observed - as in the Northeast and Southeast, which had the largest investment shares and the largest rural WSS deficits from 2012 to 2021. The estimated investment in WSS from 2021 to 2023 is approximately 46.08% of that invested from 2007 to 2020, the years in which the National Sanitation Policy was instituted and revised, respectively. However, it remains insufficient to achieve universalization. The study highlighted the slow expansion of WSS in rural areas, far from universalization. With management and public policies, short-term service and investment targets must be defined and monitored to ensure equitable service among municipal populations (RP and UP) and across regions.

Keywords: Water Service Index, Access to water, Rural Supply, Sanitation Policy, Universalization in rural areas

INTRODUÇÃO

A Lei nº 14.026/2020 – Novo Marco Legal do Saneamento Básico (SB) – que revisou a Lei nº 11.445/2007 – Instituidora da Política Nacional de SB – definiu metas de universalização aos contratos de prestação de serviços de abastecimento de água, onde, 99% da população deve ter acesso a água potável até 2033 (Brasil 2020). A universalização havia sito proposta em 2013 pelo Plano Nacional de SB como garantia do direito à saúde. Cumpri-la, principalmente no meio rural é um desafio. População dispersa geograficamente e em áreas de difícil acesso, isoladas das sedes municipais e com limitação de recursos financeiros e de pessoal, são alguns fatores dificultadores dos avanços do saneamento básico rural (SBR). As áreas rurais não são atrativas para iniciativa privada referente a lucro frente aos investimentos necessários, o que pode provocar poucos avanços no SBR (Castro e Cerezini 2023, 68).

O fator orçamentário pode ser considerado o principal desafio a ser superado quando se trata de investimento no SBR. Logo após a Emenda Constitucional nº 95/2016, o orçamento da União ficou mais rígido, havendo mais disputa pelos recursos. Após 2012 os valores investidos em SBR tiveram redução significativa (Castro e Cerezini 2023, 68).

Outro desafio é a prioridade política, pois os valores destinados ao SBR na Lei Orçamentária Anual requerem negociação política entre os poderes Executivo e Legislativo. Muitas vezes é necessário realizar emendas parlamentares para concretização de ações de SBR, com variações significativas a cada ano, e somada a entraves fiscais, o que é mais uma ameaça

para efetivação de políticas como o Plano Nacional de SBR (Castro e Cerezini 2023, 68).

Assim, o objetivo deste estudo é analisar a universalização do sistema de abastecimento de água (SAA) nas áreas rurais no Brasil, a partir do índice de atendimento da população rural com rede de abastecimento de água e os investimentos em SAA, relacionando com os déficits de atendimento, no período de 2012 a 2023, avaliando o impacto do investimento e a utilização estratégica dos recursos financeiros frente as necessidades regionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) calcula o índice atendimento da população total (IAT) e urbana (IAU) com rede de abastecimento de água, enquanto o da população rural (IAR) pode ser calculado a partir de materiais complementares fornecidos pelo SNIS. Já o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), que substituiu o SNIS a partir de 2024, calcula o IAR pela Equação 1. Utilizou-se as Equações 2, 3 e 4 para calculá-lo no período de 2012 a 2021.

$$IAR = \frac{GTA0002}{DFE0003} \, x \, 100 \qquad (1)$$

onde

IAR = Índice de atendimento da população rural com rede de abastecimento de água (%)
GTA0002 = População rural atendida com abastecimento de água (habitantes)
DFE0003 = População rural residente dos municípios com abastecimento de água (habitantes)

$$PR = G12a - G06a \qquad (2)$$

onde
PR = População rural residente dos municípios com abastecimento de água (habitantes)
G12a = população total residente dos municípios com abastecimento de água, segundo o IBGE (habitantes)
G06a = população urbana residente dos municípios com abastecimento de água (habitantes)

$$PRA = AG001 - AG026 \qquad (3)$$

onde
PRA = População rural atendida com abastecimento de água (habitantes)
AG001 = População total atendida com abastecimento de água (habitantes)
AG026 = População urbana atendida com abastecimento de água (habitantes)

$$IAR = \frac{PRA}{PR} \, x \, 100 \qquad (4)$$

onde
IAR = Índice de atendimento da população rural com rede de abastecimento de água (%)
PRA = População rural atendida com abastecimento de água (habitantes)
PR = População rural residente dos municípios com abastecimento de água (habitantes)

Em 2022, os IAUs não foram calculados, pois, o AG026 do referido ano, oriundo do censo demográfico, foi divulgado após a consolidação dos resultados do SNIS (MCID 2023).

Assim, não é possível calcular o IAR de 2022, sendo excluído do estudo. Após determinação do IAR no período de 2012 a 2021, utilizou-se a regressão linear, com modelos linear, exponencial, logarítmico, potência e polinomial de grau 2 a 6, a fim de se obter previsão do ano do alcance dos 99% de atendimento. Os resultados foram avaliados estatisticamente pelos coeficientes R^2, erro médio quadrado (MSE) e erro percentual absoluto médio (MAPE).

Ademais, analisou-se os investimentos em sistema de abastecimento de água (SAA) relacionando com o déficit de acesso da PT, PU e PR, relacionando o investimento e seu impacto regional, sendo possível verificar a sintonia com as reais necessidades. A análise foi realizada em dois períodos: 2012 a 2016 e 2017 a 2021, pois se considera o período de cinco anos como tempo médio de maturação dos investimentos em saneamento básico (MCID 2023).

Por fim, calculou-se os déficits no acesso de abastecimento de água a partir das populações residentes menos as populações atendidas (MCID 2023). Assim, faz-se o cálculo do percentual de cada região no déficit do país nas áreas urbanas, rurais e total e do percentual de investimento para cada região, que considerou apenas aqueles aplicados no SAA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A população rural (PR) do Brasil vem diminuindo, destacando-se o Sul e Sudeste com declínio progressivo, conforme Figura 1(a), assim como a proporção da PR frente a população total (PT), que em 2022 não superou os 25%, conforme Figura 1(b) (IBGE 2025). A estimativa populacional realizada pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) quando não há censo demográfico no país, sugere retomada do crescimento da população rural em 2023, exceto no Sudeste. A estimativa considera os dados do último censo ou contagem da população, a estimativa anual da PT e a taxa de urbanização. (MCID 2025a).

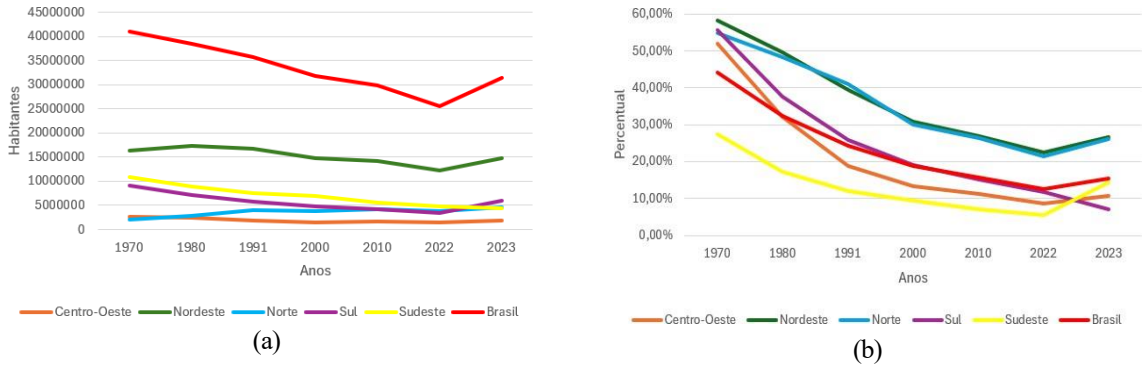


Figura 1. Dados censitários (1970 – 2022) e estimativa SINISA (2023) do Brasil: (a) da População Rural (b) da representatividade da População Rural
Fonte: Elaboração Própria, 2025; IBGE, 2025; IBGE, 2022 e MCID, 2025a.

Os cálculos dos índices de atendimento urbano (IAU), rural (IAR) e total (IAT) com rede de abastecimento de água consideram as estimativas populacionais e não incluem soluções

alternativas, como poços, nascentes, dentre outras (MCID 2023). Sobre elas, as informações são coletas no módulo de Gestão Municipal, uma das inovações do SINISA (MCID 2025a)

Participaram da coleta de informações do SINISA sobre os sistemas de abastecimento de água (SAA) com referência ao ano de 2023, 5.242 municípios, correspondendo a 98,90% da PU e 94,90% da PR do país (MCID 2025a). Ao comparar com o período de 2012 a 2021, a representação da PR em 2023 foi menor em 2012, 2020 e 2021. Ademais, ela foi inferior a da PU em todo período, acentuando-se em 2017. Na Figura 2, ilustra-se a representação da PT, PU e PR a partir da participação dos municípios no SNIS 2012 a 2021, conforme Tabela 1.

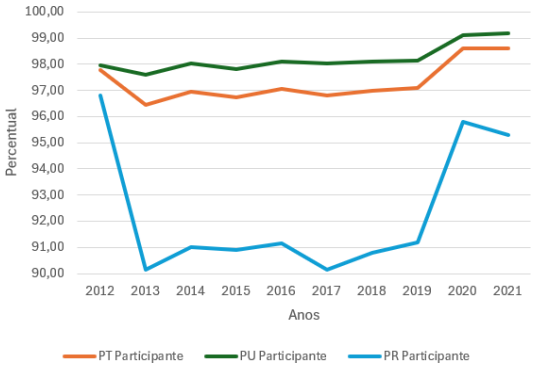


Figura 2. Representação da população total, urbana e rural do Brasil que participaram do SNIS entre 2012 e 2021
Fonte: Elaboração Própria, 2025 e MCID, 2025b.

Tabela 1. Municípios participantes da coleta de informações no SNIS, no período de 2012 a 2021

Regiões	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Centro-Oeste	423	409	426	414	435	428	420	422	443	433
Nordeste	1.624	1.614	1.617	1.626	1.623	1.624	1.633	1.636	1.685	1.686
Norte	361	345	353	354	361	348	349	355	402	400
Sul	1.111	1.113	1.134	1.120	1.144	1.130	1.144	1.159	1.173	1.163
Sudeste	1.553	1.552	1.581	1.565	1.598	1.587	1.590	1.605	1.634	1.630

Fonte: Elaboração Própria (2025) e MCID (2025b).

O Norte, Nordeste e Centro-Oeste registraram os maiores percentuais de ausências nas coletas de informações no SNIS. Desde 2012 o Brasil apresenta 5.570 municípios, sendo distribuído da seguinte forma: centro-oeste (467), nordeste (1.794), norte (450), sul (1.191) e sudeste (1.668). Mesmo a participação dos municípios e/ou de prestadores de serviços ser critério de seleção, hierarquização e liberação de recursos financeiros pelos programas de investimentos em saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional, não se registrou até o momento, a participação integral dos municípios (MCID 2023).

O IAR do país em 2023 foi de 24,24%, enquanto o Centro-Oeste e Norte não atingiram, se quer, 10% e 20%, respectivamente. Realidade bem distinta dos IAUs, pois, todas as regiões superaram os 75%, destacando-se o Centro-Oeste, Sul e Sudeste que ultrapassaram os 90%. O baixo IAR contribui negativamente para o IAT, como no Nordeste, Norte e Sul, que apresentaram diferença entre os IAT e IAU maior que 10%, afastando o país da universalização. O patamar de IAR regional é fruto da situação grave e generalizada nos municípios, mesmo com a Lei nº 14.026/2020. Em 2023, 58% municípios participantes (MP) tiveram IAR menor ou igual a 10%, destacando-se o Centro-Oeste. O IAR de apenas 670 MP

superou os 70%, com destaque para o Nordeste, Sudeste e Sul (MCID 2025a). Na Tabela 2 estão apresentadas informações populacionais e de atendimento, enquanto na Tabela 3 estão apresentadas a quantidade de municípios de acordo com IAR, dados estes referentes a 2023.

Tabela 2. População total, urbana e rural dos municípios participantes do Módulo de Sistema de Abastecimento de Água do SINISA e os respectivos índices de atendimento com rede de abastecimento de água das regiões do Brasil em 2023

Informações	Centro-O.	Nordeste	Norte	Sul	Sudeste
MP	440	1.668	361	1.157	1.616
PT	16.260.190	53.686.244	16.237.419	30.105.126	85.314.539
PU	14.553.901	39.733.700	12.270.976	25.809.551	79.433.977
PR	1.706.289	13.952.544	3.966.443	4.295.575	5.880.562
PU / PT	89,51	74,01	75,57	85,73	93,11
PR / PT	10,49	25,99	24,43	14,27	6,89
PT atendida	14.362.352	39.744.347	9.890.907	26.376.624	77.212.562
IAT	88,33	74,03	60,91	87,62	90,50
PU atendia	14.247.545	35.553.141	9.247.451	25.343.926	75.969.611
IAU	97,90	89,48	75,36	98,20	95,64
PR atendida	114.807	4.191.206	643.456	1.032.698	1.242.951
IAR	6,73	30,04	16,22	24,04	21,14

Fonte: Elaboração Própria (2025) e MCID (2025a).

Tabela 3. IAR dos municípios participantes do Módulo de Sistema de Abastecimento de Água do SINISA no ano de referência de 2023

IAR	Centro-O.	Nordeste	Norte	Sul	Sudeste
[0 ; 10]	396	874	245	565	965
] 10; 20]	11	150	32	124	89
] 20; 30]	5	117	20	72	77
] 30; 40]	6	96	14	67	65
] 40; 50]	5	77	11	53	50
] 50; 60]	1	66	12	34	57
] 60; 70]	2	61	4	29	39
] 70; 80]	1	45	4	25	40
] 80; 90]	1	41	3	30	39
] 90; 100]	11	116	16	149	149
Sem PR	1	11	0	9	46
IAR > 100	0	14	0	0	0

Fonte: Elaboração Própria (2025) e MCID (2025a).

Alguns municípios declararam não possuir PR e/ou que o IAR é superior a 100%. Como se trata de autodeclaração, desenvolveu-se uma metodologia para auditar e certificar as informações coletadas, a ser implementada no Módulo de Regulação. Além dele, haverá outro para o Saneamento Rural. Eles serão implementados futuramente pelo SINISA (MCID 2025a).

O Norte apresentou os menores valores de IATs, IARs e IAUs de 2012 a 2021. Neste período, o Sudeste apresentou os maiores valores de IATs, enquanto o Sul, os maiores de IAUs e IARs. Para o IARs, nota-se que nas demais regiões, a performance foi irregular, com crescimento sutil e decrescimento abruptos. Na Figura 3 está apresentada os valores, de 2012 a 2021, do (a) IAT, (b) IAU e (c) IAR.

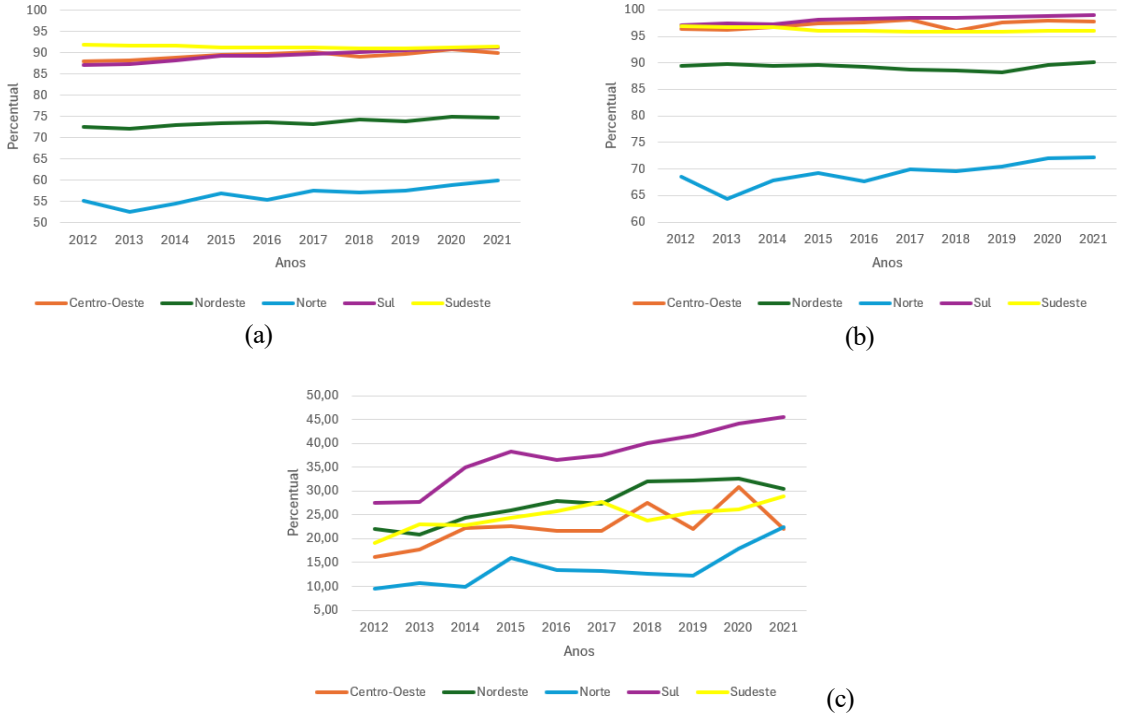


Figura 3. Índice de Atendimento de Água – 2012 a 2021 da População: (a) Total, (b) Urbana (c) Rural
Fonte: Elaboração Própria, 2025 e MCID, 2025b.

Admitindo que, as políticas públicas e estratégicas elaboradas para universalizar o SAA no meio rural até 2023, após a promulgação da Lei nº 14.026/2020, adotassem como referência os IARs regionais de 2020 e considerasse uma taxa de crescimento anual (TC), os IARp (projetado) para os anos de 2021 e 2023 não seriam alcançados. No Centro-Oeste e Sul a maior taxa de crescimento (MTC) alcançada entre 2012 e 2020 superava as TCs, sendo esperado que tivessem alcançado, porém, ocorreu o inverso, de acordo com o IAR alcançado (IARa).

Tabela 4. IAR projetado – IARp - versus o alcançado – IARa - para os anos de 2021 e 2023

Regiões	IAR 2020	MTC	TC	IARp 2021	IARa 2021	IARp 2023	IARa 2023	Déficit
Centro-Oeste	30,86	8,86	5,24	36,10	22,13	37,86	6,73	31,13
Nordeste	32,54	4,74	5,11	37,66	30,42	45,75	30,04	15,72
Norte	17,95	5,97	6,23	24,19	22,36	41,07	16,22	24,84
Sul	44,25	7,23	4,21	48,46	45,49	58,12	24,04	34,08
Sudeste	26,25	3,85	5,60	31,85	28,86	45,64	21,14	24,51

Fonte: Elaboração Própria (2025).

Realizou-se as regressões com os IARs de 2012 a 2021 e apenas os modelos linear e exponencial apresentaram soluções coerentes e os coeficientes estatísticos calculados foram semelhantes. As projeções indicaram que universalizar o SAA no meio rural ocorrerá muito posterior a meta. Outros estudos apontaram isto, e indicam que devido a baixos investimentos (desde 2012) em infraestruturas de saneamento básico e aos baixos índices de cobertura dos serviços, principalmente no meio rural, é possível que a meta e o princípio da universalização não sejam cumpridos no curto a médio prazo (Castro e Cerezini 2023, 68). Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos modelos e na Tabela 6 os dos coeficientes R^2, MSE e MAPE.

Tabela 5. Resultados dos modelos linear e exponencial para a projeção do ano em que o IAR será igual a 99%

Modelo	Centro-O.	Nordeste	Norte	Sul	Sudeste
Linear	2097	2073	2101	2050	2116
Exponencial	2052	2044	2046	2036	2062

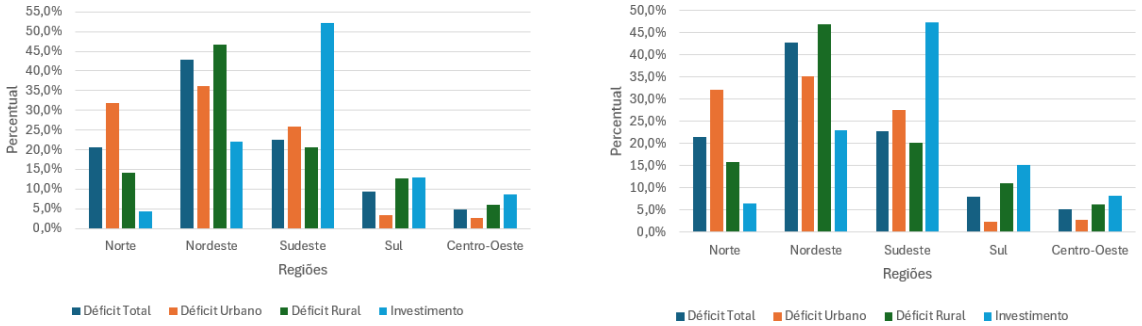
Fonte: Elaboração Própria (2025).

Tabela 6. Resultados dos coeficientes estatísticos R^2, MSE e MAPE dos modelos linear e exponencial

Coeficientes	Modelo	Centro-O.	Nordeste	Norte	Sul	Sudeste
R^2	Linear	0,4822	0,8524	0,5991	0,9074	0,6840
MSE	Linear	8,2855	2,3875	5,7200	3,0997	2,1758
MAPE	Linear	10,6673	4,3340	12,8124	3,7361	5,2741
R^2	Exponencial	0,4588	0,8254	0,6321	0,8882	0,6694
MSE	Exponencial	8,7000	2,8533	5,3466	3,8137	2,2871
MAPE	Exponencial	10,7422	4,6016	12,0891	4,2388	5,4459

Fonte: Elaboração Própria (2025).

Não há a diferenciação dos investimentos em SAA destinados para as áreas urbanas e para as áreas rurais, mas, os investimentos realizados de 2021 a 2023, após a Lei 14.026/2020, equivalem a 46,08% do investido de 2007 a 2020. Além disso, o investido de 2017 a 2021 foi 25% maior do que o de 2012 a 2016 (MCID 2025b). Na Figura 4 está apresentada o percentual no déficit de acesso e os investimentos em SAA de (a) 2012 a 2016 e (b) 2017 a 2021 no país.



(a) (b)

Figura 4. Percentual no déficit de acesso e nos investimentos em água em relação ao total do país entre: (a) 2012 e 2016 (b) 2017 e 2021
Fonte: Elaboração Própria, 2025 e MCID, 2025b.

Embora os investimentos em SAA no país cresçam anualmente (MCID 2025a; MCID 2025b), ainda são insuficientes para alcançar a universalização. Além disso, sua aplicação nem sempre correspondem às reais necessidades das regiões, como no Norte – que ocupa a segunda e terceira posição com maior déficit de acesso ao SAA da PU e PR, respectivamente – e que nos dois períodos recebeu o menor investimento, e assim como o Nordeste, teve déficit superior ao percentual investido. Porém, os avanços no Norte foram mais expressivos do que no Sudeste, que nos dois períodos acumulou a maior proporção do investimento a nível nacional.

Nos dois períodos, o Sudeste e Nordeste somaram mais de 70% do investido em SAA no país e os que registraram os maiores déficit de acesso ao SAA da PR. Estima-se que eles receberão os maiores investimentos de 2019 a 2038 para expandir (com soluções individuais e coletivas) e repor infraestruturas do SAA nas áreas rurais. Cerca de 51,81% do investimento no meio rural brasileiro deve ser destinado ao Nordeste, pela baixa disponibilidade hídrica regional e os históricos de investimentos para aumentá-la (FUNASA 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidenciou-se a lenta expansão do sistema de abastecimento de água (SAA) no meio rural, distanciando da universalização em 2033, conforme a Lei 14.026/2020. Deve-se urgentemente superar os desafios orçamentários e de prioridade política, e com gestão e políticas públicas, definir e monitorar metas de atendimento e de investimento a curto prazo, para garantir que eles sejam de forma igualitária entre as regiões do país. Além disso, que as políticas públicas fomentem o desenvolvimento de soluções de engenharia sustentáveis economicamente e ambientalmente para universalizar o SAA, principalmente nas áreas rurais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida ao autor principal e apoio a participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil, 2020. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. "Atualiza o marco legal do saneamento básico". Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.

Castro, Cesár Nunes de., e Cerezini, Monise Terra. 2023. “Saneamento rural no Brasil: a universalização é possível?” Rio de Janeiro: Ipea, maio, 2023. 66p (Texto para Discussão, 3875). http://dx.doi.org/10.38116/td2875-port.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2025. sd. “Urbanização”. Acessado em 18 de julho de 2025. https://atlasescolar.ibge.gov.br/brasil/3073-urbanizacao.html

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. sd. “Panorama do Censo 2022”. Acessado em 18 de julho de 2025. https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. 2021. “Programa Nacional de Saneamento Rural PNSR: Estudos das Necessidades de Investimentos em Saneamento Rural no Brasil”. https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/665

MCID - Ministério das Cidades. 2023. “Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral: ano de referência 2022”. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis

MCID - Ministério das Cidades. 2025a. “Resultados SINISA”. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa

MCID - Ministério das Cidades. 2025b. “Diagnóstico Anteriores do SNIS”. Acessado em 18 de julho de 2025. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035368

AVALIAÇÃO DOS MECANISMOS DE ACESSO A INVESTIMENTOS EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL NO NOVO PAC

EVALUACIÓN DE LOS MECANISMOS DE ACCESO A INVERSIONES EN SUMINISTRO DE AGUA RURAL EN EL NOVO PAC

ASSESSMENT OF THE MECHANISMS FOR ACCSESS INVESTMENTS IN RURAL WATER SUPPLY IN THE NOVO PAC

Rainier Pedraça de Azevedo[1]

[1]Engenheiro Civil, Ministério da Cidades, Brasília-DF, Brasil, rainier40@gmail.com, nº de ORCID https://orcid.org/0009-0009-7064-0779

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas Financiamento e acessos a recursos do PAC.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructural: Gestión y Políticas Públicas Financiamiento y acceso a los recursos del PAC

Thematic Axis 02 – Structural Sanitation: Management and Public Policies Financing and access to PAC resources

RESUMO

Este trabalho avalia os mecanismos de acesso a investimentos na modalidade de abastecimento de água em área rural, no eixo Água para Todos, no âmbito do novo Programa de Aceleração do Crescimento (Novo PAC) do governo federal, com financiamento público e não oneroso oriundo do Orçamento Geral da União (OGU), com o objetivo de ampliar o acesso à água potável à população residente em localidades rurais que enfrentaram quadro de escassez de água.

Palavras-chave: Abastecimento de água rural, Saneamento rural, Saneamento básico, Políticas públicas, Novo PAC

RESÚMEN

Este artículo evalúa los mecanismos de acceso a inversiones en la modalidad de suministro de agua en zonas rurales, en el eje Agua para Todos, en el ámbito del nuevo Programa de Aceleración del Crecimiento (Novo PAC) del gobierno federal, con financiamiento público y no oneroso del Presupuesto General de la Unión (OGU), con el objetivo de ampliar el acceso al agua potable a la población habitante de zonas rurales que enfrentaron escasez de agua.

Palabras clave: Suministro de agua rural, Saneamiento rural, Saneamiento básico, Políticas públicas, Novo PAC

ABSTRACT

This article evaluates the mechanisms for accessing investments in the water supply modality in rural areas, in the Water for All axis, within the scope of the new Growth Acceleration Program (Novo PAC) of the federal government, with public and non-onerous financing from the General Budget of the Union (OGU), with the objective of expanding access to drinking water for the population living in rural areas that faced water scarcity.

Keywords: Rural water supply, Rural sanitation, Basic sanitation, Public policies, Novo PAC

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O Novo Programa de Aceleração do Crescimento (Novo PAC), lançado pelo governo federal em 2023, tem como objetivo impulsionar o desenvolvimento econômico e social do país por meio de investimentos em diversos setores, entre os quais o saneamento básico. Em 2025, foi publicado o segundo edital de chamamento público do Programa. Este trabalho tem como propósito analisar os mecanismos de acesso aos investimentos destinados ao abastecimento de água em áreas rurais, no âmbito do eixo "Água para Todos" deste Programa, financiado com recursos do Orçamento Geral da União (OGU). A execução desses investimentos está sob a responsabilidade dos governos estaduais, com foco em municípios elegíveis, especialmente aqueles que enfrentam escassez de água destinada ao consumo humano.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Os mecanismos de acesso a investimentos públicos em abastecimento de água rural no âmbito do Novo PAC continuam sendo realizados por meio da apresentação de propostas, conforme as diretrizes estabelecidas no edital de chamamento público. Essas propostas devem ser submetidas por instituições estaduais para os municípios elegíveis e envolvem as seguintes etapas: envio de cartas-consulta eletrônicas; enquadramento e análise técnica das propostas; e, por fim, a seleção das propostas habilitadas.

Este trabalho descreve, passo a passo, cada uma dessas etapas, que serão detalhadamente discutidas e avaliadas ao longo do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Etapa de apresentação

A apresentação da carta-consulta constitui a primeira etapa do processo de seleção e é de responsabilidade exclusiva dos chefes dos poderes executivos estaduais, ou seja, dos governadores. Na primeira seleção, realizada em 2023, o Distrito Federal (DF) também teve a possibilidade de submeter propostas.

Na segunda seleção do Novo PAC, em 2025, os municípios, mais uma vez, foram excluídos da participação direta nesse processo. Coube apenas aos Estados a responsabilidade de apresentar propostas voltadas ao abastecimento de água em áreas rurais dos municípios considerados elegíveis. A Tabela 1 apresenta um resumo dos responsáveis pela submissão das propostas e os principais critérios exigidos no chamamento público de 2025.

Tabela 1. Etapa do processo de apresentação da proposta

Etapa do processo	Responsável	Critérios
Apresentação	Chefe do poder executivo dos estados	Municípios elegíveis relacionados em lista oficial
		Único município por proposta

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2025)

Diferentemente do primeiro chamamento público, onde todos os estados e podiam escolher os municípios e/ou regiões administrativas no caso do Distrito Federal, nessa atual edição os municípios foram previamente elegíveis pelo progama.

Especificamente, foram considerados elegíveis os municípios que enfrentaram situações de escassez hídrica para consumo humano e que, entre 2023 e 2024, tiveram solicitações de recursos de assistência humanitária aprovadas para as metas de “caminhão-pipa” e “galões de água”. seleção foi baseada em dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), vinculada ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (Ministério das Cidades 2025b).

Para contextualizar a elegibilidade dos municípios e, consequentemente, dos estados, é importante destacar que todos os estados da região Nordeste foram contemplados, assim como todos os estados da região Norte. A inclusão integral da Amazônia brasileira se justifica pela recorrência de secas severas na região. Somente neste século, foram registrados quatro períodos críticos de estiagem, resultantes de eventos climáticos extremos, ocorridos nos anos de 2005, 2010, 2015-2016 e 2023-2024.

Ao todo, foram relacionados 776 municípios elegíveis, distribuídos em 21 estados abrangendo todas as regiões do pais, conforme decrito na Tabela 2.

Tabela 2. Quandidade de municípios elegíveis por região e estados

Região	Estado	Quantidade de municípios
Centro-Oeste	Goiás	1
	Mato Grosso	3
Nordeste	Alagoas	33
	Bahia	67
	Ceará	34
	Maranhão	11
	Paraíba	151
	Pernambuco	101
	Piauí	20
	Rio Grande do Norte	70
	Sergipe	9
Norte	Acre	10
	Amazonas	61
	Amapá	6
	Pará	56
	Rondônia	13
	Roraima	3
	Tocantins	2
Sudeste	Minas Gerais	48
Sul	Paraná	1
	Rio Grande do Sul	76
TOTAL		**776**

Fonte: Adaptado de Brasil (2025) (Ministério das Cidades 2025)

Ainda na etapa de apresentação, cada estado proponente pode submeter somente uma carta-proposta, contemplando um único município. O entanto, essa proposta pode abrager intervenções em diversas localidades rurais dentro do mesmo município.

Etapa de enquadramento

Na etapa de enquadramento, verifica-se, inicialmente, o cumprimento das exigências legais previstas no edital de chamamento público referente a essa modalidade do Novo PAC, além da observância aos manuais específicos e demais normativos do Programa e suas respectivas ações e modalidades operacionais.

Uma das principais referências para essa análise é o *Manual para Apresentação de Propostas do Programa de Saneamento Básico em Áreas Rurais*, elaborado pelo Ministério

das Cidades (MCID). Esse documento tem como objetivo orientar os entes federados e demais entidades quanto aos fundamentos técnicos necessários para o acesso aos recursos do Orçamento Geral da União (OGU), conforme previsto na Lei Orçamentária Anual (LOA), no âmbito do Programa "Saneamento Básico - 2322", especificamente na Ação 00VJ - Apoio à implantação, ampliação ou melhoria de ações e serviços de saneamento básico em áreas rurais.

Institucionalmente, os critérios de enquadramento desta seleção têm como finalidade viabilizar a execução de obras de abastecimento de água em áreas rurais, com o objetivo de ampliar o acesso à água potável, um fator essencial para a redução da pobreza e o desenvolvimento sustentável (Ministério das Cidades 2025b). Os principais aspectos relacionados ao enquadramento estão sistematizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios de enquadramento e análise

Etapa do processo	Critérios
Enquadramento e análise	I - aderência ao programa e aos normativos
	II - execução da intervenção em área territorialmente rural
	III - intervenção fora de área de concessão privada
	IV - anteprojeto ou projeto básico ou projeto executivo
	V - planilha com lista de comunidades rurais
	VI - quadro de composição de investimento (QCI)

Fonte: Adaptado Ministério das Cidades (2025b)

A análise de conformidade da aderência das propostas ao objetivo do Programa e às diretrizes estabelecidas no manual da respectiva ação orçamentária justifica-se pela possibilidade de inserção, na plataforma Transferegov.br, do cadastramento de projetos que não atendem aos critérios previstos para o abastecimento de água em áreas rurais. Notadamente, a submissão de propostas voltadas para áreas urbanas e, eventualmente, direcionadas a outros componentes do saneamento básico, como o esgotamento sanitário.

A comprovação de que a execução da intervenção ocorrerá exclusivamente em área classificada territorialmente como rural, pode ser realizda com base nas informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio da consulta aos setores censitários, os quais indicam se a área é urbana ou rural.

Adicionalmente, a legislação vigente veda a aplicação de recursos não onerosos do OGU em áreas atendidas por concessionárias privadas de saneamento básico. Portanto, para o adequado enquadramento da proposta, é necessário comprovar que o local da intervenção não está inserido em área de concessão privada, quando houver.

Outro critério fundamental para análise e enquadramento da proposta é a existência de projeto técnico de engenharia. A ausência dessa documentação pode comprometer a viabilidade da proposta, caso não seja posteriormente complementada. Assim, exige-se, no mínimo, a apresentação do anteprojeto, sendo recomendável a inclusão do projeto básico ou projeto executivo, quando disponíveis.

No caso do projeto básico, este deve conter elementos técnicos suficientes e precisos para definir e dimensionar a obra ou o serviço proposto. Deve ser precedido de estudos técnicos preliminares que comprovem a viabilidade técnica e ambiental da intervenção, possibilitando a estimativa dos custos, bem como a definição dos métodos e prazos de execução. Já o projeto executivo deve apresentar o detalhamento completo das soluções previstas no projeto básico, incluindo a identificação dos serviços, materiais e equipamentos a serem incorporados à obra, com suas respectivas especificações técnicas, em conformidade com as normas técnicas vigentes (Presidência da República 2021).

A listagem das comunidades rurais, apresentada em planilha modelo, também compõe os critérios obrigatórios para o enquadramento da proposta. Essa listagem deve conter: nomes das localidades beneficiadas; número de domicílios atendido e coordenadas geográficas, para a validação da classificação territorial como área rural.

Por fim, a apresentação do Quadro de Composição do Investimento (QCI) ou da Composição Básica do Investimento (CBI) encerra o conjunto de documentos exigidos para análise de enquadramento. O QCI, em geral, reflete o orçamento sintético do projeto, acrescido do item referente ao trabalho social.

O trabalho social, nos programas e ações do Ministério das Cidades, deve ser realizado obrigatoriamente com todas as famílias diretamente beneficiadas pelas intervenções. Seu objetivo é promover a participação ativa e a inclusão social da população atendida, contribuindo para a melhoria das condições de vida, a efetivação de direitos sociais, a integração com outras políticas públicas e a sustentabilidade dos bens, equipamentos e serviços implantados (Ministério das Cidades 2025a).

Etapa de seleção

Após o enquadramento as propostas passam por um criterio de priorização com base nos requisitos listados no Tabela 4.

Tabela 4. Critérios de piorização da etapa de seleção

Etapa do processo	Critérios
Seleção	I - nível de detalhamento da proposta e do projeto
	II - maior déficit de abastecimento de água em área rural
	III - existência de licenças ambientais e titularidade de área
	IV - atendimento às condicionantes do art. 50 da Lei nº 11.445/2007
	V - complementar obras iniciadas em etapas anteriores do PAC
	VI - projetos de engenharia apoiados pela União

Fonte: Adaptado de Brasil (2025)

Nesta etapa, é considerado o nível de detalhamento do projeto técnico de engenharia apresentado na fase anterior, classificado como anteprojeto, projeto básico ou projeto executivo. Naturalmente, os projetos executivos apresentam vantagens neste critério de seleção.

O déficit de abastecimento de água em áreas rurais é identificado com base nos dados do IBGE e contribui para a priorização dos investimentos, favorecendo os municípios com maior carência nesse componente do saneamento básico.

Além disso, o licenciamento ambiental e a titularidade da área constituem requisitos adicionais de priorização nesta etapa. É necessário apresentar a comprovação do licenciamento ambiental ou a sua dispensa, emitida pelo órgão ambiental competente, bem como a documentação que comprove a titularidade da área. Este último é um requisito essencial para a execução de obras ou projetos em um determinado local, pois garante segurança jurídica ao empreendomento ou à intervenção, prevenindo conflitos futuros com terceiros e eventuais entraves na prestação de contas.

No que se refere ao cumprimento das condicionantes previstas no Marco Legal do Saneamento Básico, especificamente aquelas descritas no art. 50 da Lei nº 11.445/2007 (Presidência da República 2007), devem ser apresentados os seguintes elementos: a) definição da entidade reguladora; b) instituição do mecanismo de controle social, c) institucionalização da prestação do serviço e, d) comprovação de operação e manutenção de empreendimentos anteriores.

O atendimento a essas condicionantes é essencial para a liberação das parcelas após a aprovação do contrato de repasse, exceto nos casos em que se aplica o regime simplificado de licitação.

É importante destacar que, independentemente de se tratar de área urbana ou rural, o município deverá comprovar a existência e a estrutura da entidade reguladora para ter acesso a recursos públicos da União. A legislação não faz distinção entre áreas urbanas e rurais quanto à exigência de comprovação dessas condicionantes pelos entes titulares, uma vez que os municípios devem contemplar integralmente a regulação em seu território, abrangendo tanto zonas urbanas quanto rurais

Segundo (Benevides 2025), a regulação exerce um papel essencial ao assegurar que a universalização dos serviços de saneamento não se limite aos centros urbanos. Para isso, é necessário que as agências reguladoras atuem com flexibilidade, rigor técnico e sensibilidade social, considerando as especificidades das áreas rurais, que geralmente apresentam baixa densidade populacional, maior dispersão territorial e infraestrutura limitada.

Diante da limitação orçamentária do Programa, nesta etapa de seleção, a hierarquização das propostas é realizada com base em um conjunto de indicadores, tais como: nível de detalhamento do projeto técnico de engenharia; critérios sanitários e ambientais; e aspectos relacionados à gestão dos serviços, incluindo regulação, participação e controle social, entre outros. Essa abordagem visa assegurar maior eficiência na aplicação dos recursos financeiros e maximizar os impactos das ações nas populações rurais beneficiadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mecanismos de acesso aos investimentos na modalidade de abastecimento de água em áreas rurais, no âmbito do Novo PAC, seguem as diretrizes definidas em edital de chamamento público, que estabelece etapas claras para a apresentação, o enquadramento e a seleção das propostas, com o objetivo de assegurar maior eficiência na aplicação dos recursos públicos e ampliar o acesso à água potável para esse importante segmento da população do país.

O saneamento rural apresenta os maiores deficits se comparado ao urbano e, com os atuais níveis de investimentos, ainda tem um longo caminho a percorrer rumo a universalização. Nesse sentido, é recomendável que os investimentos na modalidade de

abastecimento de água em áreas rurais, sejam ampliados e que outros componentes do saneamento básico como o esgotamento sanitário e o manejo dos resíduos possam também ser contemplados. Sugere-se estudar ajustes nos próximos editais no sentido incluir, além dos Estados como proponentes, a possibilidade de os próprios municípios apresentarem propostas. Isso porque, embora os Estados atuem como proponentes no âmbito do Programa, os municípios são os beneficiários diretos das obras e, legalmente, os responsáveis pela prestação dos serviços de saneamento básico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benevides, Vinícius. 2025. "Regulação avança para fortalecer o saneamento rural. "*Revista SANEAS*, ano XV, edição 92 (abril a junho): 18. https://www.saneasonline.com.br/saneas-edicao/edicao-92-saneamento-rural-o-caminho-para-universalizacao/.

Ministério das Cidades. 2025a. “Portaria MCID nº 75/2025”. *Diário Oficial da União* Edição 25, seção 1, (fevereiro): 5-20. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mcid-n-75-de-28-de-janeiro-de-2025-610832804.

Ministério das Cidades. 2025b. “Portaria MCID nº 546/2025”. *Diário Oficial da União* Edição 109, seção 1 (junho): 31. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mcid-n-546-de-5-de-junho-de-2025-635330118.

Presidência da República. 2007. “Lei nº 11.445/2007”. *Diário Oficial da União* Edição 5, seção 1 (janeiro): 3-7. https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/01/2007&jornal=1&pagina=3&totalArquivos=64.

Presidência da República. 2021. “Lei nº 14.133/2021”. *Diário Oficial da União* Edição 61-F, seção 1 - Extra F (abril): 1-23. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.133-de-1-de-abril-de-2021-311876884.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035391

BUSINESS INTELLIGENCE APLICADO A GESTÃO DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM EMPRESA DE SANEAMENTO: RASTREABILIDADE, TRANSPARÊNCIA E ECONOMIA CIRCULAR

BUSINESS INTELLIGENCE APLICADO A LA GESTIÓN DEL TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN UNA EMPRESA DE SANEAMIENTO: TRAZABILIDAD, TRANSPARENCIA Y ECONOMÍA CIRCULAR

BUSINESS INTELLIGENCE APPLIED TO SOLID WASTE TRANSPORTATION MANAGEMENT IN A SANITATION COMPANY: TRACEABILITY, TRANSPARENCY, AND CIRCULAR ECONOMY

Lucas Candido[1], Christian Barbosa[2], Eduardo Leoncio[3]

[1]Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas – Campus Maceió, Maceió-AL, Brasil, lucas.santos.candido@gmail.com, 0009-0008-7126-4755;
[2]Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas – Campus Maceió, Maceió-AL, Brasil, camb1@ifal.edu.com.br, 0009-0000-3299-6330;
[3]Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas – Campus Maceió, Maceió-AL, Brasil, ebcleoncioo@gmail.com, 0009-0007-7089-6999;

Eixo Temático 02 – Saneamento estruturante: gestão e políticas públicas.
Logística reversa, catadores de materiais recicláveis, cooperativas e associações.

Eje Temático 02 – Saneamiento estructurante: gestión y políticas públicas.
Logística inversa, recolectores de materiales reciclables, cooperativas y asociaciones.

Thematic Axis 02 – Structural sanitation: management and public policies.
Reverse logistics, recyclable material collectors, cooperatives, and associations.

RESUMO

A gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos representa um desafio crítico no Brasil, comprometendo a sustentabilidade ambiental e a efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Este estudo teve como objetivo avaliar como a aplicação de Business Intelligence (BI), pode melhorar a rastreabilidade, transparência e valorização dos resíduos, fortalecendo a logística reversa e a economia circular. A metodologia baseou-se na análise de 305 Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) emitidos em 2024, armazenados no SharePoint e processados no Power BI com Power Query e DAX. Havendo inovação na integração entre o BI com a API do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas, possibilitando a verificação em tempo real dos MTR e assegurando a conformidade legal, estabelecendo um novo padrão de rastreabilidade e governança de dados. Os resultados apontaram a geração de 2.712 mil toneladas de resíduos, dos quais 2,60 toneladas recicláveis foram completamente destinadas a quatro cooperativas locais, evitando 4,56 tCO_2e de emissões e promovendo inclusão socioeconômica e aumento da logística reversa. A pesquisa demonstra que soluções digitais podem transformar dados em inteligência estratégica, permitindo gestão proativa, transparência e escalabilidade para políticas públicas, consolidando a economia circular como eixo central da gestão sustentável.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Logística reversa, Economia circular

RESÚMEN

La gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos representa un desafío crítico en Brasil, comprometiendo la sostenibilidad ambiental y la implementación de la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS). Este estudio tuvo como objetivo evaluar cómo la aplicación de Business Intelligence (BI), puede mejorar la trazabilidad, transparencia y valorización de los residuos, fortaleciendo la logística inversa y la economía circular. La metodología se basó en el análisis de 305 Manifiestos de Transporte de Residuos (MTR) emitidos en 2024, almacenados en SharePoint y procesados en Power BI mediante Power Query y DAX. La innovación radicó en la integración del BI con la API del Instituto de Medio Ambiente de Alagoas, lo que permitió la verificación en tiempo real de los MTR y garantizó el cumplimiento legal, estableciendo un nuevo estándar de trazabilidad y gobernanza de datos. Los resultados indicaron la generación de 2.712 toneladas de residuos, de las cuales 2,60 toneladas reciclables fueron destinadas a cuatro cooperativas locales, evitando 4,56 tCO_2e de emisiones y promoviendo inclusión socioeconómica y fortalecimiento de la logística inversa. El estudio demuestra que las soluciones digitales pueden transformar datos en inteligencia estratégica, permitiendo una gestión proactiva, transparente y escalable para políticas públicas, consolidando la economía circular como eje central de la gestión sostenible.

Palabras clave: Residuos sólidos, Logística inversa, Economía circular, Business Intelligence, Saneamiento

ABSTRACT

The inadequate management of municipal solid waste remains a critical challenge in Brazil, undermining environmental sustainability and the implementation of the National Solid Waste Policy (PNRS). This study aimed to assess how the application of Business Intelligence (BI), can enhance waste traceability, transparency, and valorization, thereby strengthening reverse logistics and the circular economy. The methodology involved analyzing 305 Waste Transport Manifests (MTR) issued in 2024, stored in SharePoint and processed in Power BI using Power Query and DAX. An innovative feature was the integration of BI with the Environmental Institute of Alagoas API, enabling real-time verification of MTRs and ensuring legal compliance, establishing a new standard for traceability and data governance. Results indicated the generation of 2,712 tons of waste, of which 2.60 tons of recyclables were fully allocated to four local cooperatives, avoiding 4.56 tCO_2e of emissions and promoting socio-economic inclusion and reverse logistics. The findings demonstrate that digital solutions can transform compliance data into strategic intelligence, enabling proactive management, transparency, and scalability for public policies, consolidating the circular economy as a cornerstone of sustainable waste management.

Keywords: Solid waste, Reverse logistics, Circular economy, Business Intelligence, Sanitation

INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos grandes desafios enfrentados pela humanidade atualmente, especialmente em países em desenvolvimento com o crescimento elevado da urbanização (Saikia e Nath 2015), como o Brasil. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) delineada por meio da lei nº 12.305/2010 (PNRS 2010), estabelece RSU como todos os materiais, sólidos ou semissólidos que foram descartados resultantes de atividades humanas. De acordo com a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, estima-se que 77,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos tenham sido geradas no país em 2022, totalizando mais de 211 mil toneladas diárias (ABREMA 2023). O mesmo relatório aponta que mais de 5 milhões de toneladas desses resíduos não são coletadas e recebem destinação ambientalmente inadequada, gerando impactos significativos nos ecossistemas, nos recursos hídricos e na saúde pública.

Dentro do contexto de gerenciamento dos resíduos sólidos, a PNRS estabelece em suas diretrizes a responsabilidade compartilhada, atribuindo à geradores e entidades públicas o dever de prover o gerenciamento adequado. Salienta-se ainda que a lei redefine os resíduos não apenas como um problema, mas como materiais com potencial econômico, incentivando a logística reversa e a reintegração dos materiais na cadeia produtiva. De forma análoga, o Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020 2020) integra a logística reversa à gestão de resíduos sólidos no saneamento básico, determinando que planos de saneamento considerem a inclusão socioeconômica de catadores e a formalização de contratos ou convênios entre cooperativas e associações visando a gestão adequada de resíduos. Essas organizações desempenham papel essencial na economia circular, promovendo a recuperação de materiais, a redução do volume de resíduos destinados a aterros e a geração de trabalho e renda para milhares de famílias.

Contudo, a efetividade das políticas públicas e privadas é frequentemente comprometida pela ausência de sistemas eficientes de controle e transparência, dificultando o acompanhamento do fluxo de resíduos e a parceria com esses atores essenciais (Leonardo Szigethy e Samuel Antenor 2020). Nessa conjuntura, as tecnologias digitais emergem como ferramentas estratégicas que podem ser usadas na otimização do gerenciamento de resíduos, promovendo maior eficiência operacional, rastreabilidade em tempo real e democratização do acesso às informações (Leal et al. 2024; Leonardo Szigethy e Samuel Antenor 2020). Dessa forma, observa-se o crescimento do Business Intelligence (BI), também conhecido como

inteligência de negócios, que consiste em um conjunto de técnicas e ferramentas para análise de informações, muitas vezes em tempo real, para apoio a tomada de decisões estratégicas baseado em dados (Ramesh Sharda et al. 2019). O principal objetivo do BI é possibilitar acesso interativo aos dados, permitindo a manipulação desses valores para a criação de indicadores, oferecendo aos gestores empresariais a capacidade de obter um panorama mais completo, a fim de tomar decisões mais apropriadas à realidade da empresa (Ramesh Sharda et al. 2019). O processo da inteligência de negócios baseia-se principalmente na transformação de dados em informações, que posteriormente são interpretados utilizados em decisões e finalmente, em ações.

Estudos recentes demonstram que o uso de BI em dashboards gerenciais melhora a análise de dados, a eficiência operacional e a sustentabilidade no gerenciamento de resíduos, além de possibilitar uma avaliação crítica dos dados relacionados a geração e destinação dos RSU (Costa e Pratti 2024; Rocha e Maia 2023). Apesar disso, ainda são escassos os estudos que abordam o uso dessas tecnologias para fortalecer a relação entre empresas de saneamento e a cadeia da reciclagem com cooperativas. Diante dessa lacuna, a seguinte questão central orienta a investigação: Como o BI pode promover a eficiência e transparência na gestão de resíduos sólidos em empresas de saneamento básico, otimizando o envio de materiais para cooperativas e, assim, fomentar o seu reaproveitamento?

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se de natureza aplicada, pois o estudo concentra-se na solução de problemáticas objetivando melhorar a gestão de resíduos e a economia circular, atuando como estudo de caso de uma empresa de saneamento. A coleta e tratamento das informações desta pesquisa foram implementados de acordo com a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018).

Caracterização da empresa de estudo

A instituição privada de saneamento é responsável pela implementação e operação dos serviços de esgotamento sanitário na região alta da cidade de Maceió, no estado de Alagoas, atendendo aproximadamente 350 mil habitantes. Sua atuação ocorre no contexto de uma Parceria Público-Privada (PPP) estabelecida com a empresa estatal responsável pelo abastecimento de água e saneamento básico no estado de Alagoas. O contrato abrange

execução de obras de infraestrutura e serviços de esgotamento sanitário na região. Além de ter sido responsável pela construção e operação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Ainda convém mencionar que os resíduos abordados nesta respectiva pesquisa, advém do escopo de atuação da empresa e gerados pelo cotidiano dos trabalhadores na organização.

Coleta e armazenamento dos dados

A obtenção dos dados referentes à geração de resíduos sólidos da empresa fora realizada através das informações contidas nos Manifestos de Transporte de Resíduos Sólidos (MTR) emitidos entre o período de 01/01/2024 até 16/12/2024. Selecionamos apenas os dados pertinentes para a elaboração da pesquisa, e criamos três listas do ambiente do SharePoint para armazenar as informações, como demonstrado na Figura 1.

Site do Sharepoint Online

Listas do ambiente

MTR_Dados_Gerais

Coluna	Tipo
Nº MTR	Título
Data do Manifesto	Data e hora
Emissor	Texto com uma linha
Placa do veículo	Texto com uma linha
Gerador do Residuo	Escolha
Resíduo	Texto com uma linha
Tipo de Resíduo	Texto com uma linha
Estado físico	Escolha
Classe	Escolha
Quantidade	Número
Unidade	Escolha
Transportador do	Escolha
Destinador do Residuo	Escolha
Data de saída do resíduo	Data e hora
Data de entrega	Data e hora
Tecnologia	Escolha
Status do Manifesto	Escolha
Observações	Texto com várias linhas

MTR_Destinatario

Coluna	Tipo
Destinador do Residuo	Título
Endereço	Local
CPF/CNPJ	Texto com uma linha
Telefone	Texto com uma linha

MTR_Transportador

Coluna	Tipo
Transportador do Residuo	Título
Endereço	Local
CPF/CNPJ	Texto com uma linha
Telefone	Texto com uma linha

MTR_GERADOR

Coluna	Tipo
Gerador do Residuo	Título
Endereço	Local
CPF/CNPJ	Texto com uma linha
Telefone	Texto com uma linha

Figura 1. Estrutura de armazenamento dos dados no Sharepoint
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Modelagem dos Dados e Dashboard

Nesta etapa, utilizou-se o Power Query Desktop para extrair, transformar e carregar dados de listas do SharePoint. Após a importação em formato tabular, iniciou-se a modelagem, com renomeação das colunas “title” para seus nomes originais (Figura 1) e ajuste dos tipos de dados: campos de texto, escolha e local foram convertidos para texto; datas foram padronizadas; valores numéricos passaram para o formato decimal; e textos de várias linhas foram definidos como tipo “qualquer”, garantindo maior flexibilidade de dados.

Ainda convém mencionar que foi criada a coluna MTR Link, utilizando a API

(Interface de Programação de Aplicação) do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA/AL). Essa coluna gera links de consulta específicos para cada MTR, permitindo a validação e verificação ágil dos documentos por meio de acesso direto às informações institucionais. Ao final do processo de edição, as transformações realizadas por meio do Power Query foram carregadas diretamente no Power BI Desktop. O desenvolvimento do dashboard utilizou componentes visuais nativos do software, as medidas dos indicadores foram calculadas por meio da linguagem DAX (Data Analysis Expressions).

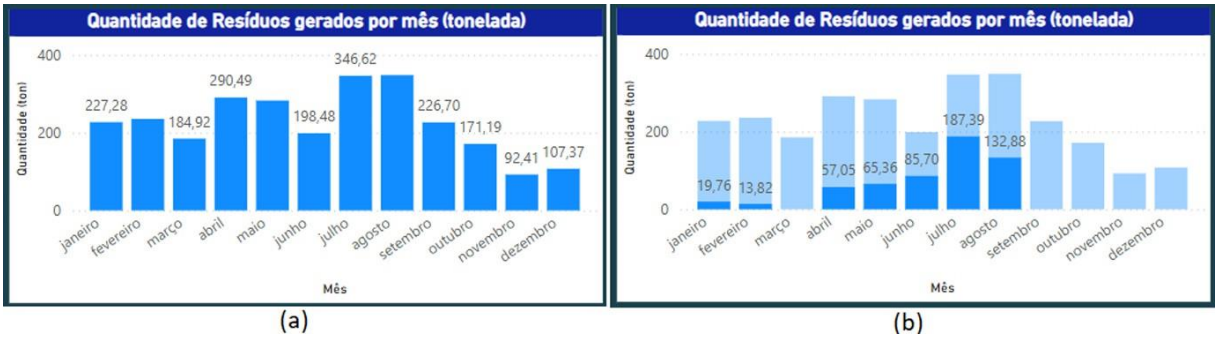
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvido como ferramenta estratégica para a gestão integrada de resíduos sólidos gerados pela empresa, demonstrou eficácia comprovada no monitoramento contínuo e na análise dos fluxos de resíduos, conforme demonstrado na Figura 2. Durante o período de janeiro a dezembro do ano de 2024, foram emitidos 305 manifestos de transporte de resíduos, correspondentes a 2.712 mil toneladas, com geração média de 15,50 toneladas por saída de transporte. A análise detalhada por classe revelou que os resíduos predominantes são da Classe II A de baixa periculosidade, aprox. 2.138 mil toneladas, compostos majoritariamente por lodo (71,4%), seguido por resíduos de desarenamento (5,53%) e gradeamento (1,99%).

Figura 2. Dashboard desenvolvido para a gestão de Manifestos de Transporte de Resíduos Sólidos
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Diante do gráfico demonstrado na Figura 3 (a), podemos observar a quantidade em toneladas de resíduos gerados por mês, com picos de 346,22 e 348,22 ton. em julho e agosto.

Verificamos a diminuição gradual nos meses seguintes, a Figura 3 (b) apresenta os valores mensais correspondente aos resíduos de construção civil, ilustrando que os entulhos de obras representam uma parcela significante. Esses dados exibem um panorama de como ampliação do sistema de saneamento influenciam diretamente na gestão ambiental da empresa.



(a) (b)

Figura 3. (a) Gráfico de colunas com quantidade de RSU por mês em 2024; (b) O mesmo gráfico, porém com filtro aplicado para resíduos de construção civil.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Embora o volume de resíduos enviados para reciclagem (aprox. 2,60 toneladas) seja bastante inferior ao destinado para aterros, sua relevância estratégica é significativa, pois todo o material reciclável foi doado e destinado a quatro cooperativas da região, como observado na Figura 4, fortalecendo a logística reversa e a inclusão socioeconômica, conforme previsto na PNRS. A composição dos recicláveis foi majoritariamente de 0,945 toneladas de plástico (36,37%), 0,856 toneladas de papel/papelão (32,95%) e 0,794 toneladas de metal (30,58%), que representam no total 4,560 tCO2e de emissões evitadas de gases do efeito estufa, calculados conforme mensuração da Planton (EmbalagemMarca 2025), demonstrando uma conexão direta e funcional entre o gerador e a cadeia de reaproveitamento.

Figura 4. Dashboard com filtro nos resíduos recicláveis.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

É nesta conexão que a inteligência de negócios revela seu maior potencial para o saneamento estruturante e políticas públicas, tendo em vista que, a ferramenta oferece rastreabilidade, transparência e legitimidade ao processo de transporte dos RSU através da integração via API com o sistema do IMA/AL, conforme disposto na Figura 5. Desta forma, a funcionalidade não apenas assegura conformidade legal, mas também fortalece a posição das cooperativas, fornecendo dados auditáveis que podem ser utilizados para formalização e captação de recursos. Essa validação de dados é um ativo estratégico para as cooperativas e empresas, que passam a ter como comprovar o volume e a origem dos materiais que gerenciam, fortalecendo sua posição na negociação com a indústria recicladora que possibilitam acesso a linhas de crédito ou editais de fomento. Além disso, o dashboard contém filtros que exibem apenas os materiais recicláveis e sua destinação final, proporcionando aos gestores a tomada de decisões caso verificar se algum RSU passível de reaproveitamento não fora enviado a cooperativas ou associações de reciclagem.

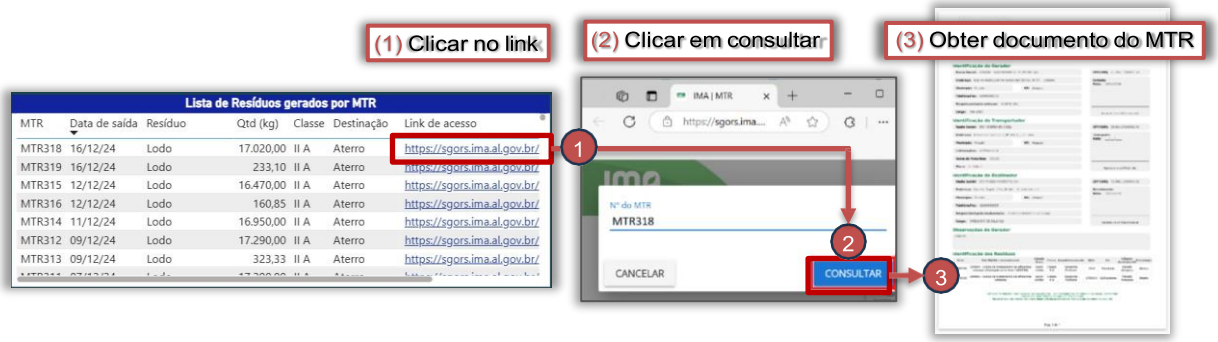


Figura 5. Fluxo de consulta dos MTR utilizando o link da API gerado pelo Dashboard da pesquisa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Importante destacar que a metodologia proposta se configura como um modelo de gestão escalável, com elevado potencial para aplicação em políticas públicas. A ferramenta desenvolvida nessa pesquisa demonstrou capacidade de mapear, de forma precisa, o fluxo de recicláveis de um único gerador. A sua replicação em nível municipal ou entre múltiplos geradores possibilitaria a construção de um mapa dinâmico e interativo da logística reversa. Tal recurso permitiria aos gestores públicos ou privados identificar áreas críticas de geração de recicláveis, otimizar rotas de coleta voltadas às associações de catadores e formular políticas de incentivo fundamentadas em dados concretos, promovendo a sustentabilidade econômica e operacional dessas entidades.

Dessa forma, a aplicação do BI na gestão de MTR se converte em um instrumento de fortalecimento da economia circular. Ao transformar dados de conformidade em inteligência

estratégica, a solução não apenas otimiza a gestão do gerador, mas também capacita os elos mais vulneráveis da cadeia de reciclagem, fornecendo a cooperativas e associações as informações necessárias para se profissionalizarem, aumentarem sua eficiência e consolidarem seu papel fundamental na efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do sistema de dashboard integrado para gestão de resíduos sólidos demonstrou ser uma ferramenta estratégica para operacionalizar os princípios da economia circular, permitindo análises detalhadas sobre volumes, tipologias e destinos, além de identificar oportunidades para otimização da logística reversa. Os resultados deste estudo evidenciam que a abordagem baseada em dados possibilita uma transição do gerenciamento reativo para um modelo proativo de administração de resíduos, com impactos mensuráveis em três dimensões principais: operacional, econômica e ambiental.

Embora a maior parte dos resíduos (deste caso de estudo) seja destinada a aterros, a integração com cooperativas para reaproveitamento de materiais recicláveis representa um avanço significativo para a economia circular e para a efetivação da PNRS. A funcionalidade de integração com a API do órgão ambiental reforça a confiabilidade do processo, garantindo conformidade legal e fornecendo dados auditáveis para os atores envolvidos. Em especial para as cooperativas e associações de catadores, esses dados representam um passo fundamental para sua profissionalização e sustentabilidade econômica.

Por outro lado, destaca-se a necessidade de ampliar a articulação entre poder público, empresas privadas e o terceiro setor para adesão de soluções semelhantes que integrem estas esferas, de modo a criar um ecossistema digital de gestão de resíduos. Sem dúvida, tal esforço conjunto é indispensável para transformar os princípios da PNRS e da economia circular de um ideal normativo em uma realidade operacional, onde a inclusão socioeconômica dos catadores e cooperativas de reciclagem seja o pilar de um sistema de saneamento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Prof. M.a Maria Gabriela Lira Rangel do Instituto Federal de Alagoas – Campus Maceió, pelo apoio educacional e elucidação sobre a PNRS. Assim como também agradecemos a empresa SANAMA – Saneamento Alta Maceió pela disponibilização das informações e das ferramentas para a execução da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA. 2023. PANORAMA DOS RESIDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2023. N. 2023. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. https://www.abrema.org.br/panorama/.

Costa, Carlos Alberto, e Thais Pratti. 2024. "Dashboards como ferramenta de apoio à gestão para uma clínica prestadora de serviço de reabilitação física". Revista Produção Online 24 (4): 4. https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i4.5030.

EmbalagemMarca. 2025. "Estudo quantifica impacto da reciclagem e a importância da economia circular." *Notas Rápidas*, agosto 13. https://embalagemmarca.com.br/impacto-da-reciclagem-e-economia-circular/.

Leal, Agnaldo Eduardo Fayal, Vitor Carmo Curi Costa, Reimison Moreira Fernandes, André Cristiano Silva Melo, e Verônica De Menezes Nascimento Nagata. 2024. "Applications of Digital Technologies for Overcoming Challenges in Municipal Solid Waste Reverse Logistics: A Systematic Literature Review". Engenharia Sanitaria e Ambiental 29: e20240048. https://doi.org/10.1590/s1413-415220240048.

Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, 12.305/2010, Congresso Nacional Sessão Legislativa de 2010, 2010 Lei no 12.305/2010 (2010). Sancionada em 2 de agosto de 2010; publicada no DOU em 3 de agosto de 2010 https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

Lei no 14.026, de 15 de julho de 2020, 14.026/2020, Congresso Nacional Sessão Legislativa de 2020, 2020 Lei no 14.026/2020 (2020). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.

Leonardo Szigethy e Samuel Antenor. 2020. "Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos". Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos (Brasília), julho 9. https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos.

Ramesh Sharda, Dursun Delen, e Efraim Turban. 2019. Business Intelligence e Análise de Dados para Gestão do Negócio. 4o ed. 4 edição 4. Bookman Editora.

Rocha, Francisco Waqson Dias, e Magda Maia. 2023. "THE USE OF BUSINESS INTELLIGENCE TO IMPROVE SOLID WASTE MANAGEMENT: A CASE STUDY IN A BROADBAND COMPANY". Revista Produção Online.

Saikia, Dipam, e Manash Jyoti Nath. 2015. "Integrated Solid Waste Management Model for Developing Country with Special Reference to Tezpur Municipal Area, India". International Journal of Innovative Research and Development, fevereiro 28. https://www.internationaljournalcorner.com/index.php/ijird_ojs/article/view/135378.

https://doi.org/10.5281/zenodo.1903542

DESAFIOS DO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO NA PERSPECTIVA RURAL: A EXPERIÊNCIA DA CERB NA BAHIA NO ACESSO AOS RECURSOS DO PAC

DESAFÍOS DEL MARCO LEGAL DE SANEAMIENTO EN LA PERSPECTIVA RURAL: LA EXPERIENCIA DE LA CERB EN BAHÍA EN EL ACCESO A LOS RECURSOS DEL PAC

CHALLENGES OF THE SANITATION LEGAL FRAMEWORK IN THE RURAL PERSPECTIVE: THE EXPERIENCE OF CERB IN BAHIA IN ACCESSING PAC RESOURCES

Talita Câmara[1], Itamar Souza[2].

[1]Diretora de Saneamento, CERB, Salvador, Brasil, talita.camara@cerb.ba.gov.br,
[2]Engenheiro Civil, CERB, Salvador, Brasil, itamar.souza@cerb.ba.gov.br,

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructurante: Gestión y Políticas Públicas

Thematic Axis 02 – Structuring Sanitation: Management and Public Policies

RESUMO

O Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) representou um marco regulatório relevante ao estabelecer metas ambiciosas de universalização: 99% da população com acesso à água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 2033. Entretanto, os desafios de implementação são ainda mais significativos no meio rural, onde fatores como dispersão populacional, baixa capacidade institucional e limitações financeiras dificultam o alcance dessas metas. Na Bahia, a situação reflete esse cenário: de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), apenas cerca de um terço da população dispõe de abastecimento de água regular, enquanto os índices de cobertura de esgotamento sanitário permanecem em patamares ainda mais reduzidos.

Nesse contexto, o Governo Federal retomou os Programas de Aceleração do Crescimento (PAC) como estratégia para ampliar a cobertura dos serviços. Em 2023, a Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) foi contemplada com dez sistemas de abastecimento de água voltados para comunidades rurais. Contudo, a efetivação dos recursos esteve condicionada ao cumprimento das exigências normativas previstas no Artigo 50 do Marco Legal do Saneamento, que estabelece critérios como a existência de planos municipais de saneamento básico, a delegação formal da prestação dos serviços, a definição de entidade reguladora, a implementação de mecanismos de controle social e a adoção de medidas de controle de perdas.

A experiência da CERB envolveu apoio técnico e institucional aos municípios beneficiados, abrangendo desde a orientação para atualização do SINISA até a criação de conselhos de

saneamento, tramitação legislativa para delegação de serviços, convênios com a AGERSA e justificativas de controle de perdas adaptadas à realidade rural. Os resultados apontam que a implementação das condicionantes legais só foi possível mediante intensa articulação interinstitucional, envolvendo municípios, órgãos estaduais, Ministério das Cidades e Caixa Econômica Federal.

Conclui-se que, embora o Marco Legal estabeleça um caminho para a universalização, a efetividade no meio rural exige políticas públicas articuladas entre União, estados e municípios. Apenas a instituição de metas nacionais não garante sua efetividade: é necessário que os estados planejem suas ações, definam metas próprias e ofereçam suporte aos municípios. No caso da Bahia, a Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS) desempenha papel estratégico, tendo a CERB como braço executor na implementação das ações.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Políticas públicas, Semiárido, Planejamento municipal

RESÚMEN

El Marco Legal de Saneamiento (Ley nº 14.026/2020) representó un hito regulatorio relevante al establecer metas ambiciosas de universalización: 99% de la población con acceso a agua potable y 90% con recolección y tratamiento de aguas residuales hasta 2033. Sin embargo, los desafíos de implementación son aún más significativos en el medio rural, donde factores como la dispersión poblacional, la baja capacidad institucional y las limitaciones financieras dificultan el logro de estas metas. En Bahía, la situación refleja este escenario: según el Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento (SNIS, 2022), solo alrededor de un tercio de la población dispone de abastecimiento regular de agua, mientras que la cobertura de alcantarillado sanitario permanece en niveles mucho más reducidos.

En este contexto, el Gobierno Federal reanudó los Programas de Aceleración del Crecimiento (PAC) como estrategia para ampliar la cobertura de los servicios. En 2023, la Compañía de Ingeniería Hídrica y de Saneamiento de Bahía (CERB) fue contemplada con diez sistemas de abastecimiento de agua destinados a comunidades rurales. No obstante, la efectivación de los recursos estuvo condicionada al cumplimiento de las exigencias normativas previstas en el Artículo 50 del Marco Legal de Saneamiento, que establece criterios como la existencia de planes municipales de saneamiento básico, la delegación formal de la prestación de los servicios, la definición de una entidad reguladora, la implementación de mecanismos de control social y la adopción de medidas de control de pérdidas.

La experiencia de la CERB implicó apoyo técnico e institucional a los municipios beneficiados, abarcando desde la orientación para la actualización del SINISA hasta la creación de consejos de saneamiento, la tramitación legislativa para la delegación de servicios, convenios con la AGERSA y la justificación de control de pérdidas adaptadas a la realidad rural. Los resultados señalan que la implementación de las condicionantes legales solo fue posible mediante una intensa articulación interinstitucional, que involucró a municipios, organismos estatales, el Ministerio de Ciudades y la Caixa Econômica Federal.

Se concluye que, aunque el Marco Legal establece un camino hacia la universalización, la efectividad en el medio rural exige políticas públicas articuladas entre Unión, estados y municipios. La mera institución de metas nacionales no garantiza su efectividad: es necesario que los estados planifiquen sus acciones, definan metas propias y ofrezcan apoyo a los

municipios. En el caso de Bahía, la Secretaría de Infraestructura Hídrica y Saneamiento (SIHS) desempeña un papel estratégico, teniendo a la CERB como brazo ejecutor en la implementación de las acciones.

Palabras clave: saneamiento rural, marco legal de saneamiento, políticas públicas, PAC, Bahía

ABSTRACT

The Brazilian Sanitation Legal Framework (Law nº 14.026/2020) represented a relevant regulatory milestone by setting ambitious universalization goals: 99% of the population with access to safe drinking water and 90% with sewage collection and treatment by 2033. However, implementation challenges are even more significant in rural areas, where factors such as population dispersion, low institutional capacity, and financial limitations hinder progress toward these goals. In Bahia, this scenario is evident: according to the National Sanitation Information System (SNIS, 2022), only about one-third of the population has regular water supply, while sewage coverage remains at much lower levels.

In this context, the Federal Government resumed the Growth Acceleration Programs (PAC) as a strategy to expand service coverage. In 2023, the Bahia Water Engineering and Sanitation Company (CERB) was awarded ten rural water supply systems, representing an important step forward for the state. However, the effective release of resources was conditioned on meeting the regulatory requirements set out in Article 50 of the Sanitation Legal Framework, which establishes criteria such as the existence of municipal sanitation plans, the formal delegation of service provision, the definition of a regulatory authority, the implementation of social control mechanisms, and the adoption of loss control measures.

CERB's experience involved technical and institutional support to the beneficiary municipalities, ranging from guidance on updating the SINISA database to the creation of sanitation councils, legislative processes for service delegation, cooperation agreements with AGERSA, and loss control justifications adapted to the rural reality. The results show that implementing the legal requirements was only possible through intense inter-institutional coordination involving municipalities, state agencies, the Ministry of Cities, and Caixa Econômica Federal.

It is concluded that, although the Legal Framework sets a path toward universalization, effectiveness in rural areas requires public policies articulated among the federal, state, and municipal levels. The mere establishment of national targets does not guarantee effectiveness: states must plan their actions, define their own goals, and provide support to municipalities. In Bahia, the Secretariat of Water Infrastructure and Sanitation (SIHS) plays a strategic role, with CERB acting as its implementing arm.

Keywords: rural sanitation, sanitation legal framework, public policies, PAC, Bahia

INTRODUÇÃO

O Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) representou um avanço regulatório para a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil,

estabelecendo a meta de atendimento de 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 2033. Apesar do avanço, os desafios de implementação são ainda mais expressivos no saneamento rural, sobretudo em estados como a Bahia, caracterizados por grande extensão territorial, diversidade geológica e predominância do semiárido.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), apenas cerca de um terço da população baiana é atendida com abastecimento de água regular, enquanto a cobertura de esgotamento sanitário é ainda mais limitada. Nesse contexto, o Governo Federal retomou os Programas de Aceleração do Crescimento (PAC). Em 2023, a CERB foi contemplada com dez sistemas de abastecimento de água em áreas rurais. Entretanto, a liberação dos recursos esteve condicionada ao cumprimento das exigências do Artigo 50, envolvendo planos municipais de saneamento, delegação formal de serviços, regulação, controle social, atualização do SINISA e justificativas de controle de perdas.

A experiência da CERB evidencia que, sem apoio técnico e institucional, muitos municípios não conseguiriam cumprir isoladamente tais exigências, reforçando a necessidade de políticas públicas articuladas entre União, estados e municípios para efetivar o marco legal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico deve descrever os métodos e procedimentos utilizados para construir a pesquisa. Pode incluir também uma caracterização do local onde a pesquisa foi desenvolvida e em casos de procedimentos metodológicos já conhecidos, deve ser incluída a referência bibliográfica com possíveis adaptações ressaltadas e justificadas. As referências devem ser incluídas segundo Normas estilo Chicago e possíveis unidades de medidas devem seguir o Sistema Internacional (SI). Em caso de uso de imagens, gráficos, mapas, ilustrações e fotografias, estas devem ser referenciadas apenas como figuras com resolução e dimensão suficiente para uma boa visualização de todos os elementos por parte do leitor.

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de um estudo de caso da experiência da CERB no processo de adequação às exigências do Marco Legal do Saneamento para acesso a recursos do PAC, em 2023. Foram selecionados dez sistemas de abastecimento de água em áreas rurais, cujos projetos foram elaborados pela companhia.

As etapas metodológicas envolveram:

- Diagnóstico das condicionantes legais: verificação da existência de PMSB

(condicionante do PAC), delegação formal da prestação dos serviços (via SAAEs, EMBASA, centrais ou concessionárias privadas), definição de entidade reguladora (AGERSA), criação de mecanismos de controle social (conselhos municipais de saneamento), atualização de dados no SINISA e justificativas de controle de perdas.

- Assistência técnica aos municípios: apoio na atualização do SINISA, tramitação legislativa para delegação de serviços e adesão à regulação pela AGERSA, além de suporte na criação de conselhos de saneamento.

- Articulação interinstitucional: reuniões periódicas e acompanhamento semanal com SIHS, AGERSA, municípios, Ministério das Cidades e Caixa Econômica Federal.
- Sistematização da experiência: registro das ações e aprendizados pela equipe técnica da CERB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A experiência da CERB revelou que, embora os municípios contemplados já possuíssem PMSB, a delegação da prestação de serviços ainda representava grande entrave, pois em muitos casos o serviço era prestado diretamente pelas prefeituras, sem instrumento legal. Com o apoio da CERB, foram tramitadas leis de delegação que permitiram a formalização junto a SAAEs, EMBASA, centrais ou concessionárias privadas.

A ausência de regulação estruturada também foi um gargalo recorrente. A parceria com a AGERSA permitiu atender a essa exigência, mediante aprovação de leis municipais, envio de ofícios de adesão e assinatura de convênios. Outro entrave importante foi a inexistência de mecanismos de controle social: conselhos municipais de saneamento precisaram ser criados ou reativados com apoio da companhia.

A atualização dos dados no SINISA se mostrou um dos pontos mais críticos. Diversos municípios não possuíam informações atualizadas, especialmente quanto à estratificação urbana e rural, sendo necessária orientação técnica e acompanhamento direto da CERB para garantir a conformidade. No caso do controle de perdas, a companhia elaborou relatórios técnicos considerando as limitações dos sistemas rurais, conciliando a exigência legal com as condições operacionais do semiárido.

A efetivação do processo só foi possível graças a uma intensa articulação interinstitucional envolvendo SIHS, AGERSA, municípios, Ministério das Cidades e Caixa

Econômica Federal. O acompanhamento semanal e a atuação coordenada evidenciam que a universalização do saneamento rural depende de arranjos colaborativos e suporte técnico contínuo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência da CERB no acesso aos recursos do PAC mostrou que a mera instituição de metas nacionais não garante a efetividade do Marco Legal do Saneamento. Para que os objetivos de universalização sejam alcançados, é necessária a articulação entre União, estados e municípios. Os estados devem elaborar planejamentos próprios, definir metas claras e oferecer suporte contínuo aos municípios.

Na Bahia, a Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS) desempenha papel estratégico na formulação e coordenação das políticas públicas, tendo a CERB como braço executor. Esse arranjo institucional tem permitido não apenas o acesso aos recursos federais, mas também o fortalecimento da governança local.

Conclui-se que a universalização no meio rural exige instrumentos diferenciados de política pública, maior flexibilidade normativa e suporte federativo ampliado. A cooperação entre União, SIHS, CERB e municípios constitui condição essencial para avançar na redução das desigualdades de acesso ao saneamento no semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. 2020. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

Brasil. Ministério das Cidades. 2023. Programa de Aceleração do Crescimento – PAC Seleções 2023: Saneamento Básico. Brasília: Governo Federal. https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/saneamento

CERB – Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia. 2023. Relatórios Institucionais de Saneamento Rural. Salvador: CERB.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2022. Diagnóstico Anual de Água e Esgotos 2022. Brasília: Ministério das Cidades. https://www.snis.gov.br

SIHS – Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento da Bahia. 2023. Planejamento Estadual de Saneamento e Abastecimento de Água Rural. Salvador:

Governo do Estado da Bahia.

AGERSA – Agência Reguladora de Saneamento Básico do Estado da Bahia. 2023. Relatórios Técnicos e Convênios de Cooperação. Salvador: AGERSA.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035438

DESAFIOS DO SANEAMENTO RURAL E DA GESTÃO DE RESÍDUOS NA REGIÃO DA BARRAGEM DO BITURY, BELO JARDIM–PE

DESAFÍOS DEL SANEAMIENTO RURAL Y LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA REGIÓN DE LA PRESA BITURY, BELO JARDIM–PE

CHALLENGES OF RURAL SANITATION AND WASTE MANAGEMENT IN THE BITURY RESERVOIR REGION, BELO JARDIM–PE

Neyliane da Silva França[1], Yngrid Kalinne de Oliveira Feitosa[2], Taiza Karla Alves Souza[3] e Antônio de Holanda Neto[4].

[1]Discente de Engenharia Hídrica, Unidade Acadêmica de Belo Jardim – UABJ, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Belo Jardim - PE, Brasil, neyliane.franca@ufrpe.br, 0009-0000-5954-0173;
[2]Discente de Engenharia Hídrica, Unidade Acadêmica de Belo Jardim – UABJ, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Belo Jardim - PE, Brasil, Yngrid.Kalinne@ufrpe.br;
[3]Docente do curso de Engenharia Hídrica, Unidade Acadêmica de Belo Jardim – UABJ, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Belo Jardim - PE, Brasil, taiza.alvessouza@ufrpe.br, 0000-0001-9298-1173;
[4]Engenheiro Civil, Companhia Pernambucana de Saneamento, Belo Jardim, Brasil, antonioneto@compesa.com.br, 0009-0000-4737-741X.

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructural: Gestión y Políticas Públicas.

Thematic Axis 02 – Structural Sanitation: Management and Public Policies.

RESUMO

O semiárido pernambucano enfrenta desafios históricos relacionados ao abastecimento de água, ao esgotamento sanitário e à gestão de resíduos sólidos, que comprometem a qualidade de vida das populações rurais e ampliam os riscos ambientais e de saúde. A região da Barragem do Bitury, em Belo Jardim–PE, exemplifica esse quadro por sua forte dependência de fontes hídricas locais, somada à ausência de serviços públicos estruturados. Este estudo avaliou as condições de saneamento em comunidades rurais do entorno da barragem, a partir de visitas de campo, entrevistas com moradores e análise documental. Constatou-se que o abastecimento hídrico ocorre, em sua maioria, a partir de nascentes e pequenos reservatórios, sem tratamento coletivo adequado; o esgotamento sanitário é realizado por fossas rudimentares sem manutenção; e os resíduos sólidos são eliminados por queima ou enterramento, diante da inexistência de coleta pública. Essas práticas expõem as comunidades a riscos de contaminação do solo e da água, agravados em períodos de estiagem prolongada. Conclui-se que as soluções centralizadas não contemplam as especificidades do semiárido, sendo necessárias alternativas descentralizadas, de baixo custo e adaptadas às realidades locais, que fortaleçam a resiliência hídrica e sanitária.

Palavras-chave: Serviços Sanitários, Esgotamento Sanitário, Semiárido

RESÚMEN

El semiárido pernambucano enfrenta limitaciones estructurales vinculadas al abastecimiento de agua, el alcantarillado sanitario y la gestión de residuos sólidos, que afectan la calidad de vida de las poblaciones rurales y aumentan los riesgos ambientales y de salud pública. La región de la Presa Bitury, en Belo Jardim–PE, constituye un caso representativo de esta situación, al mostrar dependencia de fuentes hídricas locales y carencia de servicios públicos estructurados. Este estudio tuvo como objetivo analizar las condiciones de saneamiento en comunidades rurales cercanas a la presa, mediante visitas de campo, entrevistas semiestructuradas y análisis documental. Los resultados mostraron que el abastecimiento de agua se realiza principalmente a partir de manantiales y pequeños reservorios, frecuentemente sin tratamiento colectivo; que el alcantarillado sanitario se efectúa a través de fosas rudimentarias sin mantenimiento; y que los residuos sólidos se disponen mediante quema o enterramiento, por la falta de recolección pública. Estas prácticas incrementan la exposición de las comunidades a la contaminación ambiental y a enfermedades transmitidas por el agua, situación agravada en períodos de sequía prolongada. Se concluye que los modelos centralizados no se ajustan al contexto semiárido, siendo necesarias soluciones descentralizadas, accesibles y adaptadas a las condiciones locales, con mayor participación comunitaria.

Palabras clave: Servicios Sanitarios, Alcantarillado Sanitario, Semiárido

ABSTRACT

The semi-arid region of Pernambuco faces persistent challenges in water supply, sanitary sewerage, and solid waste management, which compromise rural living conditions and increase environmental and public health risks. The Bitury Dam region, in Belo Jardim–PE, illustrates this scenario, marked by strong reliance on local water sources and lack of structured public services. This study assessed sanitation conditions in rural communities surrounding the reservoir, through fieldwork, interviews, and document analysis. Results indicated that water supply is mostly obtained from springs and small reservoirs, often without collective treatment; sanitary sewage disposal relies on rudimentary pit latrines without maintenance; and solid waste is commonly burned or buried, due to the absence of public collection. These practices expose communities to risks of soil and water contamination, as well as the spread of disease vectors, which are aggravated during prolonged droughts. The findings highlight that centralized sanitation solutions remain insufficient for the semi-arid context. Therefore, it is essential to develop decentralized and low-cost alternatives, supported by social participation and adapted technologies, in order to strengthen local resilience and promote improvements in both public health and environmental sustainability.

Keywords: Sanitation Services, Sanitary Sewerage, Semiarid

INTRODUÇÃO

O semiárido pernambucano enfrenta desafios históricos relacionados à escassez hídrica e às deficiências de infraestrutura básica, que impactam diretamente a qualidade de vida das populações rurais (ALMEIDA, 2021). A região da Barragem do Bitury, em Belo Jardim–PE, ilustra esse quadro, pois além de abastecer comunidades urbanas e rurais, apresenta forte vulnerabilidade socioambiental decorrente de pressões antrópicas e limitações no acesso a serviços essenciais.

Estudos apontam que as nascentes da microbacia do Bitury sofrem degradação pela retirada da vegetação nativa e pelo uso inadequado do solo, comprometendo a disponibilidade e a qualidade da água (SILVA JÚNIOR, 2015). Soma-se a esse cenário a precariedade dos sistemas de abastecimento, o déficit de esgotamento sanitário e as práticas inadequadas de manejo de resíduos sólidos, fatores que ampliam os riscos à saúde e à sustentabilidade hídrica.

Além disso, a região abriga o Refúgio de Vida Silvestre Mata do Bitury, criado pelo Decreto nº 49.977/2020, que protege nascentes ativas e remanescentes de brejos de altitude. A preservação desta área contribui para a manutenção da disponibilidade hídrica, para a conservação da biodiversidade e para a mitigação dos impactos de processos de desertificação, reforçando a importância de estratégias de saneamento compatíveis com a conservação ambiental.

Embora o novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) represente um avanço ao estabelecer metas de universalização, sua aplicação em áreas rurais enfrenta barreiras estruturais e econômicas, dado que modelos de gestão centralizados e de caráter mercantil não se adequam às especificidades do semiárido nordestino (MARCON; WESZ JUNIOR, 2024). Nesse contexto, experiências de tecnologias sociais, soluções descentralizadas e participação comunitária têm se mostrado alternativas viáveis para reduzir desigualdades e promover resiliência (ROSAA; TEIXEIRA; HORA, 2023).

Diante desse panorama, o presente estudo tem como objetivo analisar as condições de abastecimento de água, esgotamento sanitário e gestão de resíduos sólidos em comunidades rurais situadas na região da Barragem do Bitury, em Belo Jardim–PE, identificando os principais desafios e propondo estratégias de adaptação que fortaleçam a resiliência hídrica e sanitária local.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida entre março de 2024 e junho de 2025 em comunidades rurais localizadas na região da Barragem do Bitury, município de Belo Jardim–PE, Nordeste do Brasil. A seleção das propriedades rurais foi realizada a partir do cadastro de nascentes do Conselho Gestor dos Açudes do Bitury e Pedro Moura Júnior (CONSU Bitury), totalizando 10 propriedades visitadas. Os proprietários dessas propriedades, com idades entre 41 e 65 anos e predominantemente envolvidos em atividades agrícolas e pecuárias, foram entrevistados.

O critério de seleção das propriedades foi intencional, considerando a presença de nascentes e a representatividade das condições de saneamento e uso da água na microbacia. O trabalho de campo incluiu visitas técnicas a cada propriedade, observação direta das condições ambientais e sanitárias, e registro fotográfico das práticas de manejo hídrico e sanitário. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas, conduzidas presencialmente pelo pesquisador, utilizando um questionário que abordou os seguintes temas: forma de domínio da propriedade, quantidade e situação das nascentes, abastecimento e tratamento da água, coleta e destinação do esgoto, manejo de resíduos sólidos, condição da mata ciliar, número de moradores, usos da água e infraestrutura sanitária disponível.

Complementarmente, realizou-se análise documental contemplando relatórios técnicos, planos de recursos hídricos e marcos regulatórios referentes à gestão hídrica e ao saneamento rural, com destaque para documentos elaborados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023) e pelo Governo do Estado de Pernambuco (Pernambuco, 2020). A seleção dos documentos priorizou publicações dos últimos cinco anos, garantindo a atualidade das informações.

As informações qualitativas provenientes das entrevistas foram organizadas e avaliadas por meio de análise temática, identificando padrões e categorias relacionadas às práticas de saneamento e gestão hídrica nas propriedades. As informações espaciais foram processadas e analisadas utilizando o software QGIS, permitindo a elaboração de mapas temáticos sobre uso e ocupação do solo e localização das propriedades. Para caracterização do uso e ocupação do solo, foi utilizada a base de dados do MapBiomas (MapBiomas, 2024), possibilitando identificar mudanças na cobertura vegetal e pressões antrópicas na microbacia.

Figura 1. Interação com proprietários rurais durante aplicação de questionário na escola do campo – Belo Jardim–PE.

Fonte: Registro de atividades do CONSU Bitury, 2025.

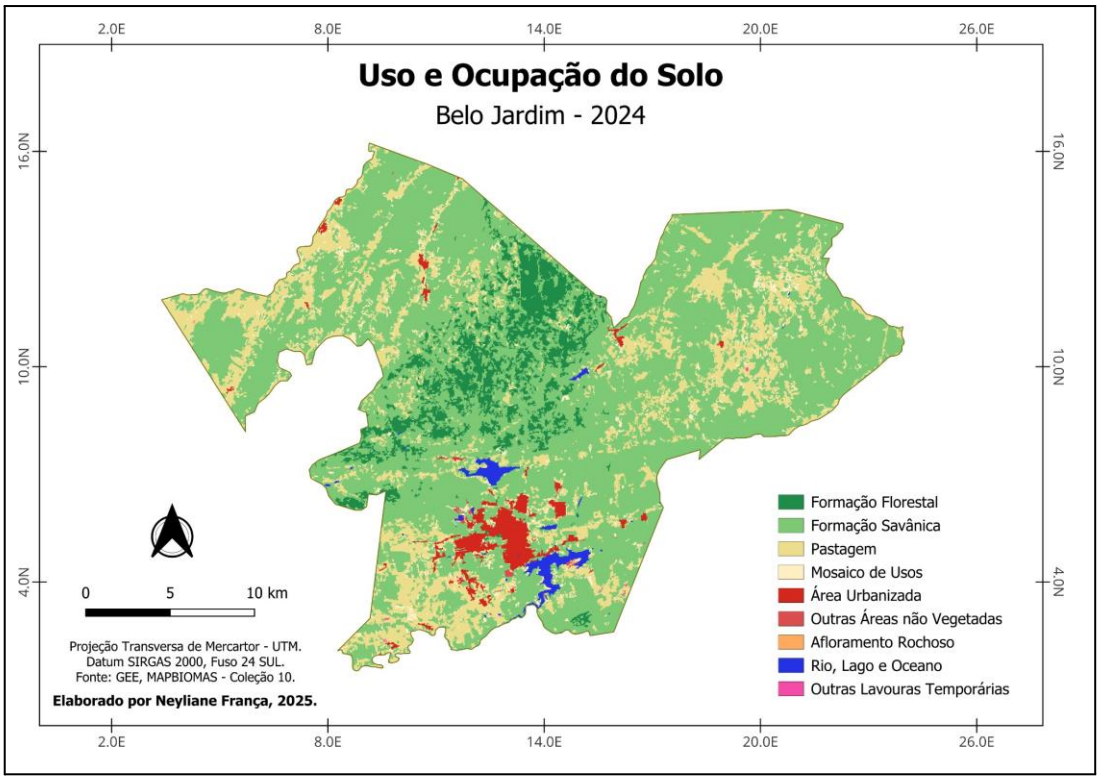


Figura 2. Uso e ocupação do solo da microbacia do Bitury – Belo Jardim–PE

Fonte: Elaboração própria, Adaptado de MapBiomas 2024.

A espacialização das comunidades rurais estudadas foi realizada a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (INCRA, 2024) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2023), representados em mapas temáticos.

Além disso, as informações de campo foram integradas a dados climáticos e hidrológicos disponíveis para a região, possibilitando avaliar a relação entre a disponibilidade hídrica, a variabilidade climática e as condições de saneamento das comunidades estudadas.

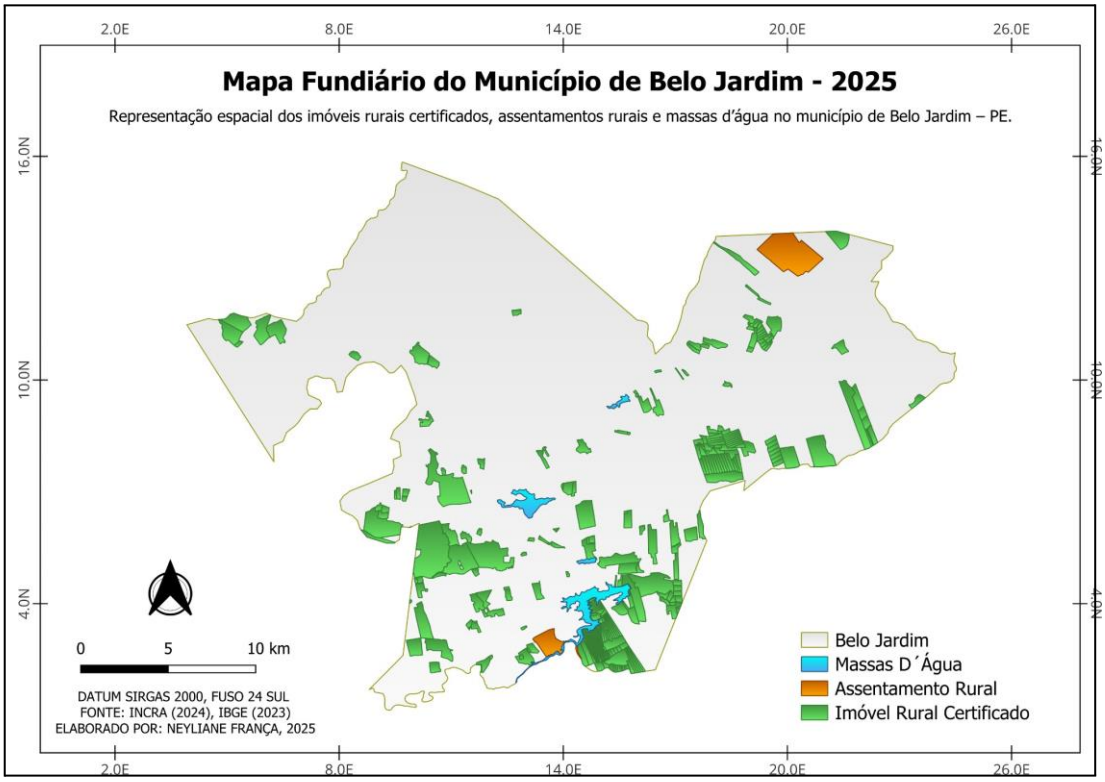


Figura 3. Localização das comunidades rurais no entorno da Barragem do Bitury e do Ipojuca no município de Belo Jardim–PE.

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do INCRA 2024 e IBGE 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Açude Bitury constitui a principal fonte de abastecimento para comunidades urbanas e rurais do município de Belo Jardim–PE, mas sua utilização apresenta limitações estruturais e de gestão (ANA, 2018). A dependência direta de nascentes e do reservatório, somada à ausência de sistemas coletivos de distribuição, gera vulnerabilidade para as

comunidades rurais, sobretudo em períodos de estiagem, quando a pressão sobre os recursos hídricos aumenta. A degradação das áreas de entorno também compromete a qualidade da água, exigindo que os moradores adotem práticas domésticas de tratamento, como fervura, filtração e adição de hipoclorito de sódio. Embora essas estratégias reduzam parcialmente os riscos, não asseguram a potabilidade da água consumida. Experiências de gestão comunitária em outros contextos, como em Marechal Cândido Rondon (PR), apontam que a combinação de tecnologias sociais e apoio institucional pode ampliar a universalização do abastecimento rural (ATHAYDE; REZENDE, 2025), o que reforça a importância de soluções descentralizadas adaptadas ao semiárido.

Em relação ao saneamento, verificou-se a predominância de fossas rudimentares, muitas delas sem manutenção, o que representa risco de contaminação do lençol freático. Essa condição se agrava em períodos de seca, quando a concentração de poluentes aumenta nos mananciais. Situação semelhante é descrita por Marcon e Wesz Junior (2024), ao destacarem que o novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), embora avance na definição de metas de universalização, ainda encontra barreiras para atender áreas rurais, onde as condições socioeconômicas e estruturais dificultam a implementação de soluções seguras.

No manejo de resíduos sólidos, constatou-se que a prática mais recorrente é a queima ou enterramento, diante da ausência de coleta pública regular. Esse padrão, comum em comunidades rurais do semiárido, contribui para poluição difusa e proliferação de vetores, ampliando os riscos ambientais e sanitários. Rosa, Teixeira e Hora (2023) ressaltam que metodologias participativas, ao envolverem diretamente as comunidades, podem viabilizar soluções adaptadas às realidades locais e, ao mesmo tempo, fortalecer a resiliência frente a eventos climáticos extremos.

A escassez hídrica exerce influência significativa sobre esse cenário, intensificando a carga poluente nos mananciais e comprometendo a eficiência dos sistemas rudimentares de saneamento. Silva Júnior (2015) já havia destacado que a redução da disponibilidade hídrica no semiárido aumenta a incidência de doenças de veiculação hídrica, associadas à precariedade do saneamento. Nesse contexto, a atuação do Conselho Gestor dos Açudes do Bitury e Pedro Moura Júnior (CONSU Bitury) desponta como instrumento essencial de governança participativa, podendo ser potencializada pelo fortalecimento da participação

social e pela articulação com políticas públicas.

A Tabela 1 sintetiza as condições de saneamento e uso da água nas comunidades estudadas, evidenciando heterogeneidade entre as propriedades.

Tabela 1. Condições de saneamento e uso da água nas comunidades rurais da microbacia do Açude Bitury, Belo Jardim–PE.

Localidade	Nº Nascentes	Abastecimento Hídrico	Tratamento de água	Esgotamento sanitário	Resíduos sólidos	Nº Moradores
Sítio Jurema	2	Água encanada	Tratada pela COMPESA	Fossa individual	Queima	4–6
Sítio Jussará	5	Água da nascente	Sem tratamento	Ao ar livre	Queima	4–6
Sítio Palmeira	14	Água da nascente	Tratada em casa (sem químico)	Fossa individual	Queima	1–3
Sítio Serrinha	2	Água da nascente	Tratada em casa (com hipoclorito de sódio)	Fossa individual	Queima	1–3
Sítio Queimadas	3	Água da nascente	Tratada em casa (sem químico)	Fossa individual	Queima	4–6

Fonte: Dados da pesquisa de campo realizada pelas autoras com os proprietários das comunidades rurais da microbacia do Açude Bitury, Belo Jardim–PE (2024–2025).

A análise integrada dos dados mostra que propriedades com maior número de nascentes e melhor preservação da mata ciliar apresentam condições mais favoráveis de abastecimento e menor risco de contaminação. Entretanto, a predominância do tratamento doméstico rudimentar e a ausência de sistemas coletivos de abastecimento reforçam a vulnerabilidade das comunidades. Do mesmo modo, práticas inadequadas de esgotamento sanitário e de destinação dos resíduos sólidos, associadas à escassez hídrica, agravam os riscos ambientais e sanitários, especialmente em períodos de seca prolongada. Esses achados corroboram a literatura ao indicar que as limitações no saneamento rural do semiárido pernambucano resultam da interação entre escassez hídrica, baixo investimento em infraestrutura e fragilidade dos mecanismos de governança, o que demanda soluções descentralizadas e participativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidenciou que as comunidades rurais da região da Barragem do Bitury, em Belo Jardim–PE, enfrentam sérias limitações em relação ao abastecimento de água, ao esgotamento sanitário e à gestão de resíduos sólidos. O abastecimento depende de fontes locais, frequentemente sem tratamento coletivo, o que aumenta a vulnerabilidade à contaminação. O esgotamento sanitário é realizado principalmente por fossas rudimentares sem manutenção adequada, enquanto os resíduos sólidos são descartados por queima ou enterramento, devido à ausência de coleta pública.

Essas condições reforçam os riscos ambientais e de saúde pública, especialmente em períodos de estiagem prolongada. Assim, conclui-se que a realidade observada não assegura serviços adequados de saneamento às populações rurais locais, o que exige a implementação de alternativas descentralizadas e adaptadas às especificidades do semiárido pernambucano.

Portanto, intervenções integradas, articulando aspectos técnicos, sociais e institucionais, são fundamentais para reduzir a vulnerabilidade das comunidades rurais frente às mudanças climáticas, assegurando melhorias na saúde pública e na sustentabilidade dos recursos hídricos do semiárido pernambucano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). 2015. Base hidrográfica ottocodificada. 2. ed. Brasília: ANA.

Agência Nacional de Águas (ANA). 2018. Nota Técnica nº 14/2018/COMAR/SRE – Marco regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Bitury e Belo Jardim, no Estado de Pernambuco. Brasília: ANA.

Almeida, Jailson de Arruda. 2021. Governança da água do açude do Bitury na bacia hidrográfica do rio Ipojuca – Pernambuco. Dissertação de Mestrado Profissional, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Athayde, Vitor Prá de, e Sonaly Rezende. 2025. “Universalização do abastecimento de água em áreas rurais: a entrada na agenda de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.” Cadernos de Saúde Pública 41 (2). https://doi.org/10.1590/0102-311XPT036124.

Marcon, Adriano Marcos, e Valdemar João Wesz Junior. 2024. “O ‘novo’ marco legal e a universalização do saneamento básico no espaço rural.” Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais 26. https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202441pt.

Pernambuco. 2020. Decreto nº 49.977, de 16 de dezembro de 2020. Cria o Refúgio de Vida Silvestre Mata do Bitury. Diário Oficial do Estado, Recife.

Rosa, Marlison Noronha, Denilson Teixeira, e Karla Emmanuela Ribeiro Hora. 2023. "Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas." Saúde e Sociedade 32 (2). https://doi.org/10.1590/S0104-12902023201040pt.

Silva Júnior, Luciano Gomes da. 2015. "Ação antrópica em torno das nascentes da Microbacia do Rio Bitury, Município de Belo Jardim (Região Agreste de Pernambuco)." Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade 2 (3): 105–19.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035454

DIAGNÓSTICO DO ACESSO AO SANEAMENTO BÁSICO EM COMUNIDADES COM CARACTERÍSTICAS RURAIS: OCUPAÇÕES MARIELLE FRANCO E ALTO DA CONQUISTA, SIMÕES FILHO-BA

DIAGNÓSTICO DEL ACCESO AL SANEAMIENTO BÁSICO EN COMUNIDADES CON CARACTERÍSTICAS RURALES: OCUPACIONES MARIELLE FRANCO Y ALTO DA CONQUISTA, SIMÕES FILHO-BA

DIAGNOSIS OF ACCESS TO BASIC SANITATION IN COMMUNITIES WITH RURAL CHARACTERISTICS: MARIELLE FRANCO AND ALTO DA CONQUISTA OCCUPATIONS, SIMÕES FILHO-BA

Vitor Manoel Martins Barreto[1], Luísa Queiroz e Queiroz[2], Thamiris Santos de Santana[3] e Francisco Ramon Alves do Nascimento[4].

[1]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, vitorbarreto@ufba.br, 0009-0002-7098-129X;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, l.queiroz@ufba.br, 0009-0001-3534-5522;
[3]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, thamirisss@ufba.br, 0009-0007-0418-0511;
[4]Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 02 – Saneamento estruturante: Gestão e políticas Públicas
Regulação e fiscalização dos serviços de saneamento no meio rural.

Eje Temático 02 – Saneamiento estructural: Gestión y políticas públicas
Regulación e inspección de los servicios de saneamiento en zonas rurales.

RESUMO

O acesso ao saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição Federal e pelas Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020, representando um dos principais indicadores de desenvolvimento socioambiental e estando alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6 da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Apesar dos avanços legais, profundas desigualdades ainda persistem no país, especialmente em áreas periféricas e ocupações urbanas informais, onde o déficit de infraestrutura intensifica a vulnerabilidade socioambiental. Este estudo tem como objetivo analisar as condições de acesso ao saneamento básico nas ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco, localizadas em Simões Filho (BA), na Região Metropolitana de Salvador. A pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, com base em dados qualitativos e quantitativos provenientes do Censo Comunitário realizado pelo Projeto Periferia Viva (2024), complementados por informações do SINISA, IBGE, legislações federais e literatura acadêmica. As informações foram sistematizadas e comparadas com indicadores municipais, estaduais e nacionais, buscando compreender as desigualdades no acesso aos serviços de abastecimento de água,

esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Os resultados revelam que as ocupações analisadas apresentam índices extremamente baixos de atendimento aos serviços de saneamento. Apenas 10,26% das edificações possuem ligação formal à rede de abastecimento, e nenhuma está conectada oficialmente à rede coletora de esgoto. As alternativas comumente utilizadas (fossas rudimentares, ligações improvisadas e descarte no solo) tornam a população suscetível a riscos sanitários e ambientais. Além disso, se observam sistemas deficitários na drenagem urbana e na coleta de resíduos, agravadas pela informalidade fundiária. De modo geral, a efetivação do direito ao saneamento nessas comunidades requer a implementação intensificada e continuada de políticas públicas integradas que considerem suas especificidades territoriais e socioeconômicas, aliadas à regularização fundiária e à educação socioambiental, para que se avance rumo à universalização prevista no Marco Legal do Saneamento.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Políticas públicas, Semiárido, Planejamento municipal.

RESÚMEN

El acceso al saneamiento básico es un derecho garantizado por la Constitución Federal y las Leyes n.º 11.445/2007 y n.º 14.026/2020. Representa uno de los principales indicadores de desarrollo socioambiental y está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible n.º 6 de la Agenda 2030 de la ONU. A pesar de los avances legales, persisten profundas desigualdades en el país, especialmente en las zonas periféricas y los asentamientos urbanos informales, donde los déficits de infraestructura intensifican la vulnerabilidad socioambiental. Este estudio tiene como objetivo analizar las condiciones de acceso al saneamiento básico en las ocupaciones Alto da Conquista y Marielle Franco, ubicadas en Simões Filho, Bahía, en la Región Metropolitana de Salvador. La investigación adopta un enfoque exploratorio y descriptivo, basado en datos cualitativos y cuantitativos del Censo Comunitario realizado por el Proyecto Periferia Viva (2024), complementados con información de SINISA, IBGE, legislación y literatura académica. La información se sistematizó y comparó con indicadores municipales, estatales y nacionales, buscando comprender las desigualdades en el acceso a los servicios de agua, alcantarillado, gestión de residuos sólidos y drenaje urbano. Los resultados revelan que las ocupaciones analizadas presentan índices extremadamente bajos de acceso a servicios de saneamiento. Solo el 10,26% de los edificios cuenta con conexión formal a la red de agua potable, y ninguno está conectado oficialmente a la red de alcantarillado. Las alternativas empleadas (pozos negros rudimentarios, conexiones improvisadas y disposición final en el suelo) exponen a la población a riesgos para la salud y el medio ambiente. También se observan deficiencias en el drenaje urbano y la recolección de residuos, agravadas por la tenencia informal de la tierra. La realización del derecho al saneamiento en estas comunidades requiere políticas públicas integrales que consideren sus especificidades territoriales y socioeconómicas, combinadas con la regularización de tierras y la educación socioambiental, para avanzar hacia la universalización prevista en el Marco Legal de Saneamiento.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, Planificación municipal.

ABSTRACT

Access to basic sanitation is a right guaranteed by the Federal Constitution and Laws No. 11,445/2007 and No. 14,026/2020. It represents one of the main indicators of socio-environmental development and is aligned with Sustainable Development Goal No. 6 of the UN 2030 Agenda. Despite legal advances, profound inequalities persist in the country, especially in peripheral areas and informal urban settlements, where infrastructure deficits intensify socio-environmental vulnerability. This study aims to analyze the conditions of access to basic sanitation in the Alto da Conquista and Marielle Franco occupations, located in Simões Filho, Bahia, in the Metropolitan Region of Salvador. The research adopts an exploratory and descriptive approach, based on qualitative and quantitative data from the Community Census conducted by the Periferia Viva Project (2024), supplemented by information from SINISA, IBGE, legislation, and academic literature. The information was systematized and compared with municipal, state, and national indicators, seeking to understand inequalities in access to water supply, sewage, solid waste management, and urban drainage services. The results reveal that the analyzed occupations have extremely low rates of sanitation service access. Only 10.26% of buildings have a formal connection to the water supply network, and none are officially connected to the sewage collection network. The alternatives used (rudimentary cesspits, improvised connections, and ground disposal) expose the population to health and environmental risks. Deficiencies in urban drainage and waste collection are also observed, exacerbated by informal land tenure. Realizing the right to sanitation in these communities requires integrated public policies that consider their territorial and socioeconomic specificities, combined with land regularization and socio-environmental education, to advance toward the universalization envisioned in the Sanitation Legal Framework.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Semiarid, Municipal planning.

INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico é um direito fundamental assegurado pela Constituição Federal e pela Lei nº 11.445/2007, e um dos principais indicadores de desenvolvimento socioambiental, alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6 da Agenda 2030 da ONU, que prevê a universalização do acesso à água e ao esgotamento sanitário até 2030. No entanto, em comunidades brasileiras adversas, a oferta desses serviços ainda é precária e desigual, refletindo limitações estruturais, econômicas e institucionais. Apesar dos avanços legais e institucionais, ainda são persistentes profundas desigualdades no país: No ano de 2024, apenas 59,7% da população brasileira vivia em residências com ligação à rede coletora de esgoto, e cerca de 17% permanecia sem acesso à rede de abastecimento de água (SINISA, 2024). Logo, esses dados evidenciam que a universalização do saneamento prevista ainda representa um grande desafio no Brasil.

Esse déficit acentua-se em áreas periféricas, onde a ausência de planejamento urbano e a informalidade das ocupações, dificulta a implantação de serviços básicos, ampliando a exclusão e vulnerabilidade socioambiental (Juliano, Malheiros e Marques 2016). Em Simões Filho, Região Metropolitana de Salvador, destacam-se as ocupações Alto da Conquista (AC) e Marielle Franco (MF), que apresentam infraestrutura deficitária e revelam a desigualdade no acesso ao saneamento básico (Periferia Viva 2024). Nesse viés, urge a necessidade de

políticas públicas e tecnologias apropriadas que promovam a universalização do saneamento em contextos de vulnerabilidade. Além dos impactos diretos sobre a saúde pública, a ausência desses serviços afeta a qualidade ambiental e a sustentabilidade dos recursos hídricos, contrariando os princípios do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 da Agenda 2030 da ONU. Assim, a análise dessas realidades permite compreender os entraves estruturais, que perpetuam a precariedade do acesso aos serviços de saneamento nesses territórios, e subsidiar políticas públicas que promovam equidade e inclusão em localidades em situações similares.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar as condições de acesso ao saneamento básico nas ocupações urbanas AC e MF, em Simões Filho-BA, considerando a importância do acesso a esses serviços para a saúde e bem-estar da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo adotou-se uma abordagem exploratória e descritiva, baseada na utilização de informações secundárias, combinando dados quantitativos e qualitativos para compreender os desafios de acesso ao saneamento básico nas ocupações AC e MF. A população estudada compreende 238 edificações, das quais 156 participaram do Censo, totalizando 392 moradores recenseados. A escolha do objeto de estudo considerou a representatividade das edificações em termos de materiais de construção, posse e formas de acesso a serviços de saneamento, garantindo que os dados reflitam a realidade local.

A opção por esse caráter metodológico se dá pela disponibilidade de informações em bases oficiais, documentos legais e estudos anteriores, a partir de uma análise qualitativa e documental, com interpretação de conteúdo, identificando padrões de comportamento comunitário em práticas mais comuns de saneamento e manejo de resíduos. Os textos normativos e acadêmicos foram analisados a partir de seu conteúdo, buscando identificar informações de relevância para a discussão.

Os dados estatísticos dispostos no Censo Comunitário e os disponibilizados pelo IBGE e SINISA foram sistematizados e organizados de modo a evidenciar particularidades e permitir comparações com a literatura e a legislação vigente, permitindo fieza quanto aos impactos socioambientais e aos desafios à universalização do saneamento nas comunidades.

Caracterização do local de estudo:

As ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco estão inseridas no perímetro do município de Simões Filho-BA, da Região Metropolitana de Salvador, como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1. Localização das ocupações no município de Simões Filho.
Fonte: Periferia Viva, 2024.

Coleta e utilização dos dados:

As principais fontes de informação para a elaboração deste artigo e sua utilização foram dispostas no Quadro 1.

Quadro 1. Fontes de dados e procedimentos metodológicos utilizados

FONTES	TIPOS DE DADOS	FORMAS DE UTILIZAÇÃO	FINALIDADES
Censo Comunitário: "Metodologia das Miudezas: Assessoria Popular na construção de um Conhecimento Técnico-Político-Comunitário nas ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho/BA" - Periferia Viva (2024)	Qualitativos e quantitativos locais (nº de domicílios, acesso à água, esgoto, resíduos e comentários de moradores)	Sistematização em planilha e cálculo dos percentuais de atendimento na comunidade	Identificar as condições reais de saneamento nas comunidades.
Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA (2024)	Quantitativos (indicadores municipais, estaduais e nacionais de saneamento)	Comparação com os indicadores de saneamento das ocupações	Avaliar desigualdades entre o cenário local, municipal, estadual e nacional.
Produções acadêmicas correlatas	Dados qualitativos	Revisão bibliográfica	Fundamentar a discussão acerca da vulnerabilidade e desigualdade de acesso aos serviços e infraestrutura de saneamento básico em localidades similares.
Legislação federal (Leis nº 11.445/2007, nº 14.026/2020 e a Lei 12.305/2010)	Dados normativos	Revisão documental	Identificar diretrizes legais que garantem o direito ao saneamento e verificar efetivação.

Fonte: Autoria Própria 2025.

O Censo Comunitário foi redigido na 5ª edição da Residência em Arquitetura,

Urbanismo e Engenharia (RAU+E) - Especialização em Assistência Técnica, Habitação e Direito à Cidade, da UFBA e realizado pelos membros do Projeto Periferia Viva em parceria com moradoras da comunidade, após um treinamento para recenseamento. O planejamento da equipe se deu em recensear todas as edificações, entretanto houve pouca adesão devido à disponibilidade dos moradores, o que fez com que os resultados fossem apresentados com relação aos moradores e edificações que conseguiram colaborar com o recenseamento (Periferia Viva 2024).

As pesquisas acadêmicas sobre comunidades semelhantes foram apuradas em bases de dados e portais (SciELO, Periódicos Capes) e serviram como referência para compreender e gerar um comparativo entre localidades em situações semelhantes. Esses estudos foram encontrados a partir de uma busca avançada, utilizando-se de palavras-chave como "saneamento em ocupações irregulares" e "saneamento básico" combinado, a partir de operadores lógicos (E/OU), com as palavras (E) "periferia", (E) "ocupação" e (OU) "ocupações irregulares". As pesquisas foram inicialmente selecionadas priorizando publicações dos últimos cinco anos, entretanto, devido a existência de pouco referencial teórico na língua portuguesa nas plataformas citadas, não foi possível realizar recortes temporais, por isso, os artigos foram escolhidos a partir de sua relevância para a discussão, após leitura dos resumos. Essas pesquisas também foram utilizadas para identificar lacunas de conhecimento e fundamentar a discussão teórica deste trabalho. Com isso, o uso destes dados mostra-se adequado, uma vez que possibilita a integração entre diferentes tipos de informação, visando ampliar a compreensão do saneamento em comunidades periféricas e com características rurais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Muitas residências das ocupações AC e MF não possuem estrutura adequada para acesso aos serviços de saneamento. Isto fica evidente com os dados obtidos no Censo Comunitário, que indicou que mais de 50 edificações recenseadas eram feitas de materiais como lona, madeira ou materiais mistos. Somado a isso, há a ausência de banheiros em cerca de 26 edificações recenseadas, o que evidenciou que a falta desta infraestrutura básica dificulta ainda mais o acesso dessas famílias aos serviços de saneamento básico, expondo a população a riscos sanitários referentes à falta de hábitos de higienização (Heller 1998).

Apesar de estarem inseridas geograficamente no perímetro urbano municipal, a dinâmica de vida dessas pessoas de baixa renda se apresenta de maneira diferente ao observado em regiões centrais da cidade. As ocupações apresentam pouco ou nenhum atendimento aos serviços de saneamento, calçamento das vias e, até mesmo, falta de transporte público. Sendo estes fatores importantes para verificar se uma localidade pode ser considerada urbana ou não (IBGE 2023). Situação também observada em outras comunidades em situação semelhante, como a ocupação Vitória no município de Belo Horizonte-MG (Arruda e Heller 2022, Periferia Viva 2024).

Abastecimento de água:

Segundo dados do Censo Comunitário, cerca de 135 edificações presentes nas ocupações, tiveram a ligação à rede de abastecimento de água feita por esforços próprios, o que representa cerca de 56,7% das edificações construídas no local estudado e 86,54% das edificações recenseadas. Conforme respostas dos moradores, 16 edificações participantes do Censo (10,26%) tiveram a ligação feita pela Embasa (empresa responsável pelos serviços de

abastecimento de água e coleta de esgoto na maior parte do estado da Bahia, incluindo o município de Simões Filho). Foi relatado que, em pelo menos três casas, os moradores tinham que buscar água com baldes ou outros recipientes fora do domicílio. Acrescido às formas inadequadas de abastecimento de água, têm-se a intermitência no abastecimento, problema reconhecido pelos donos de aproximadamente 57% das edificações que participaram do recenseamento. Logo, cabe atenção, pois em locais onde ocorre o uso de fontes alternativas de abastecimento sem o tratamento adequado, os moradores ficam mais suscetíveis a contrair doenças de veiculação hídrica como a giardíase (Hadam *et al.* 2020).

Em locais em situação semelhante às ocupações, foi recomendado que antes do consumo direto de água (para os casos de ligação inadequada), fossem tomadas ações para que a presença de microorganismos que ofereçam risco biológico à população fosse reduzida, como a lavagem periódica dos recipientes de armazenamento da água (incluindo os reservatórios), fervura, filtração e cloração da água. Sendo necessário que, antes que fossem feitas as recomendações, ocorram ações de educação ambiental nas comunidades, a fim de explicar a necessidade dessas medidas e como as doenças podem ser prevenidas com as ações, que podem passar despercebidas no cotidiano da população. Dessa forma, as ações realizadas podem ser expostas para pessoas de diferentes faixas etárias e auxiliar na prevenção de ocorrência de doenças diarreicas e parasitoses (Hadam *et al.* 2020).

Esgotamento sanitário:

Em AC e MF a ausência de esgotamento causa grandes problemas, como visto nas denúncias de mau-cheiro ocasionadas pelo descarte inadequado do esgoto. O acesso à rede coletora é um assunto sensível, devido, principalmente, ao fato que grande parte das residências recenseadas apresentam fossas rudimentares como sistema de esgotamento, sendo cerca de 24,6% das moradias recenseadas (Periferia Viva 2024). Um percentual ainda maior despeja o esgoto doméstico diretamente no solo (30,13%). Outra parcela relevante das edificações apresentam ligação à rede coletora de esgoto autoconstruídas (35,25%), enquanto uma parcela menor apresentava ligação direto num curso d'água natural que margeia a comunidade, o córrego Baraúna. Essas formas alternativas prejudicam todo o meio ambiente em que as comunidades estão inseridas, ao comprometer as formas de vida que se relacionam com esses espaços de despejo de esgoto. Com as formas de esgotamento presentes nas ocupações, tanto os animais quanto as pessoas, que dependem do uso deste solo em que o esgoto está sendo despejado, são expostos a riscos sanitários. Isso se dá, seja na implantação sem o acompanhamento adequado, ou no cotidiano das comunidades, deixando os habitantes, principalmente as crianças, expostos à doenças de veiculação hídrica, principalmente em momentos que o córrego transborda em dias chuvosos (Arruda e Heller 2022).

Coleta de resíduos sólidos:

Na comunidade estudada, não há coleta adequada de resíduos sólidos e os moradores levam seus resíduos até contêineres que estão fora das ocupações, para que a prefeitura faça a coleta ou esperam que o “Papa-lixo” (moto coletora dos resíduos com frequência três vezes na semana) apareça e colete-os em parte das casas. Tendo isso em vista, a maioria dos moradores opta por queimar os seus resíduos ou dispô-los para alimentação de animais. Em paralelo, é notória a ação das catadoras e trabalhadoras do artesanato, que dão uma destinação adequada ou nova função a esses materiais. Ao fazer isso, restaura-se o valor agregado dos materiais, transformando-os numa fonte complementar de renda. Todavia, nas ocupações,

ainda não há ações conjuntas entre moradores da comunidade, de maneira que se possa reservar o material e reduzir a dificuldade no trabalho das catadoras, nem políticas públicas que valorizem o papel das trabalhadoras (Periferia Viva 2024). Junto a isso, foi perceptível pouca ou quase nenhuma ocorrência das boas práticas de gerenciamento de resíduos sólidos preconizadas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010). Essa situação começou a se alterar após a ocorrência de oficinas de compostagem nas ocupações no ano de 2025, integradas às ações de educação socioambiental do Projeto Periferia Viva.

Drenagem de águas pluviais:

Nas ocupações, a água da chuva segue o curso natural, sem nenhum canal ou outro tipo de construção de microdrenagem que evite alagamentos, inundações ou a formação de lama no caminho utilizado pelos moradores. Devido a isso, ao escoar dos pontos mais elevados até o córrego local, o Baraúna, geram-se transtornos aos moradores ao longo do percurso. Isso ocorre por causa da falta de um calçamento nas vias que permita a infiltração da água no solo e, devido às casas estarem localizadas no fundo de vale, ocasiona-se a concentração de água em diversos pontos à medida que a água escoa rumo ao córrego. Este problema é reconhecido pelos habitantes e já foram realizados estudos de implantação pelos membros da equipe do Projeto (Periferia Viva 2024). Além disso, a vulnerabilidade estrutural das moradias amplifica os efeitos da falta de drenagem, já que esse entrave das moradias se justifica devido à falta de condições financeiras, para que construam suas casas em locais e com materiais adequados, já que moradias feitas de materiais como madeira e lona apresentam baixa durabilidade quanto aos eventos adversos climáticos que podem vir a atingir a região.

Comparando os indicadores de acesso aos serviços de saneamento do Brasil, até o ano de 2024 e do Censo Comunitário, pôde-se gerar a Tabela 1, que busca sintetizar dados de acesso, da população em diferentes níveis de organização, aos serviços e infraestruturas de saneamento. Os dados obtidos são alarmantes, tendo em vista que na Lei nº 14026/2020, que alterou o marco legal do saneamento, no artigo 11-B, é indicado que deve ser contemplado 99% de atendimento à população por serviços de abastecimento de água e 90% de cobertura quanto à coleta de esgoto doméstico, ao passo que evite-se a intermitência no atendimento e se atinja a universalização até o dia 31 de dezembro de 2033 ou, em último caso, até o dia 1º de janeiro de 2040. De acordo com a Tabela 1, observa-se que o abastecimento de água na Bahia e no Brasil, atende a apenas 76,49% e 80,56% da população, respectivamente. Em contrapartida, apenas 35,97% da população do estado e 53,50% do país, são atendidas por esgotamento sanitário. Esse cenário evidencia as desigualdades no acesso a esse direito básico, tendo vista que os valores encontrados nas ocupações são calculados com base nas construções recenseadas e nenhum dos entrevistados teve sua casa ligada ao sistema de coleta de esgoto pela Embasa, podendo haver casos de ligações inadequadas que interfiram no bom funcionamento do sistema. Ademais, ainda existe o risco desse esgoto sequer estar sendo levado a uma estação elevatória (Periferia Viva 2024).

Tabela 1. Indicadores do saneamento nas esferas da administração pública e nas ocupações nos anos de 2022 a 2024, baseando-se em domicílios totais atendidos (água e esgoto), população atendida (resíduos) e redes em vias urbanas (drenagem).

LOCAL DE ANÁLISE	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	ESGOTAMENTO SANITÁRIO	DRENAGEM URBANA	COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
OCUPAÇÕES AC/MF*	10,26%	0-35,25%	0,0%	**
SIMÕES FILHO	78,73%	37,10%	72,73%	86,43%
BAHIA	76,49%	35,97%	23,66%	85,79%

BRASIL	80,56%	53,50%	37,08%	91,31%

Fonte: Adaptado do SINISA e Periferia Viva.

*Valores obtidos com base nas edificações recenseadas.

**Não há dados sobre a cobertura de coleta que o "papa-lixo" realiza nas ocupações.

A partir da Tabela 1, pôde-se observar que as ocupações AC e MF estão longe do cumprimento das metas estabelecidas pela Lei nº 14.026/2020. Os indicadores de saneamento apresentados nas ocupações se mostraram muito abaixo do apresentado nos âmbitos municipal, estadual e nacional, que também se apresentam de maneira distante do visado na normativa. Esse fato evidencia-se ainda mais ao levar em consideração que nenhuma edificação recenseada possui ligação à rede de esgoto realizada pela Embasa e, as que possuíam ligações, eram feitas de maneira improvisada. Essa desigualdade nas esferas da administração pública reforçam o caráter estrutural da exclusão no acesso ao saneamento, já apontado por autores como Heller (1998) e Arruda e Heller (2022), e evidencia que o alcance da universalização prevista para o ano de 2033 ainda é distante. Os dados também demonstram que a falta de políticas específicas para assentamentos precários contribui para a perpetuação das vulnerabilidades socioambientais observadas nas ocupações estudadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É imprescindível que hajam intervenções que, inicialmente, forneçam meios para que os moradores consigam os títulos de posse de suas moradias através da regularização fundiária, bem como a sua inserção facilitada em programas que visem a execução de melhorias nas habitações. Do contrário, que seja fornecido um auxílio financeiro para reformas das casas em situação de maior vulnerabilidade, a fim de que todas as moradias possam usufruir de sistemas adequados de abastecimento de água e esgotamento sanitário, ao se implantar gradativamente os serviços de saneamento na comunidade. Paralelamente a isso, é necessário que ocorram ações intensificadas de educação socioambiental com os moradores das ocupações, algo que já vem ocorrendo mediante a ação dos integrantes do Projeto Periferia Viva em conjunto com moradoras da comunidade, para garantir a manutenção do conhecimento sobre seus direitos adquiridos pela comunidade.

No decorrer do trabalho, pôde-se observar a falta de estudos mais aprofundados relacionados aos serviços e infraestrutura de drenagem urbana para essas comunidades, com características rurais, que subsidiassem a implantação de serviços alternativos, mas eficientes, com o objetivo de evitar a ocorrência de pontos de alagamento e inundações ou até deslizamentos. A universalização do saneamento básico, prevista no Marco Legal, só será efetiva se considerar as especificidades socioeconômicas e territoriais dessas ocupações, promovendo políticas públicas integradas e participativas que reconheçam o caráter estrutural das desigualdades no acesso ao saneamento básico em todo o país.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos membros do grupo PET ESA e aos Participantes do Projeto Periferia Viva pelas contribuições neste trabalho e ao FNDE/MEC pela concessão de bolsas ao grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arruda, Amanda Elias, e Léo Heller. 2022. "Acesso à água e esgotos em ocupação urbana na Região Metropolitana de Belo Horizonte: efeitos na saúde, qualidade de vida e relações de gênero." *Physis: Revista de Saúde Coletiva* 32 (2). https://doi.org/10.1590/S0103-73312022320204.

Brasil. 2007. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Acesso em: 20 ago, 2025. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm .

Brasil. 2010. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 13 out. 2025.

Brasil. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera normativos correlatos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Acesso em: 10 ago, 2025. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.

Handam, Natasha Berendonk, José Augusto Albuquerque dos Santos, Antonio Henrique Almeida de Moraes Neto, Maria de Fátima Leal Alencar, Caroline Ferraz Ignacio, e Adriana Sotero-Martins. 2020. "Drinking Water Quality in Brazilian Urban Slums." *Revista Ambiente & Água* 15 (3): e2532. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2532.

Heller, Léo. 1998. "Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento." *Ciência & Saúde Coletiva* 3 (2): 73–84. https://doi.org/10.1590/S1413-81231998000200005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Proposta metodológica para a classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil*. Rio de Janeiro. IBGE, 2023. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102019.pdf.

Juliano, Ester Feche Guimarães de Arruda, Tadeu Fabrício Malheiros, e Rui Cunha Marques. 2016. "Lideranças comunitárias e o cuidado com a saúde, o meio ambiente e o saneamento nas áreas de vulnerabilidade social." *Ciência & Saúde Coletiva* 21 (3): 789–796. https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.21862015.

Residência em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia (RAU+E), UFBA. 2024. Metodologia das Miudezas: Assessoria Popular na construção de um Conhecimento Técnico-Político-Comunitário nas ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho/BA. Salvador: Universidade Federal da Bahia.

Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA). 2025. "Painel de indicadores - 2024." Portal de Cidades. Acessado em 30 jul, 2025. https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035484

DIAGNÓSTICO DO SANEAMENTO BÁSICO NO TERRITÓRIO DE IDENTIDADE CHAPADA DIAMANTINA

DIAGNÓSTICO DEL SANEAMIENTO BÁSICO EN EL TERRITORIO DE IDENTIDAD CHAPADA DIAMANTINA

BASIC SANITATION DIAGNOSTIC IN THE IDENTITY TERRITORY CHAPADA DIAMANTINA

Luísa Queiroz e Queiroz[1], Anderson Wendel Pinheiro da Silva[2], Gabriel Fernandes Bastos Costa Ricardo[3] e Francisco Ramon Alves do Nascimento[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, l.queiroz@ufba.br, 0009-0001-3534-5522;
[2]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil, andersonwendel2004@gmail.com, 0009-0004-6562-3011;
[3]Graduando no Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil, ricardo.gabriel@ufba.br , 0009-0000-8299-4093;
[4]Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas
Regulação e fiscalização dos serviços de saneamento no meio rural.

RESUMO

O presente artigo objetiva diagnosticar o acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos 24 municípios que fazem parte do Território de Identidade Chapada Diamantina (TICD), localizado no estado da Bahia, que é um território de inegável importância, destino de ecoturismo e detentor de vasto patrimônio histórico e cultural brasileiro, cuja gestão de saneamento se faz necessária, mas revela um quadro preocupante em desacordo com o Marco Legal do Saneamento (Lei n◦ 11455 de janeiro de 2007), então, a partir de uma pesquisa sobre o tema em bases de dados como o Periódicos CAPES e Scielo, a leitura de legislações pertinentes, a coleta de dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) e uma análise de alguns de seus indicadores, foi aplicada a metodologia de avaliação de indicadores da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS) de 2015 para classificação dos índices, e seus resultados demonstram um quadro preocupante na distribuição efetiva dos serviços de esgotamento sanitário (que apresenta uma alarmante carência de informações disponíveis para análise) e de abastecimento de água, sendo que alguns municípios recebem serviços de abastecimento de água sob gestão mista (como Boninal, Jussiape, Novo Horizonte e Seabra), e são os de gestão privada que apresentaram o pior desempenho geral, nota-se também a concentração de resultados desfavoráveis nas regiões rurais e a deficiência na distribuição, principalmente do esgotamento sanitário, portanto, é reforçada a necessidade de revisão e atualização das políticas públicas de

saneamento no Território Identidade Chapada Diamantina, pois tais falhas comprometem a saúde e o desenvolvimento do território e de sua população, sendo imperativo o cumprimento da legislação, a solução de problemas de gestão e a ampliação da cobertura de serviços, assim como a melhoria na disponibilização de dados ao SINISA, a fim de se aproximar do cumprimento das metas de universalização no prazo estabelecido.

Palavras-chave: Saneamento básico, Território de Identidade Chapada Diamantina, Indicadores, Abastecimento de água, Esgotamento sanitário

RESÚMEN

El presente artículo tiene como objetivo diagnosticar el acceso a los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento de aguas residuales en los 24 municipios que componen el Territorio de Identidad Chapada Diamantina (TICD), ubicado en el estado de Bahía, un territorio de innegable importancia para Brasil, siendo un destacado destino de ecoturismo y poseedor de un vasto patrimonio histórico y cultural, cuya gestión de saneamiento es fundamental pero revela un panorama preocupante en desacuerdo con el Marco Legal del Saneamiento (Ley n◦ 11.455 de enero de 2007), por lo cual, a partir de una investigación temática en bases de datos como Periódicos CAPES y SciELO, la revisión de la legislación pertinente, la recopilación de datos del Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento Básico (SINISA) y el análisis de algunos de sus indicadores, se aplicó la metodología de evaluación de indicadores de la Agencia Reguladora Intermunicipal de Saneamiento (ARIS 2015) para la clasificación de los índices, y los resultados demuestran un cuadro inquietante en la distribución efectiva de los servicios de saneamiento de aguas residuales (que presenta una alarmante escasez de información disponible para el análisis) y de abastecimiento de agua, siendo los municipios con servicios de abastecimiento de agua bajo gestión privada (como Boninal, Jussiape, Novo Horizonte y Seabra) los que mostraron el peor desempeño general, además, se observa la concentración de resultados desfavorables en las zonas rurales y la deficiencia en la distribución, principalmente del saneamiento de aguas residuales, por lo tanto, se refuerza la necesidad urgente de revisión y actualización de las políticas públicas de saneamiento en el Territorio de Identidad Chapada Diamantina, ya que tales fallas comprometen la salud y el desarrollo del territorio y de su población, siendo imperativo el cumplimiento de la legislación, la solución de problemas de gestión y la ampliación de la cobertura de servicios, así como la mejora en la disponibilidad de datos al SINISA, con el fin de acercarse al cumplimiento de las metas de universalización en el plazo establecido.

Palabras clave: Saneamiento básico, Territorio de Identidad Chapada Diamantina, Indicadores, Abastecimiento de agua, Saneamiento

ABSTRACT

This article aims to diagnose the access to water supply and sanitary sewage services across the 24 municipalities comprising the Chapada Diamantina Identity Territory (TICD), situated in the state of Bahia, a region of undeniable importance for Brazil, recognized as a prime ecotourism destination and the custodian of vast historical and cultural heritage, where effective sanitation management is crucial but currently reveals a worrying situation that conflicts with the universalization goals set forth by the Brazilian Legal Framework for Sanitation (Law n◦ 11.455 of January 2007). The research methodology involved a thorough

thematic review utilizing databases such as Periódicos CAPES and SciELO, a close reading of relevant legislation, the collection of data from the National Information System on Basic Sanitation (SINISA), and a subsequent analysis of selected indicators, applying the indicator evaluation methodology developed by the Intermunicipal Regulatory Agency for Sanitation (ARIS 2015) for index classification. The results conclusively demonstrate a disturbing deficiency in the effective distribution of sanitary sewage services, which is further exacerbated by an alarming scarcity of available data for comprehensive analysis, alongside poor performance in water supply. Specifically, municipalities receiving water supply services under private management (including Boninal, Jussiape, Novo Horizonte, and Seabra) exhibited the worst overall performance, and a significant concentration of unfavorable results was observed in rural areas, highlighting structural inequities and a persistent distribution deficit, particularly regarding sanitary sewage. Therefore, the study strongly reinforces the urgent need for a comprehensive review and immediate update of public sanitation policies throughout the Chapada Diamantina Identity Territory, as these failures severely compromise the health and sustainable development of the territory and its population, making it imperative to comply with the legislation, resolve complex management issues, implement a rapid expansion of service coverage, and improve the mandatory data reporting to SINISA, thereby working towards establishing the universalization targets within the stipulated deadline.

Keywords: Basic sanitation, Identity Territory Chapada Diamantina, Indicators, Water supply, Sanitary draining

INTRODUÇÃO

A partir da Lei n° 11.445 de janeiro de 2007, diretrizes foram implementadas em âmbito nacional, e foi prevista a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico, a fim de garantir a universalização do acesso da população aos serviços de saneamento básico. A Lei 14.026 de julho de 2020, que alterou o marco legal do saneamento, contém objetivos e metas de universalização e atendimento de 99% da população com água potável e 90% dela com coleta e tratamento de esgoto, propõe também a criação de planos regionais de saneamento básico pelos Estados e Municípios e dita que essas metas devem ser atingidas até 31 de dezembro de 2033 (Brasil 2020).

De acordo com os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA 2024), o estado da Bahia conta com uma população de aproximadamente 14,3 milhões de pessoas, sendo 10,3 e 4,0 milhões de pessoas referentes à população urbana e rural, respectivamente. Quanto ao abastecimento de água, 80,8% da população total é atendida por rede de abastecimento de água, desses 97,7% e 36,1% da população urbana e rural, respectivamente, é atendida. Quanto ao esgotamento sanitário, 41,35% da população total é atendida com rede coletora de esgoto. Em relação às populações urbanas e rurais, 55,3% e 3,2% da população é atendida com rede coletora de esgoto (SINISA 2024). Apesar dos dados demonstrarem uma baixa cobertura do saneamento básico, principalmente para a população rural, os serviços de saneamento são imprescindíveis quando se fala em saúde e bem estar da população. A ausência da prestação de um serviço de saneamento de qualidade para a população, apresenta risco para a saúde pública, como no período de 1830 e 1850, quando diversas epidemias letais surgiram no Brasil, sendo em sua maioria causadas por doenças de veiculação hídrica (Brasil 2021).

Segundo Medeiros et al. (2024), a governança de gestão dos serviços de saneamento

básico é uma ferramenta fundamental para a identificação das competências e responsabilidades das instituições governamentais, assegurando o acesso da população aos serviços públicos. O estudo se justifica pela importância desse território, no qual o relevo, as cavernas, os cânions e corpos hídricos, são visitados devido ao ecoturismo, constituído a partir de diversas trilhas presentes na região, além do Parque Nacional da Chapada Diamantina (Araújo *et al.* 2024). A situação do saneamento básico na região é preocupante, principalmente, em relação à falta de sistemas de esgotamento sanitário. Os resultados do estudo realizado por Silva *et al*. (2023) indicaram que, nos anos de 2006 e 2014, menos de 20% das famílias eram atendidas com serviço de esgotamento sanitário nos municípios do TICD. Assim, o objetivo deste trabalho é diagnosticar o acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no TICD.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Território de Identidade Chapada Diamantina (TICD) está localizado no centro-oeste do território baiano (Figura 1), que abrange aproximadamente 32793,50 km² e engloba 24 municípios (Bahia 2024). É notoriamente conhecido pelo apelo turístico e conta com sítios rupestres, sítios arqueológicos, geológicos, representando grande potencial para o desenvolvimento do turismo de base comunitária, científico e ecoturismo (CODETER 2016).

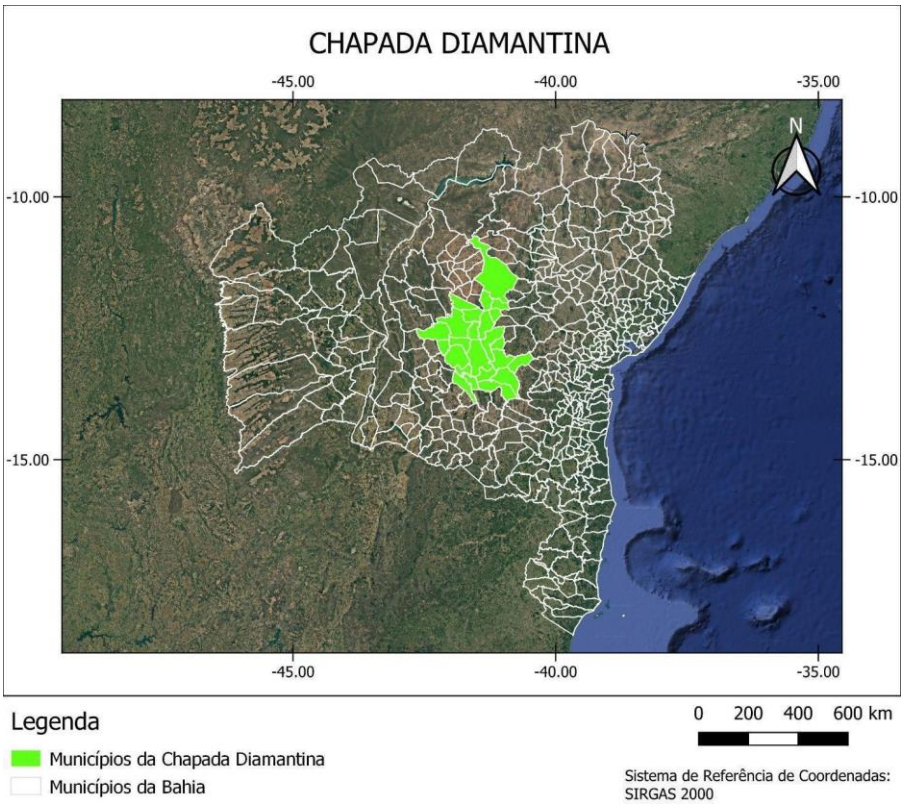


Figura 1. Território georreferenciado Chapada Diamantina
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A seleção da área de estudo foi fundamentada na necessidade de diagnosticar a situação

atual dos sistemas de saneamento básico no TICD. O objetivo central é gerar subsídios técnicos para a proposição de medidas mitigadoras, visando à universalização desses serviços. A relevância da pesquisa reside no papel crítico que tais infraestruturas exercem no desenvolvimento socioeconômico regional, notadamente para a consolidação das atividades de ecoturismo, setor estratégico dada a significância histórica e ambiental da região.

Para o diagnóstico do saneamento básico no TICD, inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema nas bases de dados das plataformas SciELO e Periódicos CAPES, utilizando, primeiramente, os operadores booleanos "sanitation OR basic sanitation", "saneamento", e restringindo a artigos que tratassem do tema no território brasileiro. A fim de focar na região de estudo, foi adicionado na busca por artigos o operador "Chapada Diamantina", a fim de obter um panorama geral da situação atual e dos tipos de estudos que já foram feitos na região. Como resultado desta busca, apenas um artigo foi encontrado, que abordou a região do TICD como um todo.

Quanto à seleção dos artigos, os critérios foram: artigos publicados nos últimos seis anos, trabalhos que tratassem do saneamento básico em estados ou municípios brasileiros e, especificamente, no TICD. Trabalhos que não abordassem localidades brasileiras, ou publicados fora do período temporal delimitado não foram utilizados. Foi feita a leitura dos artigos selecionados e de legislações pertinentes (leis e resoluções, como o Marco Legal do Saneamento do Governo Federal) e documentos governamentais sobre o Território de Identidade Chapada Diamantina. Com isso, foi possível estabelecer a linha a ser seguida pelo presente artigo.

Em seguida, as Planilhas de Informações e Indicadores de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário — disponibilizadas pelo SINISA (Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico), antigo SNIS — foram baixadas e consultadas, a fim de selecionar os indicadores das dimensões Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário a serem analisados. Foram utilizados 6 indicadores para análise da categoria Atendimento quanto ao serviço de abastecimento de água: I - Atendimento da população total com rede de abastecimento de água (IAG0001); II - Atendimento da população urbana com rede de abastecimento de água (IAG0002); III - Atendimento da população rural com rede de abastecimento de água (IAG0003); IV - Atendimento dos domicílios totais com rede de abastecimento de água (IAG0004); V - Atendimento dos domicílios urbanos com rede de abastecimento de água (IAG0005); VI - Atendimento dos domicílios rurais com rede de abastecimento de água (IAG0006). Quanto à categoria Estruturais e Operacionais, o indicador utilizado foi: I - Perdas totais de água na distribuição (IAG2013). Já para o serviço de esgotamento sanitário, 6 indicadores foram utilizados para análise da categoria Atendimento: I - Atendimento da população total com rede coletora de esgoto (IES0001); II - Atendimento da população urbana com rede coletora de esgoto (IES0002); III - Atendimento da população rural com rede coletora de esgoto (IES0003); IV - Atendimento dos domicílios totais com coleta e tratamento de esgoto (IES0007); V - Atendimento dos domicílios urbanos com coleta e tratamento de esgoto (IES0008); VI - Atendimento dos domicílios rurais com coleta e tratamento de esgoto (IES0009). Quanto à categoria Estruturais e Operacionais, os 3 indicadores utilizados foram: I - Esgoto coletado referido à água (IES2002); II - Esgoto tratado referido à água consumida (IES2003); e III - Esgoto tratado referido ao esgoto coletado (IES2004).

Os dados coletados foram filtrados para coletar apenas informações sobre os municípios do TICD. Para análise dos dados, uma tabela foi construída para cada dimensão.

Posteriormente à síntese de dados, foi buscada a metodologia adequada para classificação dos dados obtidos. Para isso, foi escolhida a "Metodologia Para Avaliação Dos Indicadores De Desempenho" da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS), e das 5 dimensões foram escolhidas as de "Eficiência" e "Universalização", equivalentes às dimensões "Estruturais e Operacionais" e "Atendimento" do SINISA, respectivamente. Logo, os indicadores do SINISA escolhidos foram relacionados às dimensões da metodologia escolhida e a mesma foi aplicada a cada um de seus resultados, em uma tabela com as informações de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Em seguida, os resultados obtidos para cada índice foram classificados de acordo com a metodologia de ARIS (2015), conforme Tabela 1, considerando Ideal, faixa que representa o cenário normativo do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), Satisfatório faixa que representa um resultado suficiente e aceitável, Insatisfatório, que representa um cenário insuficiente, e Não Informado, que representa quando não há informações sobre o indicador.

Tabela 1. Equivalência, classificação e definição do intervalo de referência dos indicadores, 2025

Serviços de Saneamento	Dimensão SINISA	Indicadores de Desempenho	Intervalos de Referência para Avaliação de Indicadores
Abastecimento de Água	Estruturais e Operacionais	IAG2013	IDEAL ≤ 28% | 28%< SATISFATÓRIO <35% | INSATISFATÓRIO ≥ 35%.
	Atendimento	IAG0001; IAG0002; IAG0003; IAG0004; IAG0005; IAG0006.	IDEAL ≥ 90% | 80%≤ SATISFATÓRIO <90% | INSATISFATÓRIO <80%.
Esgotamento Sanitário	Estruturais e Operacionais	IES2002	
		IES2003; IES2004.	IDEAL =100% | 90%≤ SATISFATÓRIO <100% | INSATISFATÓRIO <90%.
	Atendimento	IES0001; IES0002; IES0003; IES0007; IES0008; IES0009.	IDEAL ≥90% | 80%≤ SATISFATÓRIO <90% | INSATISFATÓRIO <80%.

Fonte: Elaboração própria, baseado em ARIS (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos, foi possível observar que, na dimensão abastecimento de água (Tabela 2), os indicadores com os melhores resultados foram o IAG2013 (com 24 resultados ideais, 5 satisfatórios, 17 insatisfatórios e 1 não informado) e o IAG0002 (com 24 resultados ideais e 13 insatisfatórios). O pior indicador da dimensão foi o IAG0006, com 1 resultado ideal e 36 insatisfatórios, ou seja, 97,3% dos municípios. Os municípios foram representados na dimensão abastecimento de água com e sem o "*" ao final de seu nome para indicar municípios de natureza jurídica associação privada ou sociedade de economia mista/municipal, respectivamente.

Tabela 2. Classificação dos indicadores relacionados ao Abastecimento de Água.

MUNICÍPIO	DESEMPENHO DOS INDICADORES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA						
	ATENDIMENTO						ESTRUTURAIS E OPERACIONAIS
	IAG0001	IAG0002	IAG0003	IAG0004	IAG0005	IAG0006	IAG2013
Abaíra							
Andaraí; Iramaia; Itaeté; Jussiape; Marcionílio Souza.							
Barra da Estiva; Ibitiara*; Wagner*.							

Boninal*; Jussiape*; Novo Horizonte*; Seabra*.							
Boninal; Iraquara; Lençóis; Morro do Chapéu; Seabra; Wagner.							
Bonito*; Lençóis*; Palmeiras*; Souto Soares*.							
Bonito							
Ibicoara; Ibitiara.							
Iraquara*							
Mucugê							
Nova Redenção							
Novo Horizonte							
Palmeiras							
Piatã							
Rio de Contas*							
Rio de Contas							
Souto Soares							
Utinga*							
Utinga							
IDEAL	16,22%	64,86%	13,51%	8,11%	18,92%	2,70%	64,86%
SATISFATÓRIO	2,70%	0,00%	2,70%	0,00%	5,41%	0,00%	13,51%
INSATISFATÓRIO	81,08%	35,14%	83,78%	91,89%	54,05%	97,30%	18,92%
NÃO INFORMADO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	21,62%	0,00%	2,70%

Fonte: Elaboração Própria, baseada em SINISA (2024).

Já na dimensão esgotamento sanitário (Tabela 3) se concentram os piores resultados, de forma geral. O indicador IES2004 obteve os melhores resultados (10 resultados ideais e 3 satisfatórios, dentre as informações disponíveis). Os indicadores que apresentaram os piores resultados foram IES0008 e IES0001, com todos os resultados disponíveis insatisfatórios, ou seja, 64,86% dos municípios. Além disso, há uma significativa redução na quantidade de informações disponibilizadas nessa dimensão, demonstrando a desatenção dedicada à distribuição dos serviços e suas respectivas informações.

Tabela 3. Classificação dos indicadores relacionados ao Esgotamento Sanitário.

MUNICÍPIO	**DESEMPENHO DOS INDICADORES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**								
	ATENDIMENTO						**ESTRUTURAIS E OPERACIONAIS**		
	IES0001	**IES0002**	**IES0003**	**IES0007**	**IES0008**	**IES0009**	**IES2002**	**IES2003**	**IES2004**
Abaíra									
Andaraí; Barra da Estiva; Boninal; Bonito; Iramaia; Iraquara; Itaeté; Jussiape; Marcionílio Souza; Nova Redenção; Novo Horizonte; Seabra; Souto Soares; Utinga; Wagner.									
Ibicoara									

Ibitiara; Lençóis; Morro do Chapéu; Palmeiras; Rio de Contas.									
Mucugê									
Piatã									
IDEAL	0,00%	2,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,70%	0,00%	27,03%
SATISFATÓRIO	0,00%	0,00%	2,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
INSATISFATÓRIO	35,14%	32,43%	32,43%	29,73%	35,14%	29,73%	29,73%	32,43%	8,11%
NÃO INFORMADO	64,86%	64,86%	64,86%	70,27%	64,86%	70,27%	67,57%	67,57%	64,86%

Fonte: Elaboração Própria, baseada em SINISA (2024).

Analisando os resultados em relação aos municípios, os que obtiveram os piores resultados na dimensão abastecimento de água foram Boninal, Jussiape, Novo Horizonte e Seabra, todos de natureza jurídica associação privada. Na dimensão esgotamento sanitário, dentre os municípios com resultados informados, o que obteve o pior resultado foi Piatã, de natureza jurídica municipal. O melhor resultado na dimensão esgotamento sanitário foi o município de Mucugê, com dois resultados ideais, dois não informados e os demais insatisfatórios, já na dimensão abastecimento de água, foi Novo Horizonte, de natureza jurídica gestão municipal. Os municípios com os piores resultados, observando ambas as dimensões, foram Boninal, Jussiape, Novo Horizonte e Seabra, de natureza jurídica associação privada (com resultados insatisfatórios na dimensão água e sem informações na dimensão esgoto), Palmeiras e Lençóis, de natureza jurídica associação privada (com 1 indicador satisfatório na dimensão abastecimento de água e 1 ideal na dimensão esgotamento sanitário e todos os outros insatisfatórios, ou seja, 85,71%). A pesquisa Silva *et al*. (2020), apresenta resultados que corroboram a análise anterior quando se discute sobre como a ausência de estruturas básicas de saneamento e a precariedade dos sistemas sanitários na comunidade Quilombola de Remanso, localizada em Lençóis-BA, contribuem para a disseminação de doenças de veiculação hídrica na população. Além disso, no município de Seabra, o estudo de Souza *et al*. (2017) denuncia a falta de saneamento básico adequado, como por exemplo, a disponibilização de água de coloração amarelada e odor forte, provoca problemas ambientais e afeta a saúde da comunidade residente.

Na dimensão abastecimento de água, grande parte dos municípios que possuem dois modelos de distribuição, têm resultados insatisfatórios nas de natureza jurídica associação privada. Com isso, é possível notar que, enquanto as áreas urbanas possuem resultados favoráveis, as áreas de habitação rural são mais afetadas pela falha de distribuição do serviço na maioria dos municípios.

Com os resultados obtidos na dimensão esgotamento sanitário é perceptível que, apesar da distribuição do serviço apresentar falhas em seu alcance, o tratamento em relação ao volume coletado se apresenta de forma positiva. Os resultados obtidos, de forma geral, são insatisfatórios e a carência de informações nessa dimensão, prejudica a análise da eficácia da distribuição dos serviços de saneamento básico, em áreas afastadas da região metropolitana e da capital do estado, o cumprimento da legislação vigente e a proposição de soluções. Observando o panorama geral, é possível notar padrões, como o fato de os resultados desfavoráveis estarem mais presentes nos indicadores relacionados às regiões rurais, o que reflete o cenário desigual brasileiro, mesmo em um território de importância histórica e econômica, como o TICD. A ausência de serviços de saneamento compromete a qualidade de vida da população e a realização de ações de ampliação da cobertura do atendimento, por isso, a preocupação pública com a distribuição desses serviços foi ampliada (Brasil 2021). Desse modo, é importante rever e atualizar as políticas aplicadas, além de analisar e solucionar os

problemas de gestão, relacionados ao manejo dos serviços e a disponibilização de informações (prevista no Art. 53., § 7º - "Os titulares, os prestadores de serviços públicos de saneamento básico e as entidades reguladoras fornecerão as informações a serem inseridas no Sinisa." da Lei nº 14.026, de 15 de Julho de 2020), a fim de se aproximar do cumprimento das metas de universalização do saneamento básico, de forma economicamente sustentável, no prazo estabelecido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na dimensão abastecimento de água, a presença de resultados favoráveis se concentram nas áreas urbanas, enquanto áreas rurais e municípios sob gestão privada apresentam resultados insatisfatórios. Na dimensão do esgotamento sanitário, há um excesso de dados indisponíveis, demonstrando uma dificuldade de distribuição e acesso (dificultando o planejamento dos Planos de Saneamento Básico, avaliações da eficácia e sendo um obstáculo crítico para o planejamento, a gestão eficaz dos serviços e o cumprimento da legislação),, e os dados disponíveis, em sua maioria, são insatisfatórios. Com isso, evidencia-se que o acesso ao saneamento básico no TICD é desigual e insuficiente para grande parte da população, especialmente nas áreas rurais e não turísticas.

Portanto, considerando que o potencial turístico e econômico é beneficiado pela infraestrutura de serviços, e que melhorias no sistema garantiriam melhor qualidade de vida de seus habitantes, sugere-se que ocorra uma revisão das políticas de distribuição atuais, investimento e garantia de acesso para as comunidades rurais, aliada a uma rigorosa fiscalização das agências distribuidoras responsáveis, com aplicação de multas para aquelas que não disponibilizarem as informações ao SINISA. Ademais é necessário que as agências apresentem as metas para universalização do saneamento básico para a população, a fim de que entrem em consonância com a legislação brasileira beneficiando o Território de Identidade Chapada Diamantina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos membros do grupo Programa de Educação Tutorial Engenharia Sanitária e Ambiental e ao FNDE/MEC pela concessão de bolsas ao grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS). 2015. "Metodologia para Avaliação dos Indicadores de Desempenho (Revisão 01) (Republicação - Errata)". https://aris.sc.gov.br/uploads/pagina/2570/1LgkNhJgi5BqwLyyIBQLKbbDA7SJRpRr.pdf.

Araújo, Henrique Rodrigues de, Regina Ferreira Araújo, Marcelo da Silva Taveira, et al. 2024. "Políticas Públicas de Turismo e Mitigação da Pobreza na Região Turística da Chapada Diamantina (Bahia/Brasil)." Turismo: Visão e Ação 26. e19967. https://doi.org/10.14210/tva.v26.19967.

Bahia. Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS). 2024. "Relatório Síntese - MSB 05 - Chapada Diamantina". UFC Engenharia. Documento PDF. Salvador, BA.

https://www.ba.gov.br/sihs/sites/site-sihs/files/2024-08/MSB%2005_Chapada%20Diamantina_Relatorio%20Sintese_R1_10ago24.pdf.

Bahia. Secretaria do Planejamento (SEPLAN). 2016. "Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável e Solidário do Território Chapada Diamantina (PTDRSS)". https://homologa.ba.gov.br/seplan/sites/site-seplan/files/migracao_2024/arquivos/wp-content/uploads/PTDRSS_2016_Chapada_Diamantina_Final.pdf.

Brasil. 2007. "Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007". "Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico". Diário Oficial da União, (janeiro): https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm.

Brasil. 2020. "Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020". "Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, 16 de julho de 2020." Diário Oficial da União, (julho): https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). 2021. "Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021". https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021compactado.pdf.

Medeiros, Marcilio Sandro de, Luciete Almeida Silva, Zulma Maria de Medeiros, et al. 2024. "Por uma nova governança da gestão do saneamento básico no Amazonas: perspectivas baseadas na noção do sistema de garantias de direitos". Revista Saúde em Debate 48. e8724. https://doi.org/10.1590/2358-289820241438724P.

Silva, Aline de Souza, Adna Caroline Vale Oliveira, Brenda Laudano Lima, et al. 2023. "Distribuição espacial do acesso ao saneamento básico na Chapada Diamantina". Revista Baru. e13082: 1-19. https://doi.org/10.18224/baru.v9i1.13082.

Silva, Aline de Souza, "Saneamento Básico E Doenças De Veiculação Hídrica: Um Estudo Da Comunidade Quilombola De Remanso, Lençóis (BA)". Revista Baru 6. e7987. https://doi.org/10.18224/baru.v6i1.7987.

Souza, E. T. de, E. M. J. de O., E. C. de S., et al. 2017. "Análise Do Saneamento Básico Da Comunidade Do Campestre No Município De Seabra/Ba Através De Um Diagnóstico Socioambiental Participativo". Comunicação apresentada no IX ISBEA 2017 - IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Belo Horizonte, Brasil, julho de 2017. https://doi.org/10.5151/xveneeamb-059.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA). 2024. "Planilhas de Informações e Indicadores de Abastecimento de Água" Sisitema Nacional de Informações sobre Saneamento. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/arquivos/SINISA_AGUA_Planilhas_2023_v2.1.1.zip.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA). 2024. "Planilhas de Informações e Indicadores de Esgotamento Sanitário" Sisitema Nacional de Informações sobre Saneamento.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035497

DIAGNÓSTICO DOS PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO EM ÁREAS RURAIS DA MICRORREGIÃO DO SERTÃO DO ARARIPE, NO ESTADO DE PERNAMBUCO

DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES MUNICIPALES DE SANEAMIENTO BÁSICO EN ZONAS RURALES DE LA MICRORREGIÓN SERTÃO DO ARARIPE, EN EL ESTADO DE PERNAMBUCO

DIAGNOSIS OF MUNICIPAL BASIC SANITATION PLANS IN RURAL AREAS OF THE SERTÃO DO ARARIPE MICROREGION, IN THE STATE OF PERNAMBUCO

Renan Bezerra Rosa[1], Sabrina Dafyne Soares Araújo[2], Silvanete Severino da Silva[3] e Antônio de Holanda Neto[4].

[1]Graduando, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, renan.bezerra@ufrpe.br, 0009-0001-7578-567X;
[2]Graduanda, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, sabrina.dafyne@ufrpe.br, 0009-0006-8927-0630;
[3]Docente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;
[4]Engenheiro Civil, Companhia Pernambucana de Saneamento, Belo Jardim, Brasil, antonioneto@compesa.com.br, 0009-0000-4737-741X.

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas
Planos municipais de saneamento básico no contexto rural.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructural: Gestión y Políticas Públicas
Planos municipales de saneamiento básico en el contexto rural.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a elaboração e implementação dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs) em áreas rurais da microrregião do Sertão do Araripe, Pernambuco, buscando identificar desafios e oportunidades para a universalização dos serviços. O desenvolvimento da pesquisa consistiu em uma abordagem bibliográfica e documental, utilizando dados de 2018 a 2025 de fontes primárias (órgãos governamentais como SRHS-PE, APAC, CPRH, Banco Mundial, SNIS e IBGE) e secundárias (artigos científicos, teses e dissertações). A metodologia envolveu análise quali-quantitativa para comparar indicadores de saneamento em diferentes n nãoíveis geográficos e interpretar documentos sobre desafios e estratégias, fornecendo uma visão abrangente da situação. Os principais desafios identificados revelam um cenário crítico: a cobertura de abastecimento de água em áreas rurais é de apenas 38%, e o esgotamento sanitário atinge cerca de 10% da população rural, contrastando fortemente com os índices estaduais. A gestão de resíduos sólidos é alarmante, com 100% dos municípios da microrregião destinando seus resíduos a lixões, o que representa 16,42% do total de resíduos em lixões de Pernambuco. Essa deficiência acarreta graves impactos na saúde pública, como a proliferação de doenças de veiculação hídrica, e no meio ambiente, pela contaminação de recursos hídricos e solo, exigindo ações urgentes. Como principais resultados, o estudo aponta que a universalização do saneamento no Sertão do

Araripe exige mais do que investimentos financeiros, como o PROSAR-PE do Banco Mundial. É crucial um planejamento participativo, a adoção de tecnologias apropriadas ao semiárido, capacitação, educação ambiental e um robusto sistema de monitoramento e avaliação. A experiência de modelos de gestão comunitária, como o SISAR em outras regiões de Pernambuco, sugere um caminho promissor para adaptar e expandir soluções de saneamento, garantindo a sustentabilidade e a eficácia dos serviços. A superação desses desafios é fundamental para a saúde da população e a preservação ambiental da região, promovendo um desenvolvimento mais equitativo.

Palavras-chave: Semiárido, Políticas públicas, Planejamento municipal, Desigualdades socioespaciais, Universalização do saneamento

RESÚMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar el desarrollo e implementación de los Planes Municipales de Saneamiento Básico (PMSB) en áreas rurales de la microrregión del Sertão do Araripe, Pernambuco, buscando identificar desafíos y oportunidades para la universalización de los servicios. La investigación consistió en un enfoque bibliográfico y documental, utilizando datos de 2018 a 2025 de fuentes primarias (organismos gubernamentales como SRHS-PE, APAC, CPRH, Banco Mundial, SNIS e IBGE) y fuentes secundarias (artículos científicos, tesis y disertaciones). La metodología implicó análisis cualitativo y cuantitativo para comparar indicadores de saneamiento en diferentes niveles geográficos e interpretar documentos sobre desafíos y estrategias, proporcionando una visión integral de la situación. Los principales desafíos identificados revelan un escenario crítico: la cobertura del suministro de agua en las áreas rurales es de solo el 38%, y la cobertura de alcantarillado alcanza aproximadamente el 10% de la población rural, un marcado contraste con las cifras a nivel estatal. La gestión de residuos sólidos es alarmante, ya que el 100% de los municipios de la microrregión disponen sus residuos en vertederos, lo que representa el 16,42% del total de residuos en los vertederos de Pernambuco. Esta deficiencia tiene graves repercusiones en la salud pública, como la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua, y en el medio ambiente, debido a la contaminación de los recursos hídricos y del suelo, lo que requiere medidas urgentes. Los principales hallazgos del estudio indican que el saneamiento universal en la región del Sertão do Araripe requiere más que inversiones financieras, como el PROSAR-PE del Banco Mundial. La planificación participativa, la adopción de tecnologías apropiadas para la región semiárida, la capacitación, la educación ambiental y un sólido sistema de monitoreo y evaluación son cruciales. La experiencia de modelos de gestión comunitaria, como el SISAR en otras regiones de Pernambuco, sugiere un camino prometedor para adaptar y expandir las soluciones de saneamiento, garantizando la sostenibilidad y la eficacia de los servicios. Superar estos desafíos es esencial para la salud de la población y la preservación del medio ambiente en la región, promoviendo un desarrollo más equitativo.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, Planificación municipal

ABSTRACT

This study aimed to analyze the development and implementation of Municipal Basic

Sanitation Plans (PMSBs) in rural areas of the Sertão do Araripe microregion, Pernambuco, seeking to identify challenges and opportunities for universalizing services. The research consisted of a bibliographic and documentary approach, using data from 2018 to 2025 from primary sources (government agencies such as SRHS-PE, APAC, CPRH, World Bank, SNIS, and IBGE) and secondary sources (scientific articles, theses, and dissertations). The methodology involved qualitative and quantitative analysis to compare sanitation indicators at different geographic levels and interpret documents on challenges and strategies, providing a comprehensive overview of the situation. The main challenges identified reveal a critical scenario: water supply coverage in rural areas is only 38%, and sewage coverage reaches approximately 10% of the rural population, a stark contrast to state-level figures. Solid waste management is alarming, with 100% of the microregion's municipalities disposing of their waste in landfills, representing 16.42% of the total waste in Pernambuco's landfills. This deficiency has serious impacts on public health, such as the proliferation of waterborne diseases, and on the environment, due to the contamination of water resources and soil, requiring urgent action. The study's main findings indicate that universal sanitation in the Sertão do Araripe region requires more than financial investments, such as the World Bank's PROSAR-PE. Participatory planning, the adoption of technologies appropriate for the semiarid region, training, environmental education, and a robust monitoring and evaluation system are crucial. The experience of community management models, such as SISAR in other regions of Pernambuco, suggests a promising path for adapting and expanding sanitation solutions, ensuring the sustainability and effectiveness of services. Overcoming these challenges is essential for the health of the population and environmental preservation in the region, promoting more equitable development.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Semiarid, Municipal planning

INTRODUÇÃO

O saneamento básico, conforme definido pela Lei nº 11.445/2007 no Brasil, abrange um conjunto essencial de serviços que incluem abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A existência e a eficiência desses sistemas estão intrinsecamente ligadas à qualidade de vida da população e ao desenvolvimento socioeconômico de uma região. No entanto, o Brasil, assim como muitos países em desenvolvimento, ainda enfrenta desafios significativos na gestão e universalização desses serviços, especialmente em áreas rurais (BRASIL 2007).

A região Nordeste do Brasil, em particular, apresenta índices de saneamento consistentemente mais baixos que a média nacional, o que evidencia uma grande disparidade e a precariedade dos serviços nessa área. Essa situação é agravada por um investimento médio

anual em saneamento que é aproximadamente três vezes menor do que a média brasileira. Pernambuco, embora apresente um panorama ligeiramente melhor que o de sua macrorregião, ainda reflete essa realidade de deficiência, com disparidades notáveis na cobertura e qualidade dos sistemas de saneamento, diretamente relacionadas ao investimento financeiro recebido (SNIS 2021).

No contexto rural de Pernambuco, a situação é ainda mais crítica. Dados da SRHS-PE (2024), indicam que a cobertura de abastecimento de água em áreas rurais é de aproximadamente 38%, enquanto o esgotamento sanitário atinge apenas cerca de 10% da população rural. Em contraste, a cobertura geral de coleta de esgoto no estado é de 34%, e o fornecimento de água tratada é de 86%. Para enfrentar esses desafios, o Programa de Saneamento Rural de Pernambuco (PROSAR-PE) surge como uma iniciativa promissora, com um investimento de R$ 600 milhões do Banco Mundial, visando expandir o acesso ao saneamento em 106 municípios pernambucanos, incluindo aqueles localizados na microrregião do Sertão do Araripe (SRHS-PE 2023).

Posto isto, o presente estudo teve como objetivo analisar a elaboração e a implementação dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs) no contexto rural dos municípios que compõem a microrregião do Sertão do Araripe, em Pernambuco. A investigação busca identificar os principais desafios e oportunidades relacionados à universalização dos serviços de saneamento básico, a partir da sistematização de informações provenientes de órgãos governamentais, bases de dados oficiais e artigos científicos publicados em periódicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a elaboração deste estudo consistiu em uma abordagem de pesquisa bibliográfica e documental, com foco na coleta e análise de informações provenientes de fontes primárias e secundárias.

Local do Estudo

A Microrregião do Sertão do Araripe, no estado de Pernambuco, é composta pelos municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade, conforme Figura 1. Segundo o IBGE (2022), a região possui uma

população de 319.438 habitantes e uma área territorial de 11.544,576 km², correspondendo a 11,77% da extensão do território estadual.

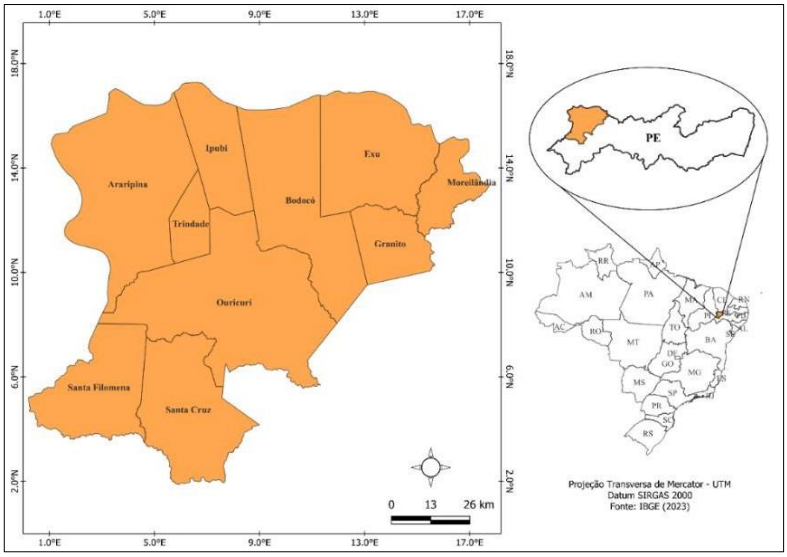


Figura 1. Localização geográfica da microrregião do Sertão do Araripe
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A microrregião insere-se em clima semiárido, com chuvas escassas e vegetação xerófila típica da Caatinga. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2023), o Arranjo Produtivo Local (APL) do sertão do Araripe produz cerca de 4,44 milhões de toneladas de gesso por ano, empregando diretamente 3.500 pessoas e gerando aproximadamente 14.300 postos de trabalho indiretos. A região concentra cerca de 40% das reservas mundiais de gipsita, destacando-se como polo estratégico para a mineração e a indústria da construção civil.

Obtenção dos Dados

As fontes primárias incluíram documentos oficiais de órgãos governamentais brasileiros e pernambucanos, como a Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento (SRHS) de Pernambuco, a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e o Banco Mundial, especialmente o documento "Marco de Gestão Ambiental e Social (MGAS) do Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco (PROSAR/PE)". Além disso, foram consultados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que fornecem indicadores de saneamento básico em níveis nacional, regional e municipal.

As fontes secundárias compreenderam artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares, teses e dissertações que abordam o saneamento básico no contexto rural,

com especial atenção para estudos realizados na região Nordeste e, mais especificamente, em Pernambuco. A busca por esses artigos foi realizada em bases de dados acadêmicas, utilizando termos-chave como "saneamento básico rural", "Planos Municipais de Saneamento Básico", "Sertão do Araripe", "Pernambuco", "PROSAR-PE", entre outros.

Período Temporal e Justificativa

O período temporal analisado compreende principalmente os anos de 2018 a 2025. A escolha do ano de 2018 como marco inicial se justifica por ser o ano-base de um dos mais recentes e abrangentes diagnósticos do saneamento básico no Brasil, o Panorama do Saneamento Básico do SNIS, que oferece uma base sólida para comparações. Os anos subsequentes foram incluídos para incorporar dados mais recentes de outras fontes, como o IBGE, o TCE-PE e a CPRH, permitindo uma análise mais atualizada e dinâmica da evolução dos indicadores e das políticas públicas.

Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados foi realizado por meio de uma análise quali-quantitativa. Os dados quantitativos, como os percentuais de cobertura de água, esgoto e destinação de resíduos sólidos, foram extraídos das fontes e organizados para permitir uma análise comparativa entre os diferentes níveis geográficos (nacional, regional, estadual e rural). Foram calculadas proporções e realizadas comparações diretas entre os indicadores para evidenciar as disparidades. A análise qualitativa envolveu a interpretação de documentos e artigos, buscando identificar as narrativas, os desafios percebidos, as estratégias adotadas e as lacunas de pesquisa. A síntese das informações permitiu a construção de uma discussão aprofundada sobre a situação do saneamento básico rural no Sertão do Araripe.

Limitações do Estudo

Reconhece-se que o uso de dados secundários pode apresentar limitações, como a possibilidade de subnotificação de informações, especialmente em áreas rurais de difícil acesso, e a atualização desigual entre as diferentes bases de dados. Tais limitações foram consideradas na análise, buscando-se sempre cruzar informações de diferentes fontes para aumentar a confiabilidade dos resultados. A ausência de dados específicos e atualizados para cada município do Sertão do Araripe também constitui uma limitação, sendo necessário, em alguns momentos, recorrer a dados mais gerais da microrregião ou do estado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados revela um cenário desafiador para a universalização do saneamento básico no contexto rural de Pernambuco, especialmente na microrregião do Sertão do Araripe. Conforme informações da SRHS-PE (2024), a cobertura de abastecimento de água em áreas rurais é de aproximadamente 38%, enquanto o esgotamento sanitário atinge apenas cerca de 10% da população rural, números que contrastam fortemente com os índices gerais do estado, onde a cobertura de fornecimento de água tratada alcança 86% e a coleta de esgoto é de 34%. Essa disparidade é ainda mais evidente quando se observa que, em 2022, o Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco apontou que, embora a cobertura de água tratada tenha chegado a 87% dos pernambucanos, o esgoto adequado atendia a apenas 34% da população (TCE-PE 2024). Esses dados reforçam a necessidade premente de políticas e investimentos direcionados especificamente para o meio rural, onde a infraestrutura é notoriamente mais precária.

O quadro se agrava ao se analisar a gestão de resíduos sólidos. De acordo com a CPRH (2020), nenhum dos 10 municípios da microrregião tem destinação final adequada para seus resíduos, com 100% deles sendo enviados para lixões, o que significa que toda a população da região reside em cidades cuja destinação final é inadequada, sendo a região responsável por 16,42% de todos os resíduos que chegam aos lixões em Pernambuco e ocupando o segundo lugar no estado nesse quesito negativo. Essa realidade demonstra uma falha grave em um dos componentes essenciais do saneamento básico, com impactos diretos na contaminação do solo, da água e do ar, além de representar um risco à saúde pública.

Os municípios do Sertão do Araripe, inseridos nesse contexto de deficiência regional, enfrentam desafios adicionais devido às suas características rurais e à dispersão populacional. A implementação de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) eficazes nessas áreas requer uma abordagem que considere as particularidades locais, como a escassez hídrica, a baixa densidade demográfica e a necessidade de soluções descentralizadas. A estruturação de políticas públicas para o saneamento básico rural é um direito previsto em lei, visando a garantia da saúde da população e a preservação do meio ambiente. Segundo o Serviços e Informações do Brasil (2025), o governo federal, através de programas de fomento, também tem enfatizado a importância de ações de saneamento básico em áreas rurais e comunidades tradicionais, buscando soluções adaptadas e sustentáveis para essas regiões.

O PROSAR-PE, com o apoio do Banco Mundial, representa uma oportunidade significativa para a região. No entanto, a mera injeção de recursos não garante a universalização. É crucial que os investimentos sejam acompanhados de planejamento participativo, tecnologias apropriadas, capacitação e educação ambiental, e monitoramento e avaliação. A participação social é um pilar fundamental para a sustentabilidade dos projetos de saneamento, assegurando que as soluções implementadas sejam aceitas e mantidas pela própria comunidade.

A escolha de tecnologias adequadas à realidade local, como sistemas simplificados de abastecimento de água, fossas sépticas biodigestoras e reuso de água cinza, é essencial para a viabilidade e longevidade dos sistemas. A SRHS-PE (2025) quando avaliou a fase de elaboração do estatuto do SISAR no agreste central, conclui que programas contínuos de capacitação para os operadores dos sistemas e de educação ambiental para a população visam a conscientização sobre a importância do saneamento e o uso adequado das infraestruturas, desempenhando um papel crucial na mudança de hábitos e na promoção da saúde. O Marco de

Gestão Ambiental e Social do Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco da SRHS-PE (2025), conclui que o estabelecimento de mecanismos robustos de monitoramento e avaliação permite acompanhar o progresso das ações, identificar gargalos e ajustar as estratégias quando necessário, otimizando os recursos e garantindo a efetividade dos planos.

O estudo de Duarte e Farias (2021) sobre a gestão do saneamento básico na microrregião do Pajeú, embora não seja especificamente sobre o Araripe, oferece insights valiosos sobre os desafios e a importância de conhecer os dados e as dificuldades regionais para subsidiar o desenvolvimento de melhores metodologias de gestão. A erradicação dos lixões e a melhoria da cobertura rural de serviços gerenciados ainda são desafios comuns a ambas as regiões do Sertão pernambucano. A experiência do SISAR (Sistema Integrado de Saneamento Rural) em outras regiões de Pernambuco, como o Moxotó, demonstra o potencial de modelos de gestão comunitária para levar soluções de abastecimento de água para localidades rurais onde não há cobertura dos serviços públicos convencionais. A expansão e adaptação desses modelos para o Sertão do Araripe podem ser um caminho promissor para a universalização do saneamento.

A deficiência no saneamento básico rural no Sertão do Araripe acarreta uma série de impactos negativos que afetam diretamente a saúde pública, o meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico da região. Segundo o Instituto Trata Brasil (2025), a ausência de sistemas adequados de esgotamento sanitário e o acesso limitado à água potável contribuem para a proliferação de doenças de veiculação hídrica, como diarreia, hepatite A, febre tifoide e parasitoses intestinais, enfermidades que afetam principalmente crianças e idosos, resultando em altas taxas de morbidade e mortalidade, sobrecarga nos serviços de saúde e perda de produtividade.

Do ponto de vista ambiental, o descarte inadequado de esgoto doméstico e resíduos sólidos contamina os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, comprometendo a qualidade da água disponível para consumo humano e para atividades agrícolas e pecuárias. Segundo o Plano Regional de Saneamento Básico da microrregião do Sertão realizado pela SRHS-PE (2023), a poluição dos solos e a degradação dos ecossistemas locais também são consequências diretas da falta de saneamento, impactando a biodiversidade e a sustentabilidade ambiental da região. Economicamente, a precariedade do saneamento básico rural inibe o desenvolvimento local. O Instituto Trata Brasil (2025), relata que a saúde debilitada da população rural reduz a capacidade de trabalho e a renda familiar, perpetuando o ciclo da pobreza. Além disso, a falta de infraestrutura sanitária adequada pode afastar investimentos e dificultar o desenvolvimento de atividades econômicas, como o turismo rural e a agroindústria, que dependem de condições sanitárias mínimas para prosperar.

Apesar dos desafios, a implementação dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) representa um avanço significativo na busca pela universalização do saneamento. A Lei nº 11.445/2007 estabeleceu a obrigatoriedade da elaboração desses planos, que devem contemplar o diagnóstico da situação, os objetivos e metas de curto, médio e longo prazo, os programas, projetos e ações necessárias, e os mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações.

No entanto, a realidade da elaboração e, principalmente, da execução desses planos, especialmente em municípios rurais com menor capacidade técnica e financeira, ainda é um obstáculo. De acordo com Duarte e Farias (2021) muitos municípios enfrentam dificuldades na captação de recursos, na gestão dos projetos e na mobilização social, o que retarda o alcance

das metas estabelecidas. A articulação entre os diferentes níveis de governo (federal, estadual e municipal) e a colaboração com a iniciativa privada e a sociedade civil são cruciais para superar esses desafios. Programas como o PROSAR-PE, com financiamento do Banco Mundial, demonstram o potencial de parcerias para impulsionar o saneamento rural. Contudo, é fundamental que esses programas sejam acompanhados de um fortalecimento institucional dos municípios, garantindo que eles tenham a capacidade de planejar, executar e gerenciar os serviços de saneamento de forma autônoma e sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se um expressivo déficit no acesso à água e ao esgotamento sanitário no Sertão do Araripe, com índices abaixo das médias estadual e nacional, o que agravou desigualdades, riscos à saúde e impactos ambientais. Apesar da existência de instrumentos de planejamento e de programas como o PROSAR-PE, a efetividade mostrou-se limitada, sobretudo nas áreas rurais dispersas, onde a carência de infraestrutura, investimentos e gestão municipal reforçou o quadro de vulnerabilidade. A ausência de sistemas adequados de esgoto e de destinação de resíduos sobrecarregou a saúde pública e ampliou os problemas ambientais. Constatou-se, ainda, que a universalização do saneamento básico na região dependeria de soluções adaptadas ao contexto rural, como abastecimento simplificado, tecnologias sociais de tratamento, reuso de águas cinzas, associadas à educação ambiental e à participação comunitária. Concluiu-se, portanto, que apenas a integração entre planejamento, investimentos e engajamento social poderia assegurar saúde, dignidade e sustentabilidade às comunidades locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). 2020. “Sertão do Araripe.” Acedido a 15 setembro de 2025. http://www.cprh.pe.gov.br/Controle_Ambiental/dados_sobre_residuos_solidos_de_pernambuco/situacao_geral_do_estado_de_pernambuco/sertao_do_araripe/44063%3B40471%3B48140111%3B0%3B0.asp.

Brasil. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jan. 2007. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm.

Duarte, E. L.; Farias, R. M. S. “Estudo da gestão de saneamento básico em municípios da microrregião do Pajeú Pernambucano”. *Revista Multidisciplinar do Sertão*, v. 3, n. 1, p. 100-111, jan./mar. 2021. https://doi.org/10.37115/rms.v3i1.336.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. "Cidades e Estados." Acedido a 10 setembro de 2025. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html.

Instituto Trata Brasil. 2025. "Saneamento é saúde: Como a falta de acesso à infraestrutura básica afeta as incidências de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado no Brasil?." Acedido a 15 setembro de 2025. https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/03/ESTUDO-COMPLETO-Saneamento-e-saude-Como-a-falta-de-acesso-a-infraestrutura-basica-afeta-as-incidencias-de-doencas-relacionadas-ao-saneamento-ambiental-inadequado-no-Brasil-TRATA-BRASIL.pdf.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). 2023. "Panorama Atual do Arranjo Produtivo Local (APL) Gesseiro da Região do Araripe-PE." Acedido a 10 setembro de 2025. https://www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/apl-gesso/linha-de-base-gesso.pdf.

Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS-PE). 2024. "Saneamento Rural." Acedido a 14 setembro de 2025. https://www.srhs.pe.gov.br/programas-acoes/saneamento-rural.

Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS-PE). 2023. "Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco – PROSAR/PE: Marco de Gestão Ambiental e Social (MGAS)." Acedido a 12 setembro de 2025. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099110123092519062/pdf/P1804300c857a808a0b2ec0c0ee4d9c6cdd.pdf.

Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS-PE). 2025. "SISAR AGRESTE CENTRAL ENTRA EM FASE DE ELABORAÇÃO DO ESTATUTO." Acedido a 15 setembro de 2025. https://www.srhs.pe.gov.br/mais/noticias/sisar-agreste-central-entra-em-fase-de-elaboracao-do-estatuto.

Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS-PE). 2025. Plano Regional de Saneamento Básico: Microrregião de Água e Esgoto do Sertão." Acedido a 16 setembro de 2025. https://srhs.pe.gov.br/images/MRAE-I-consulta-publica/PRSB-SERTAO.pdf.

Serviços e Informações do Brasil. 2025. "Saneamento Básico - Fomentar ações de saneamento básico em áreas rurais e comunidades tradicionais." Acedido a 15 setembro de 2025. https://www.gov.br/pt-br/servicos/fomentar-acoes-de-saneamento-basico-em-areas-rurais-e-comunidades-tradicionais.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). 2021. "Panorama do Saneamento Básico no Brasil." Acedido a 14 setembro de 2025. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do snis/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021compactado.pdf.

Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (TCE-PE). 2024. "TCE-PE: água tratada chega a 87% dos pernambucanos, e esgoto a apenas 34%." Acedido a 17 setembro de 2025. https://tcepe.tc.br/internet/index.php/noticias/446-2024/dezembro/7778-tce-pe-agua-tratada-chega-a-87-dos-pernambucanos-e-esgoto-a-apenas-34.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035588

DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO DE ÁGUA EM RDS NA AMAZÔNIA

Alexandre Levi Monteiro Santana[1], Paulo Ricarde Fernandes Diógenes[2]

[1]Granduando de Medicina Veterinária, UNIESBAM, Amazonas, Brasil, levi@puxirum.org, https://orcid.org/0009-0001-1425-4998

[2]Engenheiro Civil, Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Amazonas, Brasil, paulo@puxirum.org

Eixo Temático 02 - Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas.

RESUMO

O presente trabalho relata a experiência de elaboração de um diagnóstico de saneamento básico nas comunidades da Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Tupé, localizada na zona rural de Manaus (AM), realizado entre 2024 e 2025 por meio da parceria entre a Iniciativa Saneamento Inclusivo, o Instituto Puxirum e a Oca Amazônia. O objetivo foi mapear as condições de saneamento das seis comunidades da reserva: Agrovila, Nossa Senhora do Livramento, Colônia Central, São João do Tupé, Tatulândia e Julião. Considerando abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem. A RDS do Tupé abriga cerca de 768 famílias ribeirinhas e indígenas, enfrentando desafios estruturais, como ausência de sistemas de água e esgoto, instabilidade no fornecimento de energia elétrica e difícil acesso devido à sazonalidade do rio Negro. A severa estiagem de 2023-2024 agravou essas condições, impactando o abastecimento hídrico, saúde e educação nas comunidades. A metodologia adotada baseou-se em quatro etapas: preparação, coleta de dados (primários e secundários), análise preliminar e elaboração de relatórios. As informações foram obtidas por meio de oficinas comunitárias, entrevistas com lideranças, observações de campo e análise de documentos. A ferramenta desenvolvida pela Iniciativa Saneamento Inclusivo permitiu sistematizar os dados e apresentar um panorama detalhado das condições sanitárias locais. Os dados revelaram graves deficiências: 29% dos moradores não possuem fossas rudimentares e lançam dejetos diretamente no ambiente. Não há sistema público de esgotamento sanitário, e predominam soluções improvisadas ou fossas sem impermeabilização. A maioria das comunidades utiliza poços comunitários ou fontes alternativas como igarapés, cacimbas e poços particulares, muitas vezes sem tratamento adequado. A instabilidade da energia afeta o funcionamento dos sistemas de bombeamento de água. Doenças como diarréia, verminoses e

hepatites são recorrentes. O estudo destaca como prioritárias ações para garantir o abastecimento contínuo de água, implantação de soluções adequadas de contenção e tratamento de esgoto, melhoria na infraestrutura elétrica e fortalecimento da gestão comunitária da água. As análises microbiológicas apontaram presença de coliformes nos mananciais, exigindo intervenções urgentes. O diagnóstico representa um importante passo na construção de políticas públicas voltadas ao saneamento rural, contribuindo para soluções sustentáveis e adaptadas à realidade amazônica, promovendo o bem viver e a autonomia das comunidades tradicionais da RDS do Tupé.

Palavras chave: Amazônia, Saneamento básico, Saneamento rural, Participação social,

INTRODUÇÃO

O presente relato descreve a experiência de elaboração de um diagnóstico de saneamento nas comunidades da Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Tupé, em Manaus (AM), realizado entre 2024 e 2025 por meio da parceria entre a Iniciativa Saneamento Inclusivo, o Instituto Puxirum e a Oca Amazônia. O trabalho teve como objetivo mapear as condições de saneamento básico da reserva, abrangendo aspectos relacionados ao acesso à água, banheiros e esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais.

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Tupé é uma unidade de conservação de uso sustentável, sob gestão da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudança do Clima (SEMMASCLIMA). Localizada na zona rural de Manaus (AM) às margens do rio Negro, abriga cerca de 768 famílias distribuídas em seis comunidades tradicionais: São João do Tupé, Nossa Senhora do Livramento, Julião, Tatulândia, Colônia Central e Agrovila. O território é habitado por povos tradicionais ribeirinhos e indígenas que enfrentam limitações estruturais no acesso a serviços básicos. Entre os principais problemas estão a precariedade ou inexistência de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além da instabilidade no fornecimento de energia elétrica, o que compromete o funcionamento de sistemas de bombeamento de água.

A dinâmica sazonal do rio Negro, marcada pelo regime de cheia e vazante, exerce forte influência sobre o cotidiano das comunidades e o funcionamento dos serviços essenciais. Durante a vazante, a significativa redução do nível das águas dificulta severamente o acesso

às comunidades, que dependem exclusivamente da navegação fluvial. A logística de transporte de pessoas, insumos e serviços públicos é fortemente comprometida, especialmente em áreas mais isoladas ou com igarapés rasos, que se tornam inacessíveis por meses. Esses desafios se agravaram significativamente durante as estiagens extremas de 2023 e 2024, quando a severa redução do nível dos rios e igarapés afetou as fontes de abastecimento hídrico das comunidades. As estiagens também dificultaram a navegação, isolaram as localidades por longos períodos e comprometeram o funcionamento de escolas e atendimentos de saúde.

Este estudo abrange as seis comunidades da reserva e tem como objetivo mapear as condições de saneamento no território, incluindo uma contextualização das comunidades. As evidências sistematizadas neste diagnóstico têm o objetivo de subsidiar a construção de estratégias adequadas à realidade local e contribuir para a formulação e o fortalecimento de políticas públicas de saneamento rural no município de Manaus.

O Instituto Puxirum atua na RDS do Tupé desde 2018 desenvolvendo iniciativas nas áreas de tecnologia social como energia e saneamento básico rural, mantendo parcerias com universidades e outras organizações para execução de projetos voltados para a melhoria da qualidade de vida das populações locais.

A OCA iniciou sua parceria com o Puxirum em 2024 e, desde então, tem contribuído com ações de mobilização comunitária e educação ambiental na RDS do Tupé, com foco em saneamento básico e energia, apoiando as iniciativas no território. Com atuação voltada à promoção da autonomia e resiliência dos territórios amazônicos, a OCA articula saberes técnicos e tradicionais no apoio a processos participativos, colaborando para a implementação de soluções alinhadas às demandas das comunidades e aos princípios do bem viver.

A Iniciativa Saneamento Inclusivo busca contribuir com a difusão de repertórios de soluções de saneamento adaptadas às realidades vulneráveis historicamente desassistidas. Ao longo de sua atuação, a Iniciativa vem atuando no desenvolvimento de uma ferramenta direcionada à realização de diagnósticos locais de saneamento no âmbito comunitário. Seu objetivo é orientar quais são as principais informações a serem levantadas sobre a dinâmica e condições existentes no território, sintetizando as informações coletadas, e por fim apresentando um quadro resumo com indicação dos principais pontos de atenção e embasamento para intervenções de melhorias. Desta maneira, esta ferramenta visa detalhar qual a situação sanitária da localidade estudada, identificando as questões mais críticas de modo a facilitar o entendimento das prioridades e necessidades de intervenções. O maior foco

é dado ao esgotamento sanitário, abordando aspectos de abastecimento de água, drenagem e resíduos sólidos de forma objetiva.

A metodologia adotada no presente diagnóstico baseou-se em quatro etapas principais: preparação, coleta de dados secundários e primários, tratamento e análise preliminar das informações, e elaboração de relatórios finais. Foram utilizadas ferramentas participativas como oficinas comunitárias, entrevistas com lideranças locais e observações em campo, além de análise de documentos oficiais e bases de dados.

A experiência evidenciou desafios estruturais, como o isolamento geográfico das comunidades, a sazonalidade do rio Negro e a baixa cobertura de serviços públicos. Apesar das limitações, o estudo proporcionou insumos relevantes para subsidiar a formulação de um Plano Comunitário de Saneamento Básico na RDS do Tupé, representando um passo importante para o fortalecimento da gestão participativa e a busca por soluções sustentáveis e adaptadas ao contexto amazônico.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O desenvolvimento deste estudo diagnóstico percorreu etapas pré-estabelecidas, como parte de metodologia especializada na realização de diagnósticos locais de saneamento desenvolvida pela Iniciativa Saneamento Inclusivo. A partir dos recursos e tempo disponíveis foram levantadas informações sobre as dinâmicas nas comunidades da RDS do Tupé, de maneira que este estudo propicia uma base referencial para posteriores aprofundamentos. No decorrer deste documento, serão descritas as limitações encontradas no que diz respeito ao nível de profundidade das informações obtidas, bem como apresentadas recomendações para detalhamentos posteriores.

Foram conduzidas as seguintes etapas:

1. Preparação – envolvendo definições da listagem inicial de informações para composição do diagnóstico de saneamento na RDS do Tupé, fontes e metodologias para a obtenção de dados e conjunto final de informações para coleta de dados em campo;

2. Coleta de dados – envolvendo a efetiva coleta de dados secundários (estudos, bases públicas etc.) e dados primários (através de oficinas e entrevistas a atores chave locais);

3. Tratamento de dados coletados e análises preliminares – envolvendo o pré-processamento

de dados e informações das comunidades, a elaboração de análises iniciais com dados processados e elaboração de relatório preliminar para apresentação junto ao Conselho da RDS do Tupé; e

4. Análises finais e elaboração de relatórios – envolvendo revisão e finalização de relatórios por comunidade, a estruturação da análise geral das condições de saneamento na RDS do Tupé e a elaboração final deste Relatório Geral.

A realização de um diagnóstico local de saneamento é ação crucial para desenvolver atuação assertiva e efetiva nos territórios, mas ao mesmo tempo se trata de um processo complexo e desafiador – complexo dada a variedade de componentes que se relacionam de formas distintas, e desafiador pela dificuldade de se obter dados, sejam eles pré-existentes ou obtidos a partir de uma leitura local. Com frequência, os diagnósticos tomam mais tempo que o necessário, e não sabem contornar o desafio da falta de informação, resultando em diagnósticos com uma consistência aquém do que poderia ser feito.

Além disso, é comum não ser realizada a correlação entre as condições locais e as soluções para as demandas, fazendo com que a solução escolhida não seja adequada para aquele contexto. Portanto, a metodologia de diagnóstico aplicada correlaciona os resultados obtidos com a definição das soluções, e possibilita uma padronização no desenvolvimento de diagnósticos posteriormente, acompanhando a evolução das dinâmicas locais e resolução das questões enfrentadas pelas comunidades. Também, é comum os retratos do saneamento existentes a nível federal, estadual e municipal não retratam as situações específicas das comunidades que compõem o território, e a metodologia desenvolvida busca auxiliar na complementação dessa leitura.

Na etapa inicial do estudo (1. Preparação) foram aprofundados e definidos as informações a serem levantadas para a composição do diagnóstico, constituindo uma listagem completa de perguntas para a condição local do saneamento nas comunidades.

A segunda etapa foi dividida em duas partes, (2.1. Coleta de dados secundários e 2.2. Coleta de dados primários) os dados secundários foram obtidos através de artigos científicos, documentos oficiais ou demais fontes (portais de notícia divulgação em geral), e os dados primários foram obtidos através do questionário aplicado aos comunitários e entrevistas com lideranças e representantes comunitários, permitindo a realização do diagnóstico com diferentes níveis de informação.

No tratamento de dados coletados e análises preliminares, a dinâmica de tratamento envolveu o preenchimento manual das respostas obtidas para a ferramenta *KoboToolbol*, gerando gráficos iniciais a partir das respostas obtidas. A partir das informações coletadas, foi realizada a análise agregada por comunidade gerando um aprofundamento específico de cada uma. Nessa etapa construiu-se um relatório resumido com verificações iniciais sobre a realidade do saneamento nas comunidades.

A última etapa do estudo envolveu a finalização das análises e relatórios, tendo incluído maior detalhamento das questões, a revisão e confirmação de informações, e a estruturação de aspectos de análise transversal considerando a unidade de conservação como um todo a partir das dinâmicas e constatações em cada uma das comunidades. A última etapa do estudo envolveu a finalização das análises e relatórios, tendo incluído maior detalhamento das questões, a revisão e confirmação de informações, e a estruturação de aspectos de análise transversal considerando a unidade de conservação como um todo a partir das dinâmicas e constatações em cada uma das comunidades.

Por fim, procedeu-se à elaboração do relatório sistematizando e analisando as informações a partir de uma perspectiva transversal e comparativa entre as comunidades. Buscou-se observar os aspectos de destaque em cada uma das realidades, bem como as particularidades comuns a todas as comunidades. A partir do entendimento da unidade de conservação como uma escala de planejamento que conecta as populações nela residentes, espera-se retratar as demandas existentes contribuindo com importantes insumos para avanços efetivos na universalização dos serviços de saneamento básico na RDS do Tupé.

Contextualizando a RDS do Tupé, situada na zona rural do município de Manaus, a aproximadamente 25 quilômetros do porto de Manaus, às margens do rio Negro, com uma extensão de 11.973 hectares, a RDS faz fronteira com outras unidades de consrervação e áreas de proteção ambiental do Mosaico do Baixo Rio Negro (MBRN), configurando-se como território estratégico para a proteção da biodiversidade e a permanência das comunidades tradicionais que ali vivem.

A população total estimada é de 3.072 pessoas, ao todo vivem 768 famílias na RDS, distribuídas da seguinte forma: Agrovila (198 famílias), Nossa Senhora do Livramento (300 famílias), Colônia Central (60 famílias), São João do Tupé (118 famílias) e Tatulândia (22 famílias), segundo levantamento realizado pela SEMMASCLIMA em parceria com as lideranças comunitárias.

No contexto socioeconômico, os entrevistados 73% relatam viver com até um salário mínimo por mês, os outros 21% afirmam receber entre 1 e 2 salários mínimos, enquanto apenas 6% relatam ter rendimentos maiores. Em termos de renda per capita, 82% das famílias estão abaixo de meio salário mínimo. A principal fonte de renda das comunidades na RDS do Tupé é a agricultura.

A RDS do Tupé tem como principal fonte de energia a rede pública utilizada por 93% dos moradores, porém frequentemente sofrem com interrupções no fornecimento de energia, mais de uma vez na semana, com restabelecimento que geralmente demora mais de 24 horas. Essa instabilidade interfere no funcionamento dos poços comunitários, que dependem da energia para bombear água potável.

As principais doenças registradas nas comunidades da reserva incluem malária, pneumonia, viroses, rotavírus, diarréia, verminoses, hepatite e gripe. Essas informações foram obtidas por meio de questionários aplicados durante o Mapeamento Participativo realizado em 2016.

Na RDS do Tupé, não são realizados serviços de saneamento básico de maneira integral, os comunitários criaram soluções para o abastecimento coletivo de água onde há um custo entre R$ 5,00 e R$ 20,00 por mês por morador para realizar a operação de bomba e supervisão do sistema de abastecimento. As principais fontes de captação de água são os poços artesianos, poços comunitários com captação em poços tubulares profundos, cacimbas ou diretamente dos igarapés.

O acesso a banheiro na RDS também é outro grande problema, todos relatam ter banheiros próprios, ainda que em condições variadas, alguns são banheiros externos, porém 29% dos moradores relatam não possui fossa rudimentar, lançam os dejetos direto no esgoto ou em latrinas, e ainda não existem elementos de coleta e transporte disponíveis para a RDS para esses resíduos.

Na RDS do Tupé, não existe sistema público de esgotamento sanitário. Considerando a configuração territorial das comunidades, marcada por ocupação dispersa e baixa densidade populacional, soluções descentralizadas, individuais ou voltadas a pequenos agrupamentos domiciliares, se mostram as mais adequadas. Atualmente, predominam fossas rudimentares sem impermeabilização lateral ou de fundo, e em sua maioria construídas sem o devido acompanhamento técnico ou critérios sanitários mínimos. Parte dos moradores utiliza fossas compartilhadas com vizinhos ou recorre a soluções improvisadas. Uma vez que a maioria dos

usuários nunca realizou a limpeza ou a destinação adequada do lodo fecal, a prática de aterramento de fossas preenchidas é comum, incorrendo assim na abertura de novas fossas quando necessário. Ressalta-se que apenas os efluentes provenientes dos vasos sanitários são destinados às fossas, enquanto os demais efluentes sanitários domésticos – de pias, banho, lavagem de roupas e alimentos (águas cinzas), são geralmente descartados diretamente nos quintais, sem tratamento prévio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os questionários aplicados aos moradores obtivemos os seguintes resultados:

1. Doenças de veiculação hídrica:

Doenças de veiculação hídrica	Agrovila	Colônia Central	Julião	Livramento	São João	Tatulândia
Diarréia	81,25%	52,60%	42,08%	70%	47,34%	20%
Verme	37,50%	42,08%	10,52%	55%	47.34%	20%
Leptospirose	-	5,26%	5,26%	5%	5,26%	-
Disenteria bacteriana	6,25%	10,52%	5,26%	35%	21,04%	-
Outros	-	10,52%	10,52%	10%	5,26%	-

2. Fonte de água principal:

Fonte de água principal	Agrovila	Colônia Central	Julião	Livramento	São João	Tatulândia
Poço comunitário	75%	63,12%	78,00 %	5%	63,12%	-
Igarapé	6,25%	26,30%	5,26%	-	10,52%	20%
Poço particular maior que 30m	-	10,52%	10,52 %	50%	15,78%	40%
Não possui	12,50%	-	-	-	5,26%	-

Outro (Cacimba, Poço vizinho, açude)	6,25%	-	5,26%	45%	5,26%	40%

3. Percepção de problemas na água:

Percepção de problemas na água	Agrovila	Colônia Central	Julião	Livramento	São João	Tatulândia
Cor	25%	26,30%	15,78%	25%	47,34%	-
Odor	6,25%	36,62%	31,56%	5%	21,04%	20%
Sabor	37,50%	42,08%	15,78%	15%	31,56%	-
Não possui	31,25%	42,08%	47,34%	75%	31,56%	80%

4. Encaminhamento de dejetos:

Encaminhamento de dejetos	Agrovila	Colônia Central	Julião	Livramento	São João	Tatulândia
Dentro de casa, com descarga elétrica	6,25%	10,52%	42,08%	35%	42,08%	20%
Dentro de casa, com balde	43,75%	31,56%	42,08%	10%	36,62%	-
Não está dentro de casa	50%	57,86%	15,78%	55%	21,04%	80%

A partir dos dados coletados, percebe-se que há déficits e necessidades de intervenções em diversos âmbitos, no entanto destaca-se importância para que as ações mais imediatas priorizem questões de maior criticidade e impacto socioambiental. Deste modo, avalia-se como prioritário endereçar as seguintes questões em todas as comunidades:

A interrupção constante no abastecimento de água, tem impactado diretamente na qualidade de vida das comunidades, está intimamente conectada com melhorias na infraestrutura elétrica e provisão de dinâmicas ágeis para peças de reposição, reparos e manutenção preventiva nas comunidades.

A falta de medidas de contenção de esgoto adequadas, geram consequências na contaminação dos mananciais e na qualidade da água consumida pela população, deve-se incluir a implantação de soluções de contenção na RDS com os devidos cuidados (dimensionamento, impermeabilizações, cuidados construtivos etc.).

A inexistência de tratamento de esgoto, com ocorrência de lançamento direto em solos, valas e/ou corpos d'água, também está impactando negativamente mananciais e aumentando riscos de contaminação, podendo envolver um planejamento de implantações no âmbito da RDS como um todo e devendo incluir uma estruturação na dinâmica de gestão dos lodos.

A existência de problemas na qualidade da água, é confirmada pelas recentes análises microbiológicas conduzidas pela FIOCRUZ no território, que apontaram contaminação por coliformes em diversos mananciais de abastecimento, reforçando a necessidade urgente de se buscar alternativas adequadas para o tratamento da água. É fundamental fortalecer as práticas comunitárias de cuidado com a água, higiene, operação e manutenção dos sistemas, bem como o fortalecimento da vigilância e do controle regular da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZÔNIA REAL. População tradicional da RDS do Tupé vive conflito ambiental no Amazonas. 2025. Disponível em: <https://amazoniareal.com.br/populacao-tradicional-da-rds-do-tupe-vive-conflito-ambiental-no-amazonas/>

BRASIL. Plano de Gestão Volume I – Diagnóstico. 2016.

_____. Plano de Gestão Volume II – Planejamento. 2017.

_____. Decreto municipal no 8044, de 25 de agosto de 2005. Manaus, 2005.

_____. Plano de Gestão da RDS – Vol. I e Vol. II. Manaus, 2017.

_____. Plano de trabalho: revitalização de centro comunitário em Agrovila. Disponível em: <https://www.sema.am.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/2-PLANO-DE-TRABALHO-PRIMITIVO_COM-TARJA.pdf>

INSTITUTO PUXIRUM. Diagnóstico participativo sobre energia elétrica na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé. 2025. MOSAICO DO BAIXO RIO NEGRO (MBRN).

RDS do Tupé. Disponível em:<https://mosaicodobaixorionegro.eco.br/rds-do-tupe/>

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (SEMMASCLIMA). Áreas protegidas. Disponível em:<https://www.manaus.am.gov.br/semmas/areas-protegidas/>

SILVA, José da. Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé – Amazonas: aspectos

socioambientais sobre a comunidade Nossa Senhora do Livramento. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. Disponível em:<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/4306?locale=pt_BR>

KIPNIS, Tomas G.; CASTRO, Paulo B. N. A relevância do esgotamento sanitário descentralizado e sistemas baseados no manejo do lodo fecal. 2020. Disponível em:<https://saneamentoinclusivo.org.br/wp-content/uploads/2023/12/SI_Caderno_1_R03.pd>

WIKIPARQUES. Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé. Disponível em:<https://www.wikiparques.org/wiki/Reserva_de_Desenvolvimento_Sustent%C3%A1vel_do_Tup%C3%A9>

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035598

ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO ALTO CAPIBARIBE: DIAGNÓSTICO A PARTIR DA PLATAFORMA DE SANEAMENTO RURAL

ABASTECIMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES DEL ALTO CAPIBARIBE: DIAGNÓSTICO A PARTIR DE LA PLATAFORMA DE SANEAMIENTO RURAL

WATER SUPPLY IN RURAL COMMUNITIES OF THE ALTO CAPIBARIBE: A DIAGNOSIS BASED ON THE RURAL SANITATION PLATFORM

Thamires Carolayne Cavalcanti Moura[1], Thaise de Souza Santos[2], João Lucas Alves Callou de Sá[3] e Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[4].

[1]Doutoranda em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, tccmoura@gmail.com, 0000-0003-4762-3849;
[2]Mestranda em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, thaise.santos@ufpe.br, 0009-0004-4009-8249;
[3]Mestrando em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, joao.callou@ufpe.br, 0009-0004-7695-3331;
[4]Doutor em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br, 0000-0003-3475-1454.

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e políticas públicas
Desafios na implementação do Marco Legal do Saneamento em áreas rurais.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructurante: Gestión y Políticas Públicas
Desafíos en la Implementación del Marco Legal del Saneamiento en Zonas Rurales

Thematic Axis 02 – Structural Sanitation: Management and Public Policies
Challenges in the Implementation of the Legal Framework for Sanitation in Rural Areas

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo diagnosticar a situação do abastecimento de água em comunidades rurais do Alto Capibaribe, Pernambuco, a partir dos dados da Plataforma de Saneamento Rural. Trata-se de uma pesquisa de natureza quantitativa, qualitativa e exploratória, que sistematizou informações sobre formas de abastecimento, qualidade da água e destino do esgoto. No conjunto do estado, a plataforma registra 7.260 comunidades; 5.128 informaram sua situação de abastecimento: 470 são atendidas pela Compesa, 437 por gestão comunitária, 950 por municípios/SAAE, 50 pelo SISAR, 1.020 por carro-pipa e 2.206 encontram-se sem abastecimento regular. Para a Gerência de Negócios Regional Alto Capibaribe, foram analisados 391 registros. Os resultados indicam que mais da metade das comunidades não dispõe de abastecimento regular, recorrendo a alternativas emergenciais, como a Operação Carro-Pipa, ou a arranjos de gestão comunitária; parcela expressiva permanece sem acesso a qualquer fonte de água. Observou-se, ainda, que a água consumida é predominantemente de baixa qualidade, com destaque para o uso de água salobra proveniente de poços, o que agrava riscos sanitários na ausência de tratamento. Em relação ao esgotamento, predomina a ausência de informação declarada; entre as respostas, prevalecem fossas rudimentares e a disposição inadequada de efluentes, indicando baixa cobertura de soluções seguras. A análise reforça a vulnerabilidade hídrica e sanitária do território e evidencia a

interdependência entre insuficiência de infraestrutura, fragilidades de gestão e condicionantes ambientais do Semiárido. Recomenda-se ampliar e qualificar a infraestrutura de abastecimento, com prioridade para água tratada; fortalecer modelos de gestão comunitária e municipal; intensificar o cadastramento e a assistência técnica local; e integrar soluções adaptadas ao contexto, como o aproveitamento de aluviões. Conclui-se que políticas públicas integradas são essenciais para promover a universalização do acesso à água potável e ao saneamento, em consonância com o Novo Marco Legal do Saneamento e com as metas do ODS 6, contribuindo para reduzir desigualdades e melhorar a saúde e a qualidade de vida nas comunidades rurais do Alto Capibaribe.

Palavras-chave: Saneamento Básico, Semiárido, Políticas públicas.

RESÚMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diagnosticar la situación del abastecimiento de agua en comunidades rurales del Alto Capibaribe, Pernambuco, a partir de los datos de la Plataforma de Saneamiento Rural. Se trata de una investigación de carácter cuantitativo, cualitativo y exploratorio, que sistematizó informaciones sobre formas de abastecimiento, calidad del agua y destino de las aguas residuales. En el conjunto del estado, la plataforma registra 7.260 comunidades; 5.128 informaron su situación de abastecimiento: 470 son atendidas por la Compesa, 437 por gestión comunitaria, 950 por municipios/SAAE, 50 por el SISAR, 1.020 por camión cisterna y 2.206 se encuentran sin abastecimiento regular. Para la Gerencia Empresarial Regional Alto Capibaribe, se analizaron 391 registros. Los resultados indican que más de la mitad de las comunidades no dispone de abastecimiento regular, recurriendo a alternativas de emergencia, como la Operación Camión Cisternas, o a arreglos de gestión comunitaria; una parte significativa permanece sin acceso a ninguna fuente de agua. Se observó, además, que el agua consumida es predominantemente de baja calidad, con énfasis en el uso de agua salobre proveniente de pozos, lo que agrava los riesgos sanitarios en ausencia de tratamiento. En relación con el alcantarillado, predomina la ausencia de información declarada; entre las respuestas, prevalecen fosas rudimentarias y la disposición inadecuada de efluentes, lo que indica una baja cobertura de soluciones seguras. El análisis refuerza la vulnerabilidad hídrica y sanitaria del territorio y evidencia la interdependencia entre insuficiencia de infraestructura, debilidades de gestión y condicionantes ambientales del Semiárido. Se recomienda ampliar y mejorar la infraestructura de abastecimiento, con prioridad para agua tratada; fortalecer modelos de gestión comunitaria y municipal; intensificar el registro y la asistencia técnica local; e integrar soluciones adaptadas al contexto, como el aprovechamiento de aluviones. Se concluye que las políticas públicas integradas son esenciales para promover la universalización del acceso al agua potable y al saneamiento, en consonancia con el Nuevo Marco Legal del Saneamiento y con las metas del ODS 6, contribuyendo a reducir desigualdades y mejorar la salud y la calidad de vida en las comunidades rurales del Alto Capibaribe.

Palabras clave: Saneamiento básico, Semiárido, Políticas públicas.

ABSTRACT

This study aims to diagnose the water supply situation in rural communities of the Alto Capibaribe, Pernambuco, based on data from the Rural Sanitation Platform. It is a quantitative, qualitative, and exploratory research that systematized information on water supply methods,

water quality, and wastewater disposal. Across the state, the platform records 7,260 communities; 5,128 reported their water supply situation: 470 are served by Compesa, 437 by community management, 950 by municipalities/SAAE, 50 by SISAR, 1,020 by water trucks, and 2,206 lack regular supply. For the Alto Capibaribe Regional Business Management, 391 records were analyzed. The results indicate that more than half of the communities lack regular supply, relying on emergency alternatives such as the Water Truck Operation or community-based management arrangements; a significant portion remains without access to any water source. It was also observed that the water consumed is predominantly of poor quality, especially brackish water from wells, which increases health risks in the absence of treatment. Regarding sanitation, the absence of declared information prevails; among the responses, rudimentary cesspits and inadequate wastewater disposal are most common, indicating low coverage of safe solutions. The analysis reinforces the region's water and sanitation vulnerability and highlights the interdependence between insufficient infrastructure, management weaknesses, and environmental constraints of the Semi-arid region. It is recommended to expand and improve water supply infrastructure, prioritizing treated water; strengthen community and municipal management models; intensify local registration and technical assistance; and integrate context-adapted solutions, such as the use of alluvial deposits. It is concluded that integrated public policies are essential to promote universal access to safe drinking water and sanitation, in line with the New Sanitation Legal Framework and the targets of SDG 6, contributing to reducing inequalities and improving health and quality of life in the rural communities of the Alto Capibaribe.

Keywords: Basic sanitation, Semiarid, Public policies

INTRODUÇÃO

A universalização do acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil ganhou novo fôlego com a promulgação da Lei nº 14.026/2020, que instituiu o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (NMSB). Essa legislação estabelece como diretriz fundamental a ampliação e qualificação da prestação dos serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário, definindo como meta atender 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033 (Brasil, 2020).

Para o cumprimento dessas metas, torna-se necessário incluir populações historicamente marginalizadas, como comunidades rurais, indígenas, quilombolas, extrativistas e ribeirinhas, uma vez que essas regiões apresentam os menores índices de cobertura de saneamento quando comparadas às áreas urbanas (FUNASA, 2019).

No entanto, o desafio de universalizar o saneamento é agravado pela má distribuição dos recursos hídricos no Brasil e pelas diversidades regionais e climáticas. No Semiárido, região que inclui o Alto Capibaribe, a oferta hídrica é limitada por fatores climáticos e

hidrogeológicos: altas taxas de evapotranspiração, elevada incidência solar, temperaturas elevadas e precipitações irregulares dificultam a formação de reservatórios superficiais (Caiçara *et al*., 2022). O predomínio de rochas cristalinas reduz a disponibilidade de águas subterrâneas, o que aumenta a vulnerabilidade à escassez; somado a isso, as mudanças climáticas, ao promoverem a redução das chuvas e a elevação das temperaturas, tendem a agravar ainda mais esse cenário, comprometendo a segurança hídrica e o abastecimento humano (Rodrigues, 2022).

No estado de Pernambuco, políticas públicas foram implementadas visando melhorar o abastecimento rural. O Programa de Saneamento Rural de Pernambuco (PROSAR), financiado pelo Banco Mundial e pelo governo estadual, destina recursos para ampliar o acesso à água e ao esgotamento sanitário em comunidades rurais, fortalecendo modelos de gestão comunitária, como os Sistemas Integrados de Saneamento Rural – SISAR (World Bank, 2024). Esse modelo tem se mostrado eficaz por combinar sustentabilidade financeira, elevada adimplência e participação social (Castro *et al*., 2021).

Ferramenta fundamental nesse contexto é a Plataforma de Saneamento Rural, criada pela Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco. Essa base de dados reúne informações de milhares de comunidades, abrangendo estimativas populacionais, formas de abastecimento, mananciais disponíveis e infraestrutura hídrica instalada, como poços, barragens e adutoras. Dados recentes indicam que quase metade da população cadastrada não possui abastecimento regular de água, revelando a dimensão da vulnerabilidade no meio rural (Pernambuco, 2023).

Além das políticas públicas, os recursos hídricos subterrâneos armazenados em aluviões vêm sendo apontados como alternativa estratégica para o Semiárido. Estudos no Alto Capibaribe demonstram que tais depósitos sedimentares possuem boa granulometria e porosidade, favorecendo a acumulação e exploração de água subterrânea. Nessas localidades, é comum que as famílias utilizem cisternas para o consumo humano e reservatórios aluvionares para agricultura e criação animal, o que reforça seu papel na convivência com a seca (Caetano *et al*., 2020).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo realizar um diagnóstico do abastecimento de água em comunidades rurais do Alto Capibaribe, a partir dos dados da Plataforma de Saneamento Rural. Pretende-se identificar as formas de abastecimento

predominantes, a infraestrutura disponível e a relevância de mananciais subterrâneos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza quantitativa, qualitativa e exploratória, com enfoque descritivo, tendo como objeto de análise o abastecimento de água em comunidades rurais da região do Alto Capibaribe (PE). O estudo busca utilizar os dados disponibilizados pela Plataforma de Saneamento Rural do Estado de Pernambuco para compreeder a atual situação de abastecimento de água na região.

O levantamento de dados foi realizado por meio de acesso direto à Plataforma de Saneamento Rural, disponibilizada pela Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (Pernambuco, 2023). Na plataforma, é possível extrair em formato de .csv, todas as informações cadastradas na plataforma. Vale reforçar que a plataforma é preenchida com dados autodeclaratórios e que a ferramenta, embora já possua uma quantidade significativa de informações, ainda vem sendo difundida no Estado.

Após a extração dos dados, aplicaram-se filtros para delimitar a área de estudo à Gerência de Negócios Regional (GNR) Alto Capibaribe (Figura 1). As informações foram organizadas em planilhas no Microsoft Excel, permitindo calcular indicadores simples, como percentuais de cobertura do abastecimento e a frequência de uso das diferentes fontes de água.

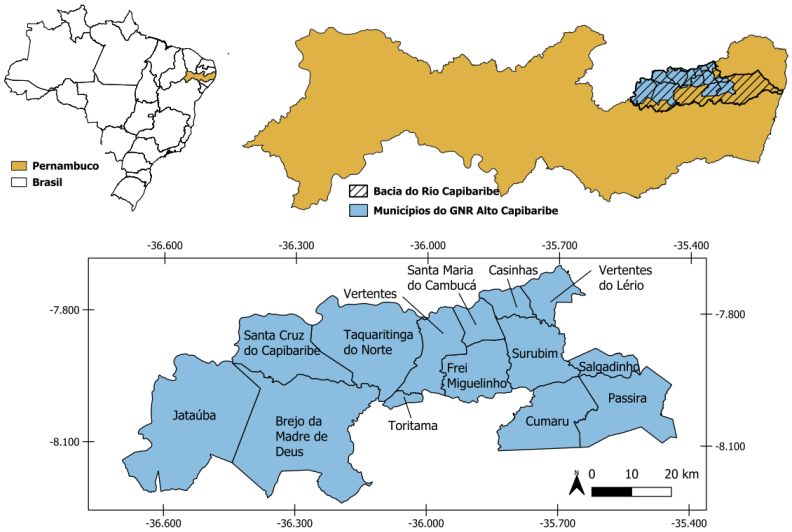


Figura 1. Delimitação da região da Gerência de Negócios Regional Alto Capibaribe.
Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente, existem 7.260 comunidades rurais cadastradas na plataforma, destas somente 5.128 indicaram qual a atual situação de abastecimento, onde somente 470 são abastecidas pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), 437 são abastecidas pela própria comunidade, 1.020 são abastecidas por meio de carro-pipa, 950 são abastecidos pelo município ou Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), 50 são abastecidas pelo SISAR e 2.206 encontram-se sem abastecimento. Por ser uma plataforma que ainda vem sendo difundida, ainda existem muitas comunidades que não foram cadastradas, logo, esse número pode variar com o passar dos dias. Do total de comunidades cadastradas, somente 391 correspondem a região da GNR Alto Capibaribe, o que representa aproximadamente 5,4% do total registrado na plataforma. Esse dado evidencia a necessidade de ampliar o processo de cadastramento e atualização das informações, de modo a permitir uma compreensão mais precisa da realidade do abastecimento de água nessa região específica e no estado como um todo.

Na Figura 2, observa-se que os dados contemplam diferentes formas de acesso à água, incluindo abastecimento por órgãos públicos, iniciativas comunitárias e alternativas emergenciais, como a Operação Carro-Pipa. Além disso, o gráfico também evidencia a parcela de comunidades que ainda não responderam sobre sua condição de abastecimento, bem como aquelas que se encontram totalmente sem acesso a esse serviço essencial.

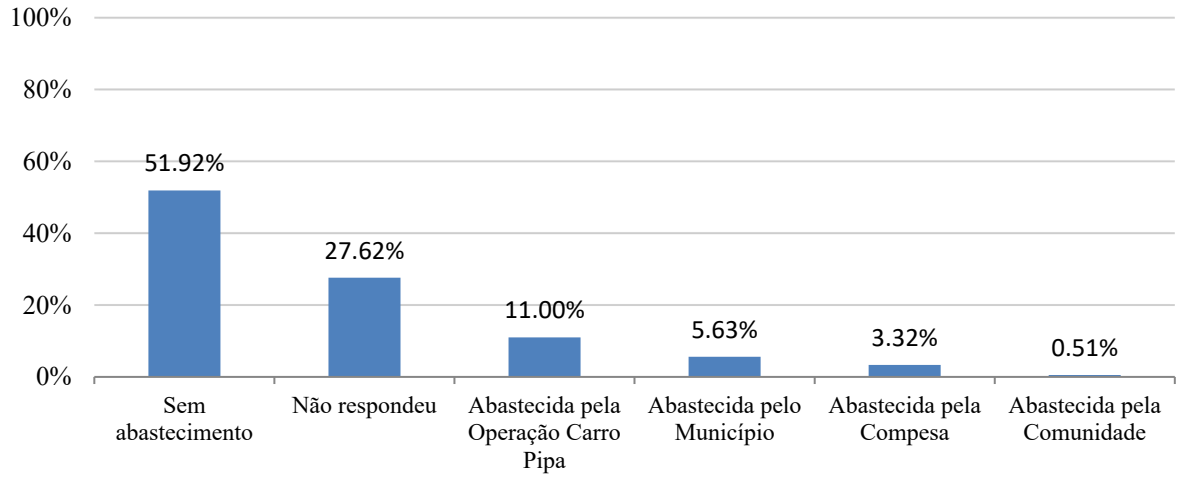


Figura 2. Distribuição percentual da situação de abastecimento das comunidades rurais cadastradas na Gerência de Negócios Regional Alto do Capibaribe – PE.

Fonte: Autores, 2025. Fonte dos dados: Pernambuco, 2023.

A análise demonstra um cenário preocupante pois mais da metade das comunidades registradas permanece sem qualquer forma de abastecimento de água, enquanto a participação de sistemas formais, como a Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) e os serviços municipais, aparece de forma bastante reduzida. Esse quadro revela não apenas a fragilidade da infraestrutura hídrica em áreas rurais, mas também a necessidade urgente de políticas públicas voltadas para a universalização do acesso à água, especialmente em regiões historicamente vulneráveis à escassez hídrica.

O formulário da Plataforma de Saneamento Rural apresenta campos de preenchimento com alternativas predefinidas para alguns questionamentos, como por exemplo, o tipo de abastecimento. Essa característica deve ser considerada como uma limitação metodológica, pois restringe a diversidade de respostas possíveis. Destaca-se, por exemplo, que a captação de água de chuva não aparece entre as alternativas fornecidas, o que merece atenção, dado seu uso recorrente em comunidades rurais do semiárido.

Observa-se, na Figura 3, que os usos se distribuem entre diferentes fontes, como água bruta proveniente de barragens, rios, açudes, poços e adutoras, além da água transportada por carros-pipa. Também se destaca a presença de água salobra proveniente de poços, assim como a utilização de água tratada de adutora em menor proporção, em concordância com os estudos que apontam que a água consumida em áreas rurais do Brasil apresenta riscos associados à ausência de tratamento adequado (Silva *et al.*, 2022). Um número significativo de comunidades, entretanto, não respondeu sobre a qualidade da água consumida.

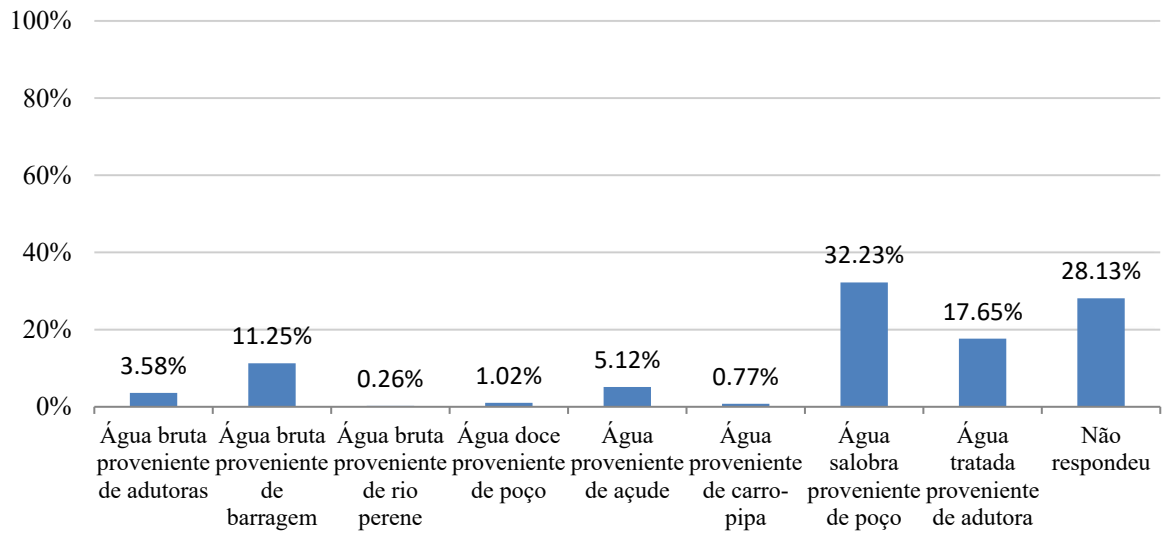


Figura 3. Distribuição percentual da qualidade de água utilizada pelas comunidades rurais

cadastradas na Gerência de Negócios Regional Alto do Capibaribe – PE.
Fonte: Autores, 2025. Fonte dos dados: Pernambuco, 2023.

A leitura do gráfico evidencia que a maior parte da população depende de fontes de água de baixa qualidade, como a água salobra proveniente de poços, que concentra o maior percentual entre as respostas, seguida de comunidades que não informaram sua situação. Esse cenário revela a fragilidade das condições de potabilidade e salubridade da água em áreas rurais, apontando riscos à saúde da população e reforçando a necessidade de ampliar os investimentos em infraestrutura de abastecimento, com prioridade para a oferta de água tratada e de qualidade adequada ao consumo humano (Neves *et al*., 2017).

Esse padrão já é observado em estudos acadêmicos recentes. Uma revisão bibliográfica sobre a qualidade da água consumida em comunidades rurais no Brasil encontrou, na maioria das análises realizadas, parâmetros como coliformes totais e termotolerantes, além de valores de pH, cloretos e turbidez fora dos padrões sanitários, configurando risco aumentado de doenças associadas ao consumo de água não tratada (Silva *et al*., 2022).

Dos 391 registros analisados sobre o destino do esgoto nas comunidades rurais da GNR Alto Capibaribe, observa-se que a grande maioria (82,1%) não respondeu à questão, revelando uma lacuna importante de informação. Entre os que informaram, 13,0% declararam utilizar fossas como forma de disposição, enquanto 3,6% relataram lançar o esgoto a céu aberto em ruas ou estradas. Destinos menos frequentes incluem o uso do esgoto para irrigar plantas do entorno das residências (0,5%), o encaminhamento para redes coletoras de esgoto (0,5%) e o escoamento para galerias de águas pluviais (0,3%). Esses dados evidenciam não apenas a baixa cobertura de sistemas adequados de coleta e tratamento de esgoto, mas também a necessidade de maior detalhamento nas respostas, a fim de compreender melhor a realidade sanitária dessas comunidades.

A combinação de fontes hídricas de baixa qualidade, associada à ausência ou inadequação de sistemas de esgotamento sanitário, revela um cenário de vulnerabilidade ambiental e social que compromete diretamente a saúde pública e a qualidade de vida da população. Esses achados corroboram a literatura que aponta o saneamento básico como um dos determinantes mais relevantes para a promoção da saúde e para a redução das desigualdades regionais (Moreira *et al*., 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico realizado a partir da Plataforma de Saneamento Rural evidencia, para as comunidades da Gerência de Negócios Regional Alto Capibaribe, um quadro de forte vulnerabilidade hídrica e sanitária. Observou-se que a forma predominante de acesso à água ainda é a inexistência de abastecimento regular, seguida por estratégias emergenciais, como o carro-pipa, e arranjos difusos, como a gestão comunitária ou o apoio municipal. Paralelamente, a qualidade da água é condicionada, em grande medida, ao uso de mananciais subterrâneos salobros e de águas brutas de barragens e açudes, expondo a população a riscos sanitários quando não há tratamento adequado. Soma-se a isso a ausência de informações consolidadas sobre instalações sanitárias e destino do esgoto, o que indica não apenas baixa cobertura de serviços, mas também a necessidade de aprimoramento no processo de cadastramento e na assistência técnica local.

De forma mais ampla, os achados demonstram a interdependência entre a precariedade do abastecimento hídrico e a insuficiência dos sistemas de esgotamento sanitário, configurando um cenário que compromete diretamente a saúde pública e a qualidade de vida das comunidades rurais. Tais resultados dialogam com a literatura recente, que aponta o saneamento básico como fator estruturante para a promoção da saúde e para a redução das desigualdades regionais. Nesse sentido, ressalta-se a importância de políticas públicas integradas que garantam a universalização do acesso à água potável e ao saneamento, especialmente em áreas rurais do Semiárido, em alinhamento ao Novo Marco Legal do Saneamento e às metas do ODS 6 da Agenda 2030.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo á Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de mestrado à primeira autora (processo 1141-3.01/24) e doutorado à segunda autora (processo 1900-3.01/24). Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Governo Federal. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico*. Diário Oficial da União, Brasília.

Caetano, Tiago Oliveira; et al. 2020. "Abastecimento rural de água: uso e demanda em comunidades do Semiárido e a disponibilidade hídrica das aluviões." *Revista de Gestão de Água da América Latina* 17.

Caiçara, Thamires Macêdo S. A.; et al. 2022. "Panorama do abastecimento de água no semiárido brasileiro." *Exatas & Engenharias* 12 (35): 22–40.

Castro, Lívia Arruda; Taleires, Flávia Cristina da Silva Sousa; Silveira, Samara Silva. 2021. "Índice de desenvolvimento humano em municípios que possuem sistema integrado de saneamento rural: uma análise comparativa." *Ciência & Saúde Coletiva* 26: 351–57.

FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). 2019. *Panorama do saneamento rural no Brasil*. Brasília: FUNASA.

Moreira, F. D.; et al. 2023. "O espaço público e o público que o frequenta: dilemas dos direitos humanos à água e ao saneamento." *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* 25: e202316.

Neves, R. P.; Santos, M. V.; Albuquerque, C. C.. 2017. "Avaliação da qualidade da água em comunidades rurais do Nordeste." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22 (3): 543–52.

Pernambuco (Estado), Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento. 2023. *Plataforma de Saneamento Rural*. Recife: Governo de Pernambuco.

Rodrigues, Elyfas Allyjackson Morais. 2022. *Avaliação de impacto e de sustentabilidade financeira para política pública de saneamento rural no estado de Pernambuco*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.

Silva, N. B. da; Nunes, A. P. A.; Oliveira, A. R. de; et al. 2022. "Qualidade da água consumida em comunidades rurais no Brasil: uma revisão bibliográfica." *Revista Engenharia e Análise de Sistemas* 9 (2): 1–15.

World Bank. 2024. *Pernambuco Rural Sanitation Program (PROSAR)*. Washington, D.C.: World Bank.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035621

GESTÃO DO SANEAMENTO RURAL: UMA ABORDAGEM INTEGRADA A PARTIR DA ANÁLISE SOCIOECOLÓGICA

GESTIÓN DEL SANEAMIENTO RURAL: UN ENFOQUE INTEGRADO A PARTIR DEL ANÁLISIS SOCIOECOLÓGICO

RURAL SANITATION MANAGEMENT: AN INTEGRATED APPROACH BASED ON SOCIO-ECOLOGICAL ANALYSIS

Marcos Pereira de Araújo[1], Márcia Maria Rios Ribeiro[2].

[1]Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil, marcos.p.araujo@estudante.ufcg.edu.br, ORCID: 0000-0002-4148-0413.
[2]Professora – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil, marcia.maria@professor.ufcg.edu.br, , 0000-0002-3446-6752.

Eixo Temático 02 – Saneamento estruturante: gestão e políticas públicas
Regulação e fiscalização dos serviços de saneamento no meio rural.

Eje Temático 02 – Saneamiento estructurante: gestión y políticas públicas
Regulación y fiscalización de los servicios de saneamiento en el medio rural.

Thematic Axis 02 – Structuring Sanitation: Management and Public Policies
Regulation and oversight of sanitation services in rural areas.

RESUMO

A gestão do saneamento rural apresenta-se como um processo complexo e multidimensional, no qual a eficácia depende da integração entre recursos naturais, infraestrutura, governança e participação social. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o saneamento rural sob a perspectiva dos sistemas socioecológicos, utilizando o arcabouço proposto por McGinnis e Ostrom (2014), de modo a compreender as interações entre recursos, infraestrutura, governança e atores sociais, bem como identificar os desafios e as oportunidades para fortalecer a sustentabilidade e a resiliência dos serviços em áreas rurais. Os resultados indicaram que as unidades de recurso englobam água potável, efluentes sanitários, resíduos sólidos, águas pluviais e subprodutos gerados, cada um com características próprias de disponibilidade, qualidade e formas de aproveitamento A aplicação do SSE possibilitou identificar que as interações entre práticas cotidianas e infraestrutura resultam em impactos diretos sobre saúde pública, qualidade ambiental e inclusão social, enquanto fatores externos, como padrões climáticos, condições hidrogeológicas e políticas públicas, funcionam como condicionantes críticos para a eficácia e a resiliência dos sistemas.

Palavras-chave: Saneamento rural, Gestão integrada, Sistema socioecológico, Governança

RESÚMEN

La gestión del saneamiento rural se presenta como un proceso complejo y multidimensional, en el que la eficacia depende de la integración entre los recursos naturales, la infraestructura,

la gobernanza y la participación social. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar el saneamiento rural desde la perspectiva de los sistemas socioecológicos, utilizando el marco propuesto por McGinnis y Ostrom (2014), con el fin de comprender las interacciones entre recursos, infraestructura, gobernanza y actores sociales, así como identificar los desafíos y oportunidades para fortalecer la sostenibilidad y la resiliencia de los servicios en áreas rurales. Los resultados indicaron que las unidades de recurso comprenden agua potable, efluentes sanitarios, residuos sólidos, aguas pluviales y subproductos generados, cada uno con características propias de disponibilidad, calidad y formas de aprovechamiento. La aplicación del SSE permitió identificar que las interacciones entre las prácticas cotidianas y la infraestructura generan impactos directos sobre la salud pública, la calidad ambiental y la inclusión social, mientras que factores externos, como los patrones climáticos, las condiciones hidrogeológicas y las políticas públicas, funcionan como condicionantes críticos para la eficacia y la resiliencia de los sistemas.

Palabras clave: Saneamiento rural, Gestión integrada, Sistema socioecológico, Gobernanza

ABSTRACT

Rural sanitation management is a complex and multidimensional process, in which effectiveness depends on the integration of natural resources, infrastructure, governance, and social participation. In this context, the present study aims to analyze rural sanitation from the perspective of socio-ecological systems, using the framework proposed by McGinnis and Ostrom (2014), in order to understand the interactions between resources, infrastructure, governance, and social actors, as well as to identify the challenges and opportunities to strengthen the sustainability and resilience of services in rural areas. The results indicated that the resource units include drinking water, sanitary effluents, solid waste, stormwater, and generated by-products, each with its own characteristics of availability, quality, and potential use. The application of the SES framework made it possible to identify that interactions between daily practices and infrastructure result in direct impacts on public health, environmental quality, and social inclusion, while external factors, such as climate patterns, hydrogeological conditions, and public policies, act as critical determinants for the effectiveness and resilience of the systems.

Keywords: Rural sanitation, Integrated management, Social-ecological system, Governance

INTRODUÇÃO

A governança ambiental envolve os processos e instituições pelos quais os atores se organizam para a tomada de decisões, sendo crucial para a gestão eficiente do saneamento. A literatura aponta para um cenário complexo de repartição de competências e de titularidades variadas, demandando esforço de organização institucional, em que a clareza na atribuição de funções é um princípio basilar para a boa governança regulatória. Essa complexa distribuição de funções e a busca por um processo decisório de qualidade, que é a essência da governança

regulatória, são elementos fundamentais para o avanço no setor (Seixas et al., 2020; Dutra; Moreira; Loureiro, 2021; Lemos; Zukowski Junior; Rezende, 2023).

Sendo assim, a gestão do saneamento rural também pode ser considerada um processo complexo, onde a eficácia dessa gestão depende da integração e interdependência de diversos domínios. Arranjos institucionais e de governança, por exemplo, estabelecem as regras e a fiscalização necessárias para o funcionamento do sistema (Alemu et al., 2017), enquanto os sistemas de recursos e a infraestrutura técnica garantem a tecnologia e o suporte financeiro para sua operação (Li et al., 2021). Além disso, a dinâmica social e os atores envolvidos, como a participação ativa da comunidade e a colaboração, são cruciais para a aceitação e o sucesso das iniciativas (McAlister et al., 2023; Buana; Soewondo, 2025). Por fim, a atenção à adequação ambiental e à gestão ecológica une aspectos sociais, tecnológicos e naturais em uma abordagem holística para o saneamento rural (O'Reilly; Louis, 2014).

A análise dos sistemas de saneamento em áreas rurais exige, portanto, uma abordagem que considere a interação entre recursos, infraestrutura, atores sociais e governança, que moldam a sustentabilidade e a capacidade de adaptação, caracterizando-os como sistemas socioecológicos. Sendo assim, a partir dos aspectos evidenciados por McGinnis e Ostrom (2014), o Sistema Socioecológico (SSE) é uma ferramenta estratégica para essa gestão, pois integra recursos, unidades de recurso, atores e arranjos de governança como variáveis de primeiro nível, influenciadas por fatores exógenos sociais, econômicos, políticos e ambientais (Figura 1).

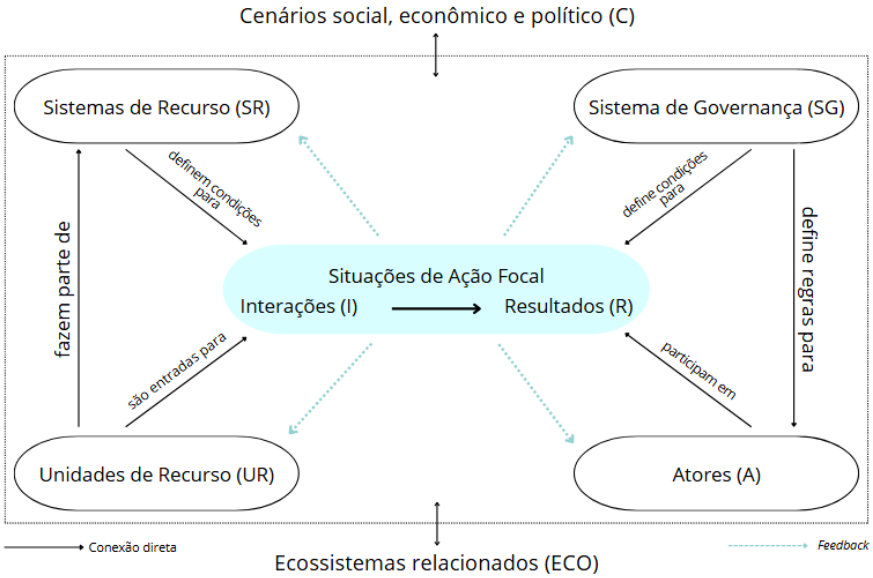


Figura 1: Estrutura do Sistema Socioecológico (SSE)
Fonte: Elaborado a partir de McGinnis e Ostrom (2014)

Entende-se que a análise socioecológica do saneamento rural a partir do arcabouço de Mcginnis e Ostrom (2014) ajuda a identificar desafios complexos e a desenvolver soluções mais eficazes e colaborativas. Ao considerar a interação entre o meio ambiente e o sistema social (como as comunidades), o SSE permite identificar ações que promovam a saúde pública, a qualidade ambiental e a sustentabilidade no setor de saneamento rural, assim como estratégias para além de soluções puramente tecnológicas.

Sendo assim, este estudo analisa os sistemas de saneamento rural como sistemas socioecológicos (McGinnis; Ostrom, 2014), visando compreender as interações existentes e identificar os fatores que influenciam os desafios e as oportunidades para a sustentabilidade e resiliência dos serviços relacionados em áreas rurais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo consistiu na aplicação da estrutura do Sistema Socioecológico (SSE), fundamentada na proposta de McGinnis e Ostrom (2014). Essa abordagem permitiu organizar a análise a partir das variáveis de primeiro nível — sistemas de recurso, unidades de recurso, sistemas de governança e atores — considerando suas interações e as influências externas que incidem sobre o saneamento rural. As variáveis definidas em primeiro nível consideraram especificidades para os aspectos analisados, conforme descrições evidenciadas a seguir (Quadro 1).

Quadro 1. Descrição das variáveis de primeiro nível adotadas no SSE

VARIÁVEL DO SSE	DESCRIÇÃO
Unidades de Recurso	Componentes chave do sistema que interagem com outros elementos e que são extraídos, utilizados ou necessitam ser geridos pelos usuários do sistema
Sistemas de Recurso	Sistema ecológico que contém recursos e é caracterizado pela estrutura biogeofísica e pela unidade de governança que define e implementa as regras de uso
Sistema de Governança	Entidades e procedimentos institucionais que determinam como os recursos são geridos, como as regras são estabelecidas, aplicadas e monitoradas, e como os conflitos são resolvidos
Atores	Indivíduos ou grupos que participam e influenciam, direta ou indiretamente, podendo ser responsáveis pela manutenção e gestão do sistema.

Fonte: Elaborado a partir de McGinnis e Ostrom (2014)

Seguindo a metodologia proposta por McGinnis e Ostrom (2014), o detalhamento das

variáveis do sistema foi desenvolvido também em segundo e terceiro nível, o que permitiu refinar a análise, passando de uma abordagem mais abrangente para outra mais restrita e detalhada.

Um levantamento bibliográfico sistemático foi realizado com o objetivo de fornecer a base teórica e analítica necessária à aplicação da metodologia proposta. A pesquisa contemplou artigos científicos, relatórios técnicos e documentos normativos relevantes sobre saneamento rural, governança e sustentabilidade socioecológica. Foram incluídos trabalhos nacionais e internacionais publicados a partir de 2010, selecionados em bases como Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As unidades de recurso no saneamento rural (Quadro 2) apresentam atributos que permitem avaliar a disponibilidade, qualidade e aproveitamento desses recursos. A análise desses indicadores evidencia que a efetividade do saneamento rural depende tanto da infraestrutura física quanto da gestão integrada de recursos. Por exemplo, a disponibilidade de água potável adequada e segura não se limita à presença de mananciais ou reservatórios, mas envolve monitoramento contínuo, capacidade de armazenamento e recuperação rápida após eventos extremos, garantindo resiliência frente a situações de escassez ou contaminação.

Quadro 2. Caracterização das **unidades de recurso** no saneamento rural

	Variáveis do SES		
	Primeiro nível	**Segundo nível**	**Terceiro nível**
UNIDADES DE RECURSO	Água potável	Origem, disponibilidade, qualidade, acessibilidade, infraestrutura e segurança	% de domicílios atendidos/abastecidos por origem da água; Volume per capita disponível; Vazão média dos mananciais; Regularidade do fornecimento; Distância média até a fonte de abastecimento; % de domicílios que usam fonte alternativa; Capacidade de reservatórios; Nº de análises de qualidade realizadas; Tempo de recuperação do sistema após eventos extremos; Conformidade com padrões de potabilidade
	Efluentes sanitários	Origem e composição, volume, formas de disposição, infraestrutura, qualidade e risco.	Volume médio de efluente gerado; % de domicílios que lançam esgoto a céu aberto; % de domicílios atendidos adequadamente; Eficiência de tratamento; Nº de eventos de contaminação identificados
	Resíduos sólidos	Origem, quantidade, manejo, infraestrutura, subprodutos e	Produção média de resíduos per capita; % de resíduos queimados ou enterrados;

		impactos.	% de resíduos reciclados ou compostados; Número de lixões ou pontos de descarte irregular identificados; Volume de composto produzido por ano
	Águas pluviais	Origem e captação, finalidade, tecnologias, qualidade, disponibilidade e impactos.	Volume drenado; % de aproveitamento para uso não potável; Frequência de alagamentos; Velocidade e direção do escoamento; Níveis de poluentes após o escoamento;
	Subprodutos gerados	Lodo de fossas, restos de resíduos compostados, composto orgânico proveniente de resíduos, águas de reuso, cinzas/resíduos da queima doméstica	Volume de lodo; Frequência de remoção; Nº de locais de disposição; Quantidade de resíduos produzida; % de resíduos aproveitado e/ou descartado; Volume produzido de água de reuso; % de água de reuso utilizada; Parâmetros de qualidade para uso não potável; Quantidade de resíduos de queima; % de resíduos de queima disposto de forma ambientalmente adequada

Fonte: Elaboração própria, 2025

Em relação aos sistemas de recurso (Quadro 3), a diversidade das fontes de água e das tecnologias de tratamento evidencia diferentes níveis de cobertura e eficiência entre os municípios rurais. A interpretação prática indica que intervenções devem priorizar a adequação tecnológica ao contexto local, investimento em manutenção preventiva e expansão de sistemas de tratamento compatíveis com a demanda, especialmente para reduzir os lançamentos de efluentes sem tratamento e o risco de contaminação ambiental.

Quadro 3. Caracterização dos **sistemas de recurso** no saneamento rural

	Variáveis do SES		
	Primeiro nível	**Segundo nível**	**Terceiro nível**
SISTEMAS	Fontes de água	Tipos de fonte: rede geral; poço profundo; poço raso/cacimba; nascente; cisterna; caminhão-pipa; captação pluvial	% de domicílios atendidos; Vazão; Qualidade; Regularidade do fornecimento;
	Infraestrutura de distribuição e tratamento de água	Extensão da rede Capacidade de reservação Condições de manutenção Tipos de sistema: filtração lenta; cloração; dessalinização; sistemas simplificados; tratamento domiciliar	Comprimento total; Capacidade de reservatórios; Perdas; População atendida; Volume tratado; % da população atendida; Eficiência de tratamento; Frequência de monitoramento;

DE RECURSO	Sistemas de coleta e tratamento de esgoto	Tipos de sistema: fossa séptica; fossa rudimentar; redes coletoras; sumidouros; valas de infiltração; caminhão-fossa; wetlands construídos; reatores anaeróbios; biodigestores; evapotranspiração. Sem solução: lançamento a céu aberto.	% de domicílios atendidos; Extensão da rede; Frequência de limpeza de fossas; Vazão tratada; Eficiência de tratamento; Nº de sistemas operantes; % de domicílios sem solução; Volume de efluentes sem tratamento; Nº de pontos de lançamento a céu aberto;
	Sistemas de manejo de resíduos sólidos	Coleta regular Compostagem Reciclagem Queima/enterramento Lixão/aterro controlado	Cobertura de coleta; % de resíduos reciclados/compostados; % de resíduos queimados/enterrados; Nº de áreas contaminadas
	Sistemas de drenagem pluvial	Tipos de sistema: valas; sarjetas; bacias de contenção; drenos; cisternas; jardins de chuva; telhados verdes	Extensão total; Volume drenado; Frequência de alagamentos; Nº de cisternas; Capacidade de armazenamento de água pluvial; Índice de erosão do solo; Taxa de infiltração

Fonte: Elaboração própria, 2025

O sistema de governança (Quadro 4) demonstra que o sucesso do saneamento rural está intimamente ligado à atuação coordenada das instituições públicas, normas formais e práticas comunitárias. A análise dos indicadores sugere que a fiscalização ativa e o engajamento comunitário apresentam maior eficiência na operação dos serviços, reforçando a necessidade de fortalecer capacidades institucionais e promover a educação sanitária da população local. A existência de mecanismos de financiamento diversificados mostra-se estratégica para assegurar investimentos contínuos em manutenção e expansão dos sistemas.

Quadro 4. Caracterização do **sistema de governança** no saneamento rural

Variáveis do SES			
	Primeiro nível	**Segundo nível**	**Terceiro nível**
SISTEMA DE	Instituições responsáveis	Prefeituras, Secretarias de Obras, Saúde e Meio Ambiente; FUNASA, Ministério da Saúde; Órgãos estaduais de recursos hídricos e saneamento; Associações comunitárias e cooperativas	Nº de instituições atuantes; Nº de associações comunitárias formalmente constituídas; % de municípios com órgãos ou departamentos de saneamento
	Regras formais	Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB); Leis nacionais (Lei 11.445/2007 e Lei 14.026/2020); Normas técnicas da ABNT e da FUNASA; Regulamentos estaduais e municipais	% de municípios com PMSB em vigor; Frequência de revisão dos planos; Nº de normas e regulamentos aplicados localmente

GOVERNANÇA	Regras informais	Práticas comunitárias Acordos entre famílias ou comunidades Uso de costumes locais	Nº de práticas realizadas; % da população que participa de ações comunitárias; Nº de acordos comunitários formalizados
	Mecanismos de monitoramento e fiscalização	Vigilância em saúde ambiental Fiscalização por secretarias ou conselhos de saúde/meio ambiente Monitoramento comunitário	Nº de análises de qualidade da água realizadas; Nº de fiscalizações realizadas; Nº de infrações identificadas e punidas
	Instrumentos de financiamento e apoio	Recursos federais Programas da FUNASA Convênios com estados e municípios Contribuições comunitárias e cooperativas	Valor total investido por ano; % de projetos concluídos com recursos federais/estaduais; Nº de famílias beneficiadas por convênios

Fonte: Elaboração própria, 2025

Quanto aos atores (Quadro 5), a rede de agentes revela a complexidade da gestão do saneamento rural. A integração entre comunidades, associações, poder público, ONGs, iniciativa privada e profissionais técnicos é essencial para implementação e manutenção dos serviços. Na prática, a coordenação efetiva entre esses atores reduz lacunas de cobertura, aumenta a participação comunitária e fortalece a sustentabilidade das ações.

Quadro 5. Caracterização dos **atores** no saneamento rural

Variáveis do SES			
Primeiro nível		**Segundo nível**	**Terceiro nível**
ATORES	Comunidades e famílias rurais	Usuários diretos dos serviços de água, esgoto, resíduos e drenagem	Nº de famílias residentes; Tamanho médio da família; % de famílias com ou sem acesso aos serviços
	Associações comunitárias e cooperativas	Grupos organizados para gerir sistemas coletivos	Nº de associações registradas; % de famílias associadas; Frequência de reuniões comunitárias
	Poder público municipal	Prefeituras, secretarias de obras, saúde, meio ambiente	Existência de departamento ou setor de saneamento; Orçamento municipal destinado ao saneamento; Nº de técnicos e agentes alocados
	Órgãos federais e estaduais	FUNASA, ANA, Ministérios da Saúde, Meio Ambiente e Cidades; Secretarias Estaduais de Recursos Hídricos e Saneamento	Nº de projetos implementados na área rural; Valor de recursos investidos/ano; % de municípios beneficiados
	Profissionais técnicos	Engenheiros, técnicos, agentes comunitários de saúde	Nº de engenheiros, técnicos e agentes comunitários atuantes
	ONGs	Entidades que atuam em projetos de capacitação, educação ambiental e implantação de tecnologias sociais	Nº de ONGs atuantes; Nº de famílias beneficiadas; Nº de tecnologias sociais implementadas; Frequência de capacitações
	Iniciativa privada	Empresas fornecedoras de materiais, construtoras e prestadores de serviço em saneamento	Nº de contratos firmados; % de obras executadas pela iniciativa privada; Investimentos em parcerias público-privadas

Fonte: Elaboração própria, 2025

O modelo socioecológico (Quadro 6) permite compreender as interações entre práticas humanas, recursos naturais e cenários socioeconômicos. As implicações práticas sugerem que políticas e programas de saneamento devem considerar: hábitos de uso e manejo de recursos; impactos sobre saúde, inclusão social e resiliência comunitária; condições ambientais que afetam disponibilidade e qualidade de recursos; suporte institucional, políticas públicas, programas educacionais e tecnologias adequadas.

Quadro 6. Interações, resultados e condicionantes socioecológicos do saneamento rural

Interações (I)	Dinâmicas práticas do sistema: uso, manejo, participação
Resultados (R)	Saúde pública, qualidade ambiental, sustentabilidade, inclusão social, resiliência
Ecossistemas relacionados (ECO)	Padrões climáticos, condições hidrogeológicas, qualidade ambiental, solo e cobertura vegetal
Cenários Social, Econômico e Político (C)	Desenvolvimento econômico, demografia, politicas públicas e programas, educação, tecnologia e conscientização

Fonte: Elaboração própria, 2025

Essa abordagem evidencia que intervenções isoladas ou puramente tecnológicas não garantem sustentabilidade. Para promover serviços de saneamento mais resilientes e equitativos, é necessário integrar planejamento técnico, governança eficiente e engajamento comunitário, considerando o contexto socioecológico específico de cada área rural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao aplicar o arcabouço do Sistema Socioecológico (SSE) de McGinnis & Ostrom (2014) à gestão do saneamento rural, verificou-se a interdependência entre elementos sociais, ecológicos, técnicos e institucionais. Evidenciou-se que a gestão eficaz no setor vai além da infraestrutura física, exigindo compreensão das dinâmicas comunitárias, arranjos institucionais e condicionantes ambientais que moldam a sustentabilidade dos serviços.

A análise possibilitou compreender que modelos de gestão comunitária podem fortalecer a resiliência e a eficiência dos sistemas, promovendo maior engajamento social. No contexto brasileiro, a participação ativa de associações comunitárias e conselhos locais, aliada à articulação com órgãos públicos e privados, pode aumentar a cobertura, melhorar a qualidade dos serviços e reduzir impactos ambientais.

A partir disso, pode-se identificar recomendações estratégicas para a formulação e implementação de políticas públicas, incluindo: fortalecimento da governança local; investimento em capacitação e participação comunitária; fomento à meios de financiamento; adequação de tecnologias ao contexto socioecológico; e o desenvolvimento de um monitoramento sistêmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemu, F., A. Kumie, G. Medhin, et al. 2017. "A Socio-Ecological Analysis of Barriers to the Adoption, Sustainability and Consistent Use of Sanitation Facilities in Rural Ethiopia." *BMC Public Health* 17: 706. https://doi.org/10.1186/s12889-017-4717-6.

Buana, R., and P. Soewondo. 2025. "Toward Open Defecation Free (ODF) Communities: Acceleration of Reducing Carbon Emissions from Domestic Wastewater in Rural-Urban Area." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1448 (1): 012011. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1448/1/012011.

Dutra, J.; Moreira, E. B.; Loureiro, G. K. 2021. "Competência e governança no setor de saneamento: quem faz o quê?" Rio de Janeiro: *FGV CERI* – Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura.

Lemos, R. R. Q.; Zukowski Junior, J. C.; Rezende, C. S. A. 2023. "Governança ambiental e regulação dos serviços de saneamento ambiental em municípios de pequeno porte: uma revisão sistemática de literatura 2012–2022." *Geoambiente On-line*, 45: 186–205.

Li, Y., Cheng, S., Li, Z., Song, H., Guo, M., Li, Z., et al. 2021. "Using system dynamics to assess the complexity of rural toilet retrofitting: Case study in eastern China". *Journal of environmental management*, 280: 111655. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111655.

McAlister, M. M., P. Namakula, J. Annis, J. R. Mihelcic, and Q. Zhang. 2023. "Rural Sanitation Sustainability Dynamics: Gaining Insight through Participatory and Simulation Modeling." *Environmental Science & Technology* 58 (1): 400–9. http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.3c09101.

McGinnis, Michael D., and Elinor A. Ostrom. 2014. "Social-Ecological System Framework: Initial Changes and Continuing Challenges." *Ecology and Society* 19 (2). http://dx.doi.org/10.5751/ES-06387-190230.

O'Reilly, Kathleen, and Eric Louis. 2014. "The Toilet Tripod: Understanding Successful Sanitation in Rural India." *Health & Place* 29: 43–51. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.05.007.

Seixas, C. S.; Prado, D. S.; Joly, C. A.; May, P. H.; Neves, E. M. S. C.; Teixeira, L. R. 2020.

"Governança ambiental no Brasil: rumo aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)?" *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, 25(81): 1–21. http://dx.doi.org/10.12660/cgpc.v25n81.81404.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035656

MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DE TARIFA BASEADA NO CONSUMO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAL

MÉTODO PARA LA DEFINICIÓN DE TARIFAS BASADAS EN EL CONSUMO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES

METHOD FOR DEFINING CONSUMPTION-BASED TARIFF FOR WATER SUPPLY SYSTEMS IN RURAL COMMUNITIES

Altamar Alencar Cardoso[1], Pablo Alencar Cabral Bernardo[2],.

[1]Doutor em Administração, CAGEPA, João Pessoa - Paraíba, Brasil, altamar@cagepa.pb.gov.br, nº de ORCID 0009-0009-8024-5107;
[2]Mestrando em Direito e Desenvolvimento Sustentável, CAGEPA, João Pessoa - Paraíba, Brasil, pablo.bernardo@cagepa.pb.gov.br, nº de ORCID 0009-0006-9826-403X;

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas
Políticas tarifárias para áreas rurais e mecanismos de subsídio cruzado na prestação de serviços.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructural: Gestión y Políticas Públicas
Políticas tarifarias para zonas rurales y mecanismos de subsidios cruzados en la prestación de servicios.

RESUMO

O saneamento rural é um paradigma complexo no Brasil, negligenciado por operadores que focam nas áreas urbanas. A Lei nº 14.026/2020 incluiu-o como meta de universalização, exigindo solução para o custeio e investimento na ausência de operadores tradicionais. O Projeto Cooperar (PB) apoia a gestão comunitária desse serviço. A Questão-problema é: Como adotar uma estrutura tarifária para o saneamento rural sob gestão partilhada com a comunidade local? O objetivo geral é demonstrar, propor e validar um modelo tarifário para as comunidades rurais atendidas pelo Projeto Cooperar.Concluiu-se que a gestão partilhada é capaz de definir uma estrutura tarifária clara para o saneamento, aperfeiçoável pela participação local.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Políticas públicas, Semiárido, Planejamento municipal

RESÚMEN

El saneamiento rural constituye un paradigma complejo en Brasil, históricamente desatendido por operadores centrados en las áreas urbanas. La Ley n.º 14.026/2020 lo incorporó como meta de universalización, exigiendo soluciones para su costeo e inversión ante la ausencia de operadores tradicionales. El Proyecto Cooperar (PB) respalda la gestión comunitaria de este servicio. La pregunta-problema és: ¿Cómo adoptar una estructura tarifaria para el saneamiento rural bajo gestión compartida con la comunidad local? El objetivo general és demostrar,

proponer y validar un modelo tarifario para las comunidades rurales asistidas por el Proyecto Cooperar. Se concluyó que la gestión compartida es capaz de definir una estructura tarifaria clara para el saneamiento, susceptible de perfeccionarse mediante la participación local.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, Planificación municipal

ABSTRACT

Rural sanitation is a complex paradigm in Brazil, often neglected by operators focusing on urban areas. Law No. 14.026/2020 included it as a universalization goal, demanding solutions for costing and investment where traditional operators are absent. The Cooperar Project (PB) supports the community management of this service. The Problem Question is how can a tariff structure be adopted for rural sanitation under shared management with the local community? The general objective is to demonstrate, propose, and validate a tariff model for the rural communities assisted by the Cooperar Project. It was concluded that shared management is capable of defining a clear tariff structure for sanitation, which can be improved through local participation

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Semiarid, Municipal planning

INTRODUÇÃO

O modelo de prestação do serviço de saneamento básico no Brasil, historicamente fundamentado na delegação de serviços por meio de concessões ou contratos de programa, sofreu uma ruptura paradigmática com a promulgação da Lei nº 14.026/2020 (Novo Marco Legal do Saneamento). Essa alteração normativa extinguiu a modalidade de contrato de programa e promoveu um robusto incentivo à participação da iniciativa privada na operação do setor. Tal inflexão possui implicações diretas no caráter social do serviço: enquanto a gestão pública adota o subsídio cruzado para efetivar a acessibilidade econômica (elemento constitutivo do direito humano à água, conforme Heller, 2022), a operação privada está primariamente orientada pela maximização do lucro, o que pode comprometer a equidade na modulação tarifária.

O Novo Marco Legal estabeleceu o imperativo da universalização dos serviços até dezembro de 2033, estendendo explicitamente esta obrigação às zonas rurais. Este escopo é particularmente desafiador, dada a atuação geográfica majoritariamente urbana dos operadores históricos. A projeção de investimentos para alcançar a universalização situa-se entre R$ 800

bilhões e R$ 1 trilhão (Bernardo, 2024), englobando as áreas rurais. No contexto tarifário, o princípio da recuperação do capital investido é basilar na fixação do valor (Almeida, 2009). Dessa forma, a ausência histórica de aportes financeiros nas infraestruturas rurais confere proeminência à discussão sobre o estabelecimento de uma estrutura tarifária economicamente sustentável para este segmento.

Diante do vácuo de operadores nas zonas rurais, a presente investigação se debruça sobre a experiência do Projeto Cooperar na Paraíba, que implementa um modelo de cobrança de tarifa em comunidades com gestão autônoma e partilhada. A pesquisa se estrutura em torno da seguinte questão-problema: Qual a metodologia mais adequada para a adoção de uma estrutura tarifária para os serviços de saneamento básico na zona rural, sob um regime de gestão partilhada com a comunidade local? Definindo as comunidades assistidas pelo Projeto Cooperar como universo de estudo, o objetivo geral visa propor, desenvolver e validar um método de simulação para a definição de tarifas em sistemas sob gestão comunitária, tendo como vetor analítico principal a estrutura tarifária desenvolvida *in loco*.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de estudo é baseada em uma *Design Science Research - DSR* (Lacerda et al, 2013). A escolha por uma DSR deve-se à natureza desta pesquisa, que tem como objetivo de pesquisa gerar conhecimento de design de como aumentar a eficiência do processo de decisão do valor da tarifa, respeitando a legislação vigente. Portanto, de acordo com Lacerda et al (2013), sua natureza, embora real, não é explicativa, mas propositiva, no sentido de propor artefato validado capaz de melhor condicionar o fenômeno em estudo aos interesses do agente. Esta abordagem está dividida em quatro etapas, a saber: Conscientização, Sugestão, Desenvolvimento e Demonstração.

A primeira etapa é de Conscientização do que se deseja projetar, e seus resultados esperados. Para realização desta etapa foi necessário: uma revisão da literatura sobre tarifa no contexto do saneamento rural; entrevistas não estruturadas com a equipe do Projeto Cooperar (Paraíba), com o objetivo de compreender melhor o desafio apresentado; e, entrevistas não estruturadas com representantes de outras organizações SISAR (Ceará) e CENTRAIS (Bahia), com a finalidade de entender a solução adotadas em outros contextos de gestão e governança do saneamento rural.

Após a identificação do desafio, foi sugerido um método de definição da estrutura

tarifária alinhada com as diretrizes do art. 30 da lei 11.445 de 2007, lei 14.898 de 2024; cuja própria comunidade poderá simular e decidir sobre a composição da sua tarifa. Mas que permitisse aos técnicos do Projeto Cooperar, uma padronização mínima que facilitasse o seu acompanhamento e implementação em todas as comunidades beneficiadas com projetos de saneamento. Esta sugestão é baseada na premissa deste presente estudo; em que é possível aplicar normas elaboradas para uma estrutura de saneamento urbana, em um saneamento sem agente de regulação, desde que sua aplicação seja facilitada através do desenvolvimento de métodos apropriados para contextos como o do saneamento rural.

Para o desenvolvimento, foi utilizado um software de planilha eletrônica, pela crença de que seria a forma mais fácil de desenvolver uma fórmula paramétrica que pudesse simular os resultados da escolha dos parâmetros e da exposição dos resultados de maneira transparente. Assim como, poder ser incorporado a um posterior sistema de gestão do consumo e faturamento, para a operacionalização da cobrança pelo consumo, respeitando as diretrizes da estrutura tarifária aprovada em assembleia.

A etapa de demonstração consistiu na aprovação da tabela tarifária pela assembleia, através do processo de simulação dos parâmetros, conduzida pela equipe técnica do Projeto Cooperar, com apoio técnico dos técnicos da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. A finalidade desta etapa é validar se artefato proposto consegue melhorar significativamente o processo de adoção da tarifa por consumo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão da literatura apontou para a necessidade de apoio e fortalecimento aos sistemas de gestão compartilhada como forma de promover o saneamento de forma sustentável em comunidades rurais. Os sistemas considerados mais maduros, devido ao maior número de citações, são o modelo SISAR e o modelo CENTRAL. Estes dois modelos compartilham serviços com as associações comunitárias, cuja lógica de ganhos de escala e escopo justificam a concentração de serviços mais complexos, como o faturamento, corte, manutenção de maior porte, entre outros. Viabilizando assim, a contratação de sistemas de cobrança.

Entretanto, essa realizada ainda não é a da Paraíba, devido a existência de poucas comunidades abastecidas com sistemas autogeridos. Portanto, dada a inviabilidade de contratar um sistema de gestão comercial e aplicar uma tarifa unificada para todas as comunidades, ficou estabelecido entre as equipes técnicas da CAGEPA e do Projeto Cooperar, o desenvolvimento

de um método que permitisse a condução da definição das tarifas em assembléia de cada comunidade, respeitando as diretrizes legais de promoção da equidade, uso racional da água, entre outras.

Portanto, a sugestão adotada foi o uso de planilha eletrônica, capaz de simular valores de cobrança por volume consumido, definições de faixas, taxa sobre aplicadas de forma progressiva ao consumo, desconto da tarifa social, entre outras definições legais.

O cálculo do valor da fatura a pagar é uma função do volume consumido C(V) construído por duas partes: uma taxa fixa (Tf), referente a um valor constante que o cliente paga independente da quantidade consumida; e, uma parcela variável, que acrescentar uma tarifa de consumo (Tc) por metro cúbico consumido (m3), ampliado por uma taxa de consumo excedente (α), quando este ultrapassar as faixas (Δ) de consumo parametrizadas, respeitando um volume mínimo de consumo (Vm), para garantir uma quantidade mínimo de consumo, conforme a equação (1). Além disso, foi adicionado uma regra para aplicar os critérios da tarifa social, em alinhamento a lei 14.898 de 2024 e o texto da minuta de norma regulamentadora sobre o tema da Agência Nacional de Água e Saneamento (ANA), conforme equação (2).

$$C(V) = \begin{cases} T_f + V_m \cdot T_c, & V \leq V_m \\ T_f + V \cdot \left(T_c \cdot (1+\alpha)^{\lfloor (V-1)/\Delta \rfloor}\right), & V > V_m \end{cases} \tag{1}$$

onde:
C(V) = valor da fatura em função do consumo (R$);
V= Volume consumido no período (m3);
Vm = Volume mínimo de consumo (m3);
Tf = Tarifa fixa (R$);
Tc = Tarifa de consumo por m3 (R$);
alfa = Taxa de consumo excedente (%);
delta = Tamanho da faixa de consumo (m3).

$$C_{social}(V) = \begin{cases} \dfrac{C(V)}{2}, & V \leq 15 \\ C(V) - \dfrac{C(15)}{2}, & V > 15 \end{cases} \tag{2}$$

onde:
C(V) = valor da fatura em função do consumo (R$);
Csocial(V) = valor da fatura considerando a tarifa social (R$).

Para simulação da tabela de tarifa por volume, foram selecionados parâmetros de partida, em que cada comunidade pode utilizar como referência e fazer os ajustes conforme durante o processo de discussão em assembleia.

Tabela 1. Parâmetros para simulação da tarifa

Parâmetro	Valor de ref.	Justificativa
Tf: Taxa fixa (R$)	10	valor mínimo de disponibilidade
Tc: Tarifa de consumo (m³)	5	valor médio da tarifa urbana - equidade
Vm: Consumo mínimo (m³)	3	volume recomendado para o consumo de 1 pessoa com 110 litros por dia
α: Taxa de consumo excedente (%)	0,10	garantir uma progressividade que incentive o uso racional, este parâmetro pode ser alterado em momentos de crises hídricas/climáticas
Δ: Tamanho da faixa (m³)	10	garantir um consumo médio de 3 pessoas por residência dentro da faixa de menor valor

Fonte: elaboração própria, 2025.

A tabela 2 apresenta o resultado da simulação para os parâmetros de referência da tabela 1. è possível perceber que não há uma progressividade no valor por m3, o que deverá incentivar o consumo racional, ao limite de 3 m3, cuja tarifa mínima seria de R$ 25,00, valor inferior a 2% do Benefício de Prestação Continuada (BPC).

Tabela 2. Amostra do resultado da simulação da tarifa

Volume (V)	Faixa	Parcela variável	Valor por m³	Valor total da fatura C(V)	Valor total da fatura social Csocial(V)
1-3	1	R$ 15,00	R$ 5,00	R$ 25,00	R$ 12,50
4	1	R$ 20,00	R$ 5,00	R$ 30,00	R$ 15,00
…	…	…	…	…	…
11	2	R$ 60,50	R$ 5,50	R$ 70,50	R$ 35,25
…	…	…	…	…	…
20	2	R$ 110,00	R$ 5,50	R$ 120,00	R$ 73,75
21	3	R$ 127,05	R$ 6,05	R$ 137,05	R$ 90,80
…	…	…	…	…	…
99	10	R$ 1.167,18	R$ 11,79	R$ 1.177,18	R$ 1.130,93

Fonte: elaboração própria, 2025.

A figura 1 ilustra o ambiente de simulação da tarifa, nela é possível observar o reflexo da alteração dos parâmetros na distribuição dos valores da tarifas por volume consumido, como também a comparação entre a tarifa normal e a tarifa social. Desta forma, durante as assembleias é possível atribuir valores aos parâmetros e analisar o valor da tarifa para cada nível de consumo, podendo ser avaliado a coerência com as diretrizes legais.

Parâmetros do modelo de tarifação	
Parâmetro	Valor
Taxa fixa (R$)	10,00
Tarifa de consumo (m³)	5,00
Consumo mínimo (m³)	3
Taxa de consumo excedente (%)	0,10
Tamanho da faixa (m³)	10

Tabela de faturamento							
Volume	Valor Total	Taxa de cons...	Tarifa por m3	Taxa fixa	Taxa de cons...	Desc. Tarifa S...	Tarifa Social
1	R$ 25,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 15,00	R$ 12,50	R$ 12,50
2	R$ 25,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 15,00	R$ 12,50	R$ 12,50
3	R$ 25,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 15,00	R$ 12,50	R$ 12,50
4	R$ 30,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 20,00	R$ 15,00	R$ 15,00
5	R$ 35,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 25,00	R$ 17,50	R$ 17,50
6	R$ 40,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 30,00	R$ 20,00	R$ 20,00
7	R$ 45,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 35,00	R$ 22,50	R$ 22,50
8	R$ 50,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 40,00	R$ 25,00	R$ 25,00
9	R$ 55,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 45,00	R$ 27,50	R$ 27,50
10	R$ 60,00	1	R$ 5,00	10,00	R$ 50,00	R$ 30,00	R$ 30,00
11	R$ 70,50	2	R$ 5,50	10,00	R$ 60,50	R$ 35,25	R$ 35,25
12	R$ 76,00	2	R$ 5,50	10,00	R$ 66,00	R$ 38,00	R$ 38,00
13	R$ 81,50	2	R$ 5,50	10,00	R$ 71,50	R$ 40,75	R$ 40,75
14	R$ 87,00	2	R$ 5,50	10,00	R$ 77,00	R$ 43,50	R$ 43,50
15	R$ 92,50	2	R$ 5,50	10,00	R$ 82,50	R$ 46,25	R$ 46,25
16	R$ 98,00	2	R$ 5,50	10,00	R$ 88,00	R$ 46,25	R$ 51,75
17	R$ 103,50	2	R$ 5,50	10,00	R$ 93,50	R$ 46,25	R$ 57,25
18	R$ 109,00	2	R$ 5,50	10,00	R$ 99,00	R$ 46,25	R$ 62,75
19	R$ 114,50	2	R$ 5,50	10,00	R$ 104,50	R$ 46,25	R$ 68,25
20	R$ 120,00	2	R$ 5,50	10,00	R$ 110,00	R$ 46,25	R$ 73,75
21	R$ 137,05	3	R$ 6,05	10,00	R$ 127,05	R$ 46,25	R$ 90,80
22	R$ 143,10	3	R$ 6,05	10,00	R$ 133,10	R$ 46,25	R$ 96,85
23	R$ 149,15	3	R$ 6,05	10,00	R$ 139,15	R$ 46,25	R$ 102,90
24	R$ 155,20	3	R$ 6,05	10,00	R$ 145,20	R$ 46,25	R$ 108,95
25	R$ 161,25	3	R$ 6,05	10,00	R$ 151,25	R$ 46,25	R$ 115,00
99	R$ 1.177,18	10	R$ 11,79	10,00	R$ 1.167,18	R$ 46,25	R$ 1.130,93

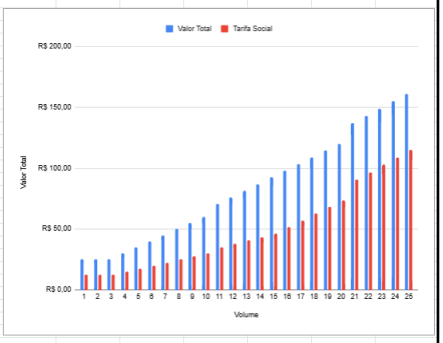


Figura 1. Planilha eletrônica para simulação da tabela de valores
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O método foi implantado em duas comunidades na Paraíba através da equipe técnica do Projeto Cooperar. Os parâmetros foram alterados de acordo com o interesse de cada comunidade. Por exemplo, o volume mínimo adotado por uma das comunidades foi de 3 m3, o que mostra que mesmo com recomendações técnicas, a comunidade é livre para definir o que lhe convém. Além disso, o método paramétrico sistematizado permitiu a coerência entre os níveis de consumo.

Entretanto, a alteração dos parâmetros indiscriminadamente pode levar a tabelas de cobrança desalinhadas com as diretrizes legais. Sendo recomendado o esclarecimento sobre os fatores da estrutura tarifária como a quantidade crescente de cobrança por consumo, quantidade mínima de consumo, capacidade de pagamento e necessidade de custeio para manutenção dos serviços.

Figura 2. Assembléia para aprovação da tabela de cobrança por volume consumido
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou a viabilidade de adotar um método proposto de definição de tarifas para o saneamento rural, ao evidenciar sua capacidade de conciliar a flexibilidade, transparência e controle social, com as diretrizes da do art. 30 da lei 11.445 de 2007 e da lei 14.898 de 2024. As assembleias nas duas comunidades puderam sugerir e alterar os parâmetros do modelo, simulando tabelas de faturamento por cobrança, e definirem sua tarifa.

Não foi possível simular a receita requerida, fundamental para atender o critério de custeio dos sistemas de abastecimento. Devido a sua heterogeneidade de soluções, e da não existência de histórico de consumo, assim como parâmetros para estimativas de custos confiáveis. Desta forma, ficará a critério das comunidades, atualizarem suas tarifas conforme acumulem conhecimento acerca da realidade dos sistemas que operam.

O método de definição da tarifa está sendo incorporado a um sistema de gestão comercial para comunidades rurais, também baseado em planilha eletrônica, para permitir o controle do consumo e a geração de faturas. Com isso, esperamos que as comunidades rurais paraibanas possam adotar, cada vez mais, boas práticas de gestão do saneamento. E que, ao adotarem um caminho similar, possam no futuro, se associarem para compartilhar serviços mais sensíveis, como feito pelos SISARs e pelas CENTRAIS.

Espera-se que este trabalho contribua para a disseminação da prática da cobrança baseada no consumo de água em comunidades rurais. Embora o saneamento rural deva ser alvo

de políticas públicas de universalização, através do investimento direto em infraestrutura, seja por municípios, estados e união, precisarão de recursos financeiros para a operação e manutenção desses sistemas, assim como precisarão estimular a racionalidade no uso da água potável.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, reforçamos a importância das comunidades rurais em terem aceito e, ao mesmo tempo, em utilizar a estrutura tarifária proposta, demonstrando completa compreensão da importância do saneamento básico e da tarifação como mecanismo de custeio e investimento desta política. Agradecemos ao Projeto Cooperar e, extensivamente, ao Banco Mundial, pelo desenvolvimento do método proposto e sua implementação. E, por fim, à CAGEPA, pela sensibilidade em contribuir com este projeto, enquanto executora regional do serviço de saneamento básico, alocando recursos no desenvolvimento deste artefato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bernardo, Pablo Alencar Cabral. "O custo do direito ao acesso à água: análise da universalização do acesso à água pela Lei nº 14.026/20, de acordo com Holmes e Sunstein." *Revista de Direitos Humanos e Desenvolvimento Social* 5 (2024).

de Almeida, Aline Paola Correa Braga Camara. "As Tarifas e as Demais Formas de Remuneração dos Serviços Públicos". *Coleção Direito Regulatório. Coord.: Marcos Juruena Villea Souto.* Rio de Janeiro, 2009.

de Araújo, Flávia Camargo, and Geovana Lorena Bertussi. "SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: ESTRUTURA TARIFÁRIA E REGULAÇÃO." *Planejamento e políticas públicas* 51 (2018).

Heller, Léo. "Acessibilidade econômica: requisito para a igualdade no acesso aos serviços de água e saneamento." *Água como direito: Tarifa Social como Estratégia para a Acessibilidade Econômica. Org.: Ricardo de Sousa Moretti, Ana Lucia Brito.* 1. ed.

Roland, Nathalia, Léo Heller, and Sonaly Rezende. "O Projeto Nacional de Saneamento Rural (1985-1989) No Brasil: Limites e Potencialidades." *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* 24, no. 1 (August 2, 2022). https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202217pt.

Lacerda, Daniel Pacheco, Aline Dresch, Adriano Proença, and José Antonio Valle Antunes Júnior. "Design Science Research: Método de Pesquisa Para a Engenharia de Produção." *Gestão & Produção* 20, no. 4 (November 26, 2013): 741–61.

https://doi.org/10.1590/s0104-530x2013005000014.

Projeto Cooperar PB. "Cooperar e Cagepa Realizam Capacitação Em Assentamentos de Camalau e Cachoeira Dos Índios Sobre Instrumentos de Leitura e Geração de Fatura." Accessed September 29, 2025. https://cooperar.pb.gov.br/noticias/cooperar-e-cagepa-realizam-capacitacao-em-assentamentos-de-camalau-e-cachoeira-dos-indios-sobre-instrumentos-de-leitura-e-geracao-de-fatura.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035723

O PAPEL DA AGERT NA REGULAÇÃO DO SANEAMENTO RURAL EM TIMON FRENTE AOS DESAFIOS DO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO

EL PAPEL DE LA AGERT EN LA REGULACIÓN DEL SANEAMIENTO RURAL EN TIMON FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL MARCO LEGAL DE SANEAMIENTO

THE ROLE OF AGERT IN RURAL SANITATION REGULATION IN TIMON IN THE FACE OF THE CHALLENGES OF THE LEGAL SANITATION FRAMEWORK

Tarsila Cezar de Noronha Pessoa[1]. Dr. Suédio Alves Meira[2]. Itamar de Oliveira Júnior[3]. Guilherme Dantas Bringel[4]. Éneas Ângelo da Silva Júnior[5].

[1] Graduada em Ciências Sociais e Serviço Social; Diretora de Controle Social da AGERT; Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Universidade Federal do Piauí, Teresina/PI, Brasil, tarsila.noronha@hotmail.com, 0009-0008-5251-195X; [2] Professor Doutor em Geografia, Universidade Federal do Piauí, suedio.meira@ufpi.edu.br, 0000-0001-9059-8787. [3] Graduado em Engenharia Ambiental; Diretor Geral da AGERT; eng.iaoliveira@gmail.com; 0000-0002-8831-9635; [4] Graduado em Engenharia Civil; Diretor de Saneamento Básico da AGERT; guibringel@gmail.com; 0009-0005-3416-9554; [5] Graduado em Administração; eneasjr1@gmail.com; 0009-0006-1518-8407.

Eixo Temático 02 – Saneamento Estruturante: Gestão e Políticas Públicas Desafios na implementação do Marco Legal do Saneamento em áreas rurais.

Eje Temático 02 – Saneamiento Estructurante: Gestión y Políticas Públicas Desafíos en la implementación del Marco Legal de Saneamiento en áreas rurales.

Thematic Axis 02 – Structuring Sanitation: Management and Public Policies Challenges in the Implementation of the Legal Sanitation Framework in Rural Areas.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar a experiência em andamento da atuação regulatória da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Timon (AGERT) no município de Timon (MA), destacando como a agência, aliada ao eixo Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática do Selo UNICEF e às diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022-2040), pode contribuir para mitigar os desafios da implementação do Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) em áreas rurais. O foco do relato está na reflexão sobre estratégias regulatórias que vêm sendo construídas, como a definição de indicadores técnicos para monitorar serviços descentralizados, a fiscalização de sistemas simplificados de abastecimento, a mediação de conflitos entre usuários e prestadores e a discussão de mecanismos tarifários voltados à modicidade. A experiência busca integrar a regulação municipal a agendas nacionais e internacionais, reconhecendo que a universalização do acesso à água e ao esgotamento sanitário em áreas rurais exige arranjos institucionais inovadores e sustentáveis. Entre os principais desafios observados destacam-se as limitações técnicas e financeiras para o acompanhamento de serviços em áreas dispersas, a necessidade de capacitação continuada de gestores e operadores locais e a sustentabilidade econômico-financeira em territórios de baixa densidade populacional. Mais do que relatar resultados consolidados, este trabalho pretende oferecer elementos para reflexão sobre como a regulação pode fortalecer a governança do saneamento rural, ampliar a participação social e contribuir para a efetivação dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário em contextos de vulnerabilidade, alinhando-se às diretrizes do PNRH e aos compromissos globais representados pelo Selo UNICEF.

Palavras-chave: Saneamento rural; Regulação municipal; Governança multiescalar; Participação social

ABSTRACT

The objective of this work is to present the ongoing experience of the regulatory role of the Regulatory Agency for Delegated Public Services of Timon (AGERT) in the municipality of Timon (Maranhão State, Brazil), highlighting how the agency, allied with the Water, Sanitation, Hygiene and Climate Resilience axis of the UNICEF Seal and with the guidelines of the National Water Resources Plan (PNRH 2022-2040), can contribute to mitigating the challenges of implementing the Legal Framework for Sanitation (Law nº 14.026/2020) in rural areas. The focus of the report is on reflecting upon regulatory strategies under development, such as defining technical indicators to monitor decentralized services, supervising simplified water supply systems, mediating conflicts between users and providers, and discussing tariff mechanisms aimed at affordability. The experience seeks to integrate municipal regulation into national and international agendas, recognizing that universalizing access to water and sanitation in rural areas requires innovative and sustainable institutional arrangements. The main challenges observed include technical and financial limitations for monitoring services in dispersed areas, the need for continuous training of managers and local operators, and the financial sustainability of services in low-density territories. Rather than reporting consolidated results, this work aims to offer elements for reflection on how regulation can strengthen rural sanitation governance, expand social participation, and contribute to the realization of the human rights to water and sanitation in vulnerable contexts, while aligning with the PNRH guidelines and the global commitments represented by the UNICEF Seal.

Keywords: Rural sanitation; Municipal regulation; Multilevel Governance; Social participation.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A experiência relatada está sendo desenvolvida no município de Timon, localizado no estado do Maranhão, região Nordeste do Brasil, durante o ano de 2025, em um contexto marcado por desafios históricos de universalização dos serviços de saneamento básico, sobretudo em áreas rurais. A dispersão territorial, a baixa densidade populacional e a limitação de recursos técnicos e financeiros tornam a prestação dos serviços mais complexa e onerosa, exigindo arranjos institucionais inovadores e de caráter intersetorial.

A Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Timon (AGERT), criada pela Lei Municipal nº 1.926/2014 e atualizada pela Lei nº 2.374/2025, desempenha papel estratégico nesse processo, por deter autonomia administrativa, normativa e fiscalizatória sobre a prestação dos serviços públicos de saneamento, abrangendo tanto a zona urbana quanto a zona rural do município. Essa autonomia confere à AGERT capacidade de atuar como elo operacional e mediador entre o planejamento municipal e as diretrizes nacionais de política pública.

A importância dessa experiência reside na necessidade de enfrentar os obstáculos que dificultam a efetivação do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) em territórios rurais, onde o modelo tradicional de prestação de serviços não se mostra economicamente viável. Nesse cenário, a regulação exercida pela AGERT articula-se com instrumentos estratégicos de planejamento e cooperação, em especial o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022–2040) - que orienta políticas voltadas à segurança hídrica, ao uso sustentável das águas e à integração entre gestão hídrica e saneamento rural - e o Selo UNICEF (Edição 2021–2024), no Eixo Sistêmico 4 - Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática, que estimula ações estruturantes voltadas à proteção da infância e à promoção de comunidades resilientes.

O PNRH propõe uma governança multiescalar e territorializada, articulando políticas nacionais às realidades locais e promovendo a equidade no acesso à água e ao saneamento. O Selo UNICEF, por sua vez, induz práticas de planejamento participativo e monitoramento social, fomentando o fortalecimento dos Conselhos Municipais de Saneamento, a capacitação de agentes públicos, o diagnóstico de cobertura dos serviços em escolas rurais e o engajamento da juventude nos espaços de controle social.

Nesse contexto, a Diretoria de Controle Social da AGERT emerge como instância mobilizadora e articuladora do Eixo 4 em Timon, assumindo papel central na coordenação intersetorial entre a regulação, a gestão pública e a sociedade civil. Sua atuação vai além da escuta e do recebimento de manifestações: ela constitui o núcleo de inteligência social e de legitimidade institucional da agência, promovendo a escuta ativa das comunidades rurais, o diálogo entre usuários, associações e prestadores locais, e a tradução das demandas sociais em decisões técnicas e regulatórias.

Ao posicionar-se nesse campo de intersecção entre políticas locais, diretrizes nacionais e compromissos internacionais, a experiência da AGERT em Timon apresenta relevância singular para o debate sobre saneamento rural e regulação multiescalar. Trata-se de um processo em curso que busca transformar limitações estruturais em oportunidades de inovação institucional, fortalecendo a participação social, ampliando a eficiência regulatória e contribuindo para a efetivação dos direitos humanos à água e ao saneamento.

Assim, este relato não tem como propósito apresentar resultados consolidados, mas sistematizar práticas em desenvolvimento, refletir sobre os desafios encontrados e indicar caminhos possíveis para aprimorar a integração entre regulação, planejamento e políticas sociais, oferecendo subsídios ao debate técnico no âmbito do Congresso Internacional de Saneamento Rural.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A experiência em desenvolvimento no município de Timon/MA concentra-se na atuação regulatória da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Timon (AGERT) no campo do saneamento rural, configurando-se como um esforço inovador de integração entre regulação, planejamento e participação social. O processo é conduzido de forma articulada entre diferentes diretorias da Agência, com destaque para a Diretoria de Controle Social, responsável por fortalecer os mecanismos de participação popular, ampliar a transparência e assegurar que as manifestações da sociedade civil sejam incorporadas às decisões regulatórias.

Essa dimensão social é essencial para que a regulação não se restrinja a parâmetros técnicos e jurídicos, mas dialogue de forma contínua com as necessidades, percepções e expectativas das comunidades rurais, tornando o processo regulatório mais inclusivo, responsivo e territorializado.

A metodologia da experiência baseia-se em três eixos principais de atuação, em fase de diagnóstico, análise e implementação de forma progressiva:

i. Definição e monitoramento de indicadores regulatórios aplicáveis a serviços descentralizados de abastecimento e esgotamento sanitário. A AGERT está elaborando matrizes de acompanhamento que contemplam parâmetros como qualidade da água, continuidade do fornecimento, cobertura populacional e sustentabilidade financeira dos sistemas. Esses indicadores estão sendo testados em comunidades que utilizam poços comunitários e sistemas simplificados, permitindo construir uma base empírica para aprimorar normas e fiscalizações futuras;

ii. Fiscalização técnica e ambiental em áreas rurais dispersas. Essa frente envolve visitas de campo realizadas por equipes técnicas da AGERT, voltadas à inspeção das condições operacionais de captação, armazenamento e distribuição de água. Durante essas ações, serão coletadas amostras para análise de potabilidade em parceria com outros órgãos fortalecendo o caráter interinstitucional da atuação regulatória;

iii. Processos participativos de controle social. Sob coordenação da Diretoria de Controle Social, a AGERT tem promovido reuniões comunitárias, oficinas e escutas públicas com lideranças rurais e usuários de sistemas simplificados, estimulando o uso dos canais institucionais de manifestação, como a Ouvidoria e o Conselho Consultivo. As informações coletadas são sistematizadas e incorporadas aos relatórios regulatórios, retroalimentando o processo decisório da Agência.

2.1 A Diretoria de Controle Social: o coração da governança participativa

Mais do que um canal de ouvidoria, a Diretoria de Controle Social representa o núcleo mobilizador e de inteligência social da AGERT. Seu funcionamento organiza-se em um ciclo virtuoso de quatro dimensões complementares, que conferem legitimidade e efetividade à regulação: a) Escuta ativa e capilaridade: reuniões sistemáticas com lideranças comunitárias e operadores locais, mapeando fragilidades e boas práticas que frequentemente escapam aos canais formais; b) Mediação e construção de consensos: resolução colaborativa de conflitos entre usuários, prestadores e poder público, com soluções pactuadas e tecnicamente sustentáveis; c) Tradução e internalização: transformação dos relatos e dados sociais em insumos técnicos para as demais diretorias, integrando evidências comunitárias às decisões de fiscalização, planejamento e normatização; d) Transparência e devolutiva social: respostas fundamentadas a todas as manifestações, garantindo *accountability* regulatória e reforçando o controle social.

Esse modelo reduz assimetrias de informação, aprimora a eficiência regulatória e

consolida uma governança participativa, em que a população se torna coprodutora de soluções públicas e parceira ativa na implementação de políticas de saneamento rural.

2.2 Integração com políticas públicas e agendas de desenvolvimento

Outro eixo central da experiência é a integração da regulação local com políticas públicas mais amplas. A AGERT vem alinhando suas ações às diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022–2040), especialmente nos subprogramas voltados à gestão de águas subterrâneas, ao uso eficiente dos recursos hídricos e ao fortalecimento dos arranjos institucionais locais.

Em paralelo, a Agência atua de forma articulada com o Selo UNICEF, particularmente no Eixo Sistêmico 4 - Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática, orientando intervenções voltadas à proteção da infância e da adolescência em comunidades vulneráveis.

Essa vinculação reforça a compreensão de que a regulação do saneamento rural ultrapassa o campo técnico, conectando-se diretamente às agendas de direitos humanos, saúde pública e desenvolvimento sustentável.

2.3. Etapa atual e perspectivas de avanço

A experiência encontra-se em fase de diagnósticos para consolidação, envolvendo a onstrução de metodologias próprias, a formação de capacidades técnicas e sociais e a integração progressiva com políticas nacionais e internacionais. A proposta metodológica é flexível e dinâmica, permitindo ajustes contínuos diante dos desafios emergentes, mas sempre orientada pela missão de tornar a regulação uma ferramenta efetiva de mitigação dos entraves históricos do saneamento rural.

Assim, o caso de Timon evidencia o potencial transformador das agências reguladoras municipais, que, ao atuarem de maneira integrada e participativa, tornam-se agentes estratégicos de governança hídrica, inclusão social e sustentabilidade territorial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados parciais da experiência em andamento da AGERT em Timon indicam que a regulação do saneamento rural, quando associada a instrumentos de participação social e a compromissos nacionais e internacionais, tem potencial de gerar avanços significativos na governança local. Entre os primeiros achados, destaca-se a relevância da Diretoria de Controle

Social, que tem atuado como instância de mediação entre a população e a agência, fortalecendo a transparência regulatória e garantindo que as especificidades das comunidades rurais sejam incorporadas nas estratégias de fiscalização e monitoramento. Essa atuação tem permitido a ampliação do diálogo entre prestadores de serviços, usuários e poder público, aspecto essencial em territórios marcados por vulnerabilidades sociais. A articulação entre a AGERT, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022-2040) e o Selo UNICEF produziu ganhos operacionais e institucionais significativos, ao mesmo tempo em que evidenciou limites estruturais e oportunidades de aprendizagem organizacional.

A integração da AGERT ao Selo UNICEF tem gerado ganhos expressivos para a regulação do saneamento rural em Timon. Os indicadores do Eixo 4 - *Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática* - têm orientado de forma mais precisa as ações de fiscalização e a alocação de investimentos, permitindo que alguns dos esforços se concentrem nas comunidades rurais em situação de maior vulnerabilidade. Essa priorização contribui diretamente para a redução das desigualdades territoriais e para o fortalecimento da eficiência regulatória. Além disso, o processo de certificação do Selo tem promovido uma mobilização social relevante, ao estimular a cooperação entre diferentes secretarias municipais e o engajamento da sociedade civil. Dessa forma, a regulação do saneamento deixa de ser uma ação isolada e passa a integrar uma agenda mais ampla de proteção da infância e da adolescência, consolidando práticas de governança inclusiva e intersetorial no município.

Do mesmo modo, a assimilação da AGERT ao Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tem proporcionado ganhos significativos tanto do ponto de vista técnico quanto institucional. Ao adotar os referenciais estratégicos e metodológicos do PNRH para a gestão hídrica e o saneamento rural, a agência tem aprimorado a consistência de suas decisões regulatórias e ampliado a transparência dos processos de fiscalização, garantindo que as ações estejam fundamentadas em critérios técnicos robustos. Paralelamente, o alinhamento com o PNRH confere maior legitimidade interfederativa à atuação da AGERT, fortalecendo sua posição frente a órgãos estaduais e federais e abrindo oportunidades para cooperação técnica, parcerias estratégicas e acesso a recursos que contribuem para o fortalecimento contínuo da regulação municipal.

Como parte do processo de institucionalização da regulação do saneamento rural, a AGERT está desenvolvendo um conjunto inicial de indicadores regulatórios para monitorar sistemas descentralizados de abastecimento e esgotamento sanitário. Embora ainda em fase de

consolidação, esses indicadores irão permitido avaliar de forma mais precisa a cobertura do abastecimento de água em escolas e comunidades rurais, a adequação das condições de saneamento e higiene, a eficiência no tempo de resposta às demandas registradas via Ouvidoria ou via investigação social, bem como o nível de participação juvenil e comunitária em conselhos e processos decisórios.

Além disso, os indicadores servirão para acompanhar a revisão e a implementação dos planos municipais com enfoque em resiliência climática e equidade social. A utilização desses instrumentos visa proporcionar maior clareza sobre a qualidade e regularidade dos serviços, contribuindo para a sustentabilidade das soluções adotadas e evidenciar a importância da capacitação técnica contínua de gestores e operadores locais.

Mesmo diante de restrições orçamentárias, logísticas e técnicas, a AGERT tem conseguido mitigar desafios históricos do saneamento rural em oportunidades de inovação institucional. A atuação da Diretoria de Controle Social destaca-se como elemento central dessa experiência, funcionando como instância de mediação entre a população e a agência, fortalecendo a transparência regulatória e garantindo que as especificidades das comunidades rurais sejam efetivamente incorporadas às estratégias de fiscalização e monitoramento. Por meio de uma inteligência social aplicada, a diretoria tem priorizado ações de campo, fomentado parcerias intersetoriais e adotado uma abordagem de sustentabilidade pactuada, envolvendo a comunidade na definição de normtizações e regras de operação.

Ao mesmo tempo, persistem desafios significativos que limitam a plena expansão e eficiência dos serviços. Entre eles, destacam-se as restrições financeiras para ampliar a

fiscalização em áreas remotas, as limitações técnicas na coleta sistemática de dados sobre qualidade da água e esgotamento sanitário em localidades dispersas, a necessidade de maior articulação interinstitucional com órgãos de saúde, educação, meio ambiente e assistência social, e a busca por sustentabilidade econômico-financeira em territórios de baixa densidade populacional. A experiência da AGERT, porém, demonstra que, mesmo diante dessas limitações, é possível construir soluções adaptativas, participativas e tecnicamente fundamentadas, reforçando o papel da regulação como catalisadora de governança, desenvolvimento sustentável e justiça hídrica.

A análise dos resultados parciais demonstra que a regulação municipal não deve ser compreendida apenas como fiscalização normativa, mas como processo dinâmico de construção institucional, capaz de fortalecer a governança do saneamento rural, ampliar a participação social e articular políticas públicas multiescalares. Ao combinar inteligência social, mediação comunitária e alinhamento com diretrizes nacionais e compromissos internacionais, a AGERT consolida-se como mediadora entre o Marco Legal do Saneamento, o PNRH, o Selo UNICEF e as necessidades concretas das populações rurais, promovendo soluções adaptativas, inclusivas e sustentáveis, assumidos pelo município e as necessidades concretas das populações rurais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento buscou sistematizar as experiências e práticas regulatórias adotadas no âmbito do serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário, considerando as especificidades do município de Timon/MA e as diretrizes estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020).

Ao articular as diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022–2040), os compromissos do Selo UNICEF e os instrumentos da regulação local, a agência constrói um modelo inovador de governança cooperativa e multiescalar. Mais do que fiscalizar e monitorar serviços, a AGERT tem se afirmado como arquiteta de soluções públicas, mediadora de interesses e catalisadora de desenvolvimento sustentável. Ao integrar inteligência social, participação comunitária e articulação intersetorial, a agência demonstra que a regulação, quando concebida

como um processo participativo e adaptado às especificidades territoriais, promove efetividade, legitimidade e justiça social.

Adicionalmente, a articulação com instrumentos nacionais e internacionais, como o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022–2040) e o Selo UNICEF - eixo Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática - fortalece a consistência técnica, a legitimidade interfederativa e a capacidade de mobilização social, consolidando um modelo de governança cooperativa e multiescalar. Ao integrar planejamento, fiscalização, inteligência social e participação comunitária, a AGERT consegue mitigar desafios históricos, como limitações financeiras, dispersão populacional e restrições técnicas, em oportunidades de inovação, sustentabilidade e desenvolvimento territorial.

Ao longo da análise, evidenciou-se a importância de uma atuação regulatória integrada, pautada em diagnósticos de indicadores claros, fiscalização técnica e ambiental eficiente e atenção às particularidades de áreas rurais e sistemas descentralizados. A consolidação de indicadores regulatórios permite não apenas o monitoramento da qualidade e continuidade dos serviços, mas também a identificação de oportunidades de melhoria e inovação em soluções simplificadas, sistemas individuais e comunitários.

Além disso, a experiência prática demonstra que a articulação entre órgãos reguladores, conselhos consultivos e demais atores sociais é essencial para garantir a transparência, a participação social e a efetividade das políticas públicas, promovendo inclusão e equidade no acesso aos serviços de saneamento.

Por fim, conclui-se que a implementação de práticas regulatórias modernas e bem estruturadas, associadas à capacitação contínua dos gestores e à participação ativa da comunidade, constitui um caminho sólido para a sustentabilidade, a qualidade dos serviços e a promoção de direitos básicos à água e ao saneamento, contribuindo para a melhoria da saúde pública e da qualidade de vida da população de Timon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). 2021. *Diretrizes para Regulação de Serviços de Água e Esgoto*. Brasília: ANA. https://www.ana.gov.br

Brasil, Município de Timon. 2014. *Lei nº 1.866, de 26 de dezembro de 2014. Institui a Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Timon (AGERT) e dá outras providências*. Timon: Diário Oficial do Município. https://www.timon.ma.gov.br

Brasil. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Marco Legal do Saneamento Básico*. Brasília: Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br

Castro, R. C., e R. C. Marques. 2019. *Regulação e Governança em Saneamento: Modelos e Desafios no Brasil*. São Paulo: Editora Atlas.

Loureiro, S., e R. Cunha. "Governança Multiescalar e Regulação de Serviços Públicos: Experiências no Brasil." *Revista Gestão & Políticas Públicas* 11, n. 2 (2022): 45–68.

Pacheco, R. S., e E. A. Santana. "Regulação Municipal e Governança Multinível no Saneamento." *Revista de Administração Pública* 56, n. 4 (2022).

Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). 2022. *Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022–2040*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional. https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/recursos-hidricos/pnrh

Selo UNICEF. 2022. *Eixo Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática*. Brasília: Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). https://www.unicef.org

Souza, P. R., e A. Costa. "Participação Social e Controle Comunitário em Políticas de Saneamento Rural." *Revista de Políticas Públicas e Desenvolvimento* 8, n. 1 (2021): 55–72.

Tundisi, J. G., e T. Matsumura-Tundisi. 2016. *Gestão de Recursos Hídricos no Brasil*. São Carlos: Rima Editora.

UNICEF Brasil. *Selo UNICEF Município Aprovado: Diretrizes e Indicadores do Eixo Água, Saneamento, Higiene e Resiliência Climática.* Brasília: UNICEF, 2021.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19035730

PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PISF) NO CARIRI CEARENSE: A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL DO COMPLEXO ANAUÁ

PROYECTO DE INTEGRACIÓN DEL RÍO SÃO FRANCISCO (PISF) EN CARIRI CEARENSE: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RURAL DEL COMPLEJO DE ANAUÁ

SÃO FRANCISCO RIVER INTEGRATION PROJECT (PISF) IN CARIRI CEARENSE: IMPLEMENTATION OF THE INTEGRATED RURAL WATER SUPPLY SYSTEM OF THE ANAUÁ COMPLEX

Abimael Lucas[1], Klisman Benício[2], Natanael Macário[3] e Sheila Darling[4].

[1]Pós-graduado, IFSertãoPE, Salgueiro/PE, Brasil, abimaellucas1@gmail.com, 0009-0009-8301-0733;
[2]Pós-graduado, Unyleya, Brasília/DF, Brasil, kmbenicio@gmail.com, nº de ORCID;
[3]Pós-graduado, IFSertãoPE, Salgueiro/PE, Brasil, natanael.macario123@gmail.com, nº de ORCID;
[4]Pós-graduada, UNIVASF, Petrolina/CE, Brasil, sdarlinggg@hotmail.com, nº de ORCID.

Eixo Temático 02 – Saneamento estruturante: gestão e políticas públicas
Viabilidade econômica de sistemas de saneamento rural.

Eje Temático 02 – Saneamiento estructural: gestión y políticas públicas
Viabilidad económica de los sistemas de saneamiento rural.

Thematic Axis 02 – Structural sanitation: management and public policies
Economic viability of rural sanitation systems.

RESUMO

No âmbito do Nordeste brasileiro, a convivência na zona rural ainda é caracterizada pelo baixo índice de escolarização, pela distribuição de renda desigual, pela dependência à políticas assistencialistas e pela escassez hídrica. Nesta perspectiva, a implementação de políticas públicas voltadas para a garantia da segurança hídrica que promovam ambientes saudáveis à convivência e equidade de oportunidades socioeconômicas tende a evidenciar a relevância que a zona rural também detém na composição territorial brasileira através de ações que promovam a manutenção acessível, adequada e viável das infraestruturas de distribuição de água. Assim, a pesquisa objetiva a avaliação dos impactos da implantação do sistema integrado de abastecimento de água de Complexo Anauá, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco no Cariri cearense. Através da execução de um estudo de caso constituído por pesquisas bibliográficas e visitas técnicas *in loco*, constatou-se que a implantação do Complexo Anauá contribuiu para melhorar a qualidade de vida e a saúde da população beneficiada, embora os custos de operação continuem representando entraves à sustentabilidade das políticas públicas voltadas ao abastecimento de água rural.

Palavras-chave: Saneamento rural, Água, PISF, Gestão sustentável

RESÚMEN

En el nordeste brasileño, la vida rural aún se caracteriza por el bajo nivel educativo, la distribución desigual del ingreso, la dependencia de políticas de bienestar y la escasez de agua. Desde esta perspectiva, la implementación de políticas públicas orientadas a garantizar la seguridad hídrica y promover entornos saludables para la convivencia y la igualdad de oportunidades socioeconómicas tiende a destacar la importancia que también tienen las áreas rurales en la composición territorial de Brasil mediante acciones que promueven el mantenimiento accesible, adecuado y viable de la infraestructura de distribución de agua. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo evaluar los impactos de la implementación del sistema integrado de abastecimiento de agua del Complejo Anauá, en el ámbito del Proyecto de Integración del Río São Francisco en la región de Cariri, Ceará. A través de un estudio de caso que consiste en investigación bibliográfica y visitas técnicas in situ, se encontró que la implementación del Complejo Anauá contribuyó a mejorar la calidad de vida y la salud de la población beneficiada, aunque los costos operativos continúan representando obstáculos para la sostenibilidad de las políticas públicas dirigidas al abastecimiento de agua rural.

Palabras clave: Saneamiento rural, Agua, PISF, Gestión sostenible

ABSTRACT

In the Brazilian Northeast, rural life is still characterized by low educational attainment, unequal income distribution, dependence on welfare policies, and water scarcity. From this perspective, the implementation of public policies aimed at ensuring water security and promoting healthy environments for coexistence and equal socioeconomic opportunities tends to highlight the importance that rural areas also hold in Brazil's territorial composition through actions that promote the accessible, adequate, and viable maintenance of water distribution infrastructure. Thus, this research aims to evaluate the impacts of implementing the Anauá Complex integrated water supply system, within the scope of the São Francisco River Integration Project in the Cariri region of Ceará. Through a case study consisting of bibliographic research and on-site technical visits, it was found that the implementation of the Anauá Complex contributed to improving the quality of life and health of the benefited population, although operating costs continue to represent obstacles to the sustainability of public policies aimed at rural water supply.

Keywords: Rural sanitation, Water, PISF, Sustainable management

INTRODUÇÃO

Este tópico deve abordar de forma breve o contexto da experiência de estudo, descrevendo onde esta foi realizada, em qual período de tempo e com quais objetivos. Além disso, deve ser destacada também a importância desta experiência para a área temática na qual esta se insere.

A transformação econômica brasileira, provinda de ações desenvolvidas em meados de 1950, resultou em impactações que estabeleceram o cenário atual do desenvolvimento

nacional. Dando início ao movimento de hegemonia dos principais centros urbanos com o fortalecimento da urbanização e desenvolvimento da industrialização, este processo também oportunizou uma mudança cultural para o meio rural através da modernização gradual de atividades agropecuárias desenvolvidas em seu território e da implantação de políticas públicas voltadas para o aumento da qualidade de vida da população (NAVARRO, 2023).

Entretanto, observa-se que tamanha iniciativa ainda não foi capaz de enfrentar a totalidade de desafios que formam as dinâmicas territoriais do meio rural. No âmbito do Nordeste brasileiro, a convivência na zona rural ainda é caracterizada pelo baixo índice de escolarização, pela distribuição de renda desigual, pela dependência à políticas assistencialistas e pela escassez hídrica – sobretudo quando inserida a influência do clima semiárido (GALIZONI, 2021).

Uma preocupação rotineira na vida do sertanejo, a indisponibilidade hídrica é um fenômeno capaz de deturpar a aplicação da cidadania na zona rural. Por consequência da aplicação de políticas públicas desassociadas das realidades enfrentadas, na maioria dos casos ao se analisar a historicidade da temática, encontra-se um contexto abalado pelo acesso à água deficitário que precariza direitos relacionados à saúde básica e ao bem-estar coletivo, que também é passível de conflitos e lacunas para a atuação de corruptores (ALMEIDA, 2024).

Nesta perspectiva, a implementação de ações voltadas para a garantia da segurança hídrica que promovam ambientes saudáveis à convivência e equidade de oportunidades socioeconômicas tende a evidenciar a relevância que a zona rural também detém na composição territorial brasileira. Sendo esta uma das premissas do desenvolvimento do Projeto de Transposição do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).

Além de executar obras a fim de perenizar cursos d'água em Estados como Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, este projeto desenvolve um subprograma para a execução de sistemas de abastecimento de água (SAA) em vista da impactação socioambiental causada pela própria execução da transposição. Visando, assim, a atenuação de vulnerabilidades ambientais, econômicas e sociais que desafiam a manutenção da sobrevivência da população rural através da disponibilidade de água de boa qualidade que se faz possível com a manutenção acessível, adequada e viável das infraestruturas de distribuição de água (BRASIL, 2005).

Isto posto, a pesquisa científica teve como proposta avaliar os impactos da

implantação do sistema integrado de abastecimento de água de Complexo Anauá, localizado entre os municípios de Barro e Mauriti/CE, no âmbito das tecnologias utilizadas para a mitigação do custo financeiro previsto para a manutenção e operação contínua de abastecimento de água no contexto da execução do Projeto de Transposição do Rio São Francisco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A região estudada está localizada entre os limites territoriais dos municípios de Barro e Mauriti, distantes 494 km da capital Fortaleza, fazendo divisa com o Estado da Paraíba e de Pernambuco e os municípios cearenses de Aurora, Brejo Santo e Milagres (BRASIL, 2023).

Este território é caracterizado pelo clima tropical quente semiárido, tendo uma pluviosidade média anual de 903,3 mm de modo que o período chuvoso se concentra entre fevereiro e abril e temperatura média varia entre 24° e 28° (CEARÁ, 2023).

Ademais, as tipologias de relevo predominantes são Chapada do Araripe e Depressões Sertanejas. Já os solos característicos desta área são do tipo Solos Aluviais, Areias Quartzosas Distróficas, Bruno não-Cálcico, Solos Litólicos, Vertissolo e Podzólico Vermelho Amarelo com vegetações das quais se destacam a a Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial.

Quanto a hidrografia, os municípios de Barro e Mauriti/CE pertencem a bacia hidrográfica do Rio Salgado (CEARÁ, 2023).

Projetado para contemplar comunidades rurais dos municípios supracitados, o Sistema Integrado de Abastecimento de Água Complexo Anauá visou atender com água potável as seguintes localidades e o respectivo quantitativo de famílias (Tabela 01):

Tabela 1. Comunidades e número de famílias atendidas pelo Complexo Anauá.

Comunidades	Quantitativo de famílias atendidas (unid)
Anauá e Logradouro	717
Caldeirão Dantas e Beleza	105
Santo Antônio dos Posseiros	180
Cotó e Cabloco	66
Serra Verde	57
TOTAL	**1.125**

Fonte: Elaboração Própria, 2025.

A fim de compreender melhor os fatos e fenômenos que compõem o objeto desta pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico através da consulta de livros e

trabalhos científicos (artigos científicos, monografias, dissertações e teses) disponibilizados em plataformas nacionais e internacionais, como também por meio da pesquisa por documentos oficiais de esferas governamentais.

Foram considerados critérios relacionados às características que compõem o semiárido nordestino, bem como a sua influência na vida da população residente e no processo de abastecimento de água. Além disso, pesquisou-se acerca dos impactos ocasionados a partir da implementação de uma infraestrutura de abastecimento de água tratada, os mecanismos de gestão hídricas comumente empregados, a execução do Projeto de Transposição do Rio São Francisco no Nordeste e Ceará e os conceitos de sustentabilidade e resiliência atrelados ao abastecimento de água para a zona rural.

Este trabalho científico foi contemplado a partir da modalidade de pesquisa científica denominada de estudo de caso. Esta categoria metodológica pode ser caracterizada pela realização de uma análise aprofundada que parte de um evento específico que, geralmente, se delimita a partir de um parâmetro definido. Objetivando compreender a conjuntura complexa e as particularidades de um caso, o estudo de caso não busca a generalização imediata de resultados, permitindo a adaptabilidade do estudo a novas condições por meio do implemento de abordagens qualitativa ou qualiquantitativa (VENTURA, 2007).

Quanto a sua abordagem, a pesquisa foi desenvolvida com o viés qualitativo. Focando no aprofundamento da compreensão de um fenômeno, a abordagem qualitativa busca a resposta de questões por meio de um pesquisador com conhecimento parcial e limitado, promovendo o alcance de novas informações. Tem como foco a subjetividade e as particularidades componentes de um fenômeno (GERHARDT, 2009).

Diante da execução do Sistema Integrado de Abastecimento de Água entre o intervalo de agosto de 2022 a agosto de 2024, foram realizadas visitas periódicas em cada localidade, no ínterim de sua implantação, com o intuito de conhecer as características geográficas locais, observar os impactos da execução de um sistema de abastecimento para a população atingida, e analisar a consequente repercussão do processo de gerenciamento operacional do sistema de abastecimento de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O abastecimento de água anterior a implementação do projeto de Complexo Anauá era formado por um mosaico de fontes. Dentre as comunidades citadas, as localidades rurais de Anauá, Beleza, Caldeirão Dantas, Logradouro e Santo Antônio dos Posseiros já possuíam

sistemas de abastecimento de água. No entanto, as infraestruturas apresentavam problemáticas relacionadas a influência climática regional como a falta de segurança hídrica de manancial captado, seja através de mananciais subterrâneos exauridos (Santo Antônio dos Posseiros, Caldeirão Dantas e Beleza) ou mananciais superficiais não reabastecidos pela quadra chuvosa e comprometidos pelo fenômeno da seca ocorrido entre 2012 a 2017 (Anauá); problemáticas relacionadas a falta de gestão e depreciação temporal de infraestruturas (Logradouro); e pela ausência de infraestruturas responsáveis pelo abastecimento coletivo de água (Serra Verde).

Resultando, desta forma, em um abastecimento de água insuficiente que não garante a qualidade necessária a manutenção da saúde populacional na zona rural. O que promove, por consequência, a indispensabilidade do uso de carros-pipas que, apesar de demonstrar imensa importância para o abastecimento de água para quem não possui, deveriam ser desenvolvidas como políticas emergenciais apenas (NETO; FARIAS; VIANNA, 2021).

A implantação de um sistema de abastecimento de água é fundamental para assegurar a qualidade de vida e saúde para uma população. Como demonstram estudos, muitas comunidades rurais sofrem com falta de água e/ou não possuem um tratamento adequado para consumo humano, o que forma um contexto onde a população se utiliza de água contaminada por coliformes totais, que está em desacordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021 que trata dos padrões de potabilidade (MEDEIROS, 2023).

Abrangendo oito localidades presentes na zona rural, a implantação deste Sistema Integrado acabou sendo desafiada, em virtude da necessidade de alto aporte de recurso financeiro, por fatores como a distância entre as comunidades contempladas e o desnível do terreno. Além disto, são encontradas, na maioria dos casos, residências com alta taxa de dispersão e mananciais com bom histórico de exploração ou reservação cada vez mais distantes das localidades que atenderão. O que, consequentemente, evidencia a necessidade por profissionais que atentem para as peculiaridades formadoras de um rural heterogêneo para que não tornem inviável a execução de projetos de abastecimento de água desde sua etapa de elaboração.

Dentre as etapas de funcionamento do Complexo Anauá, reparou-se que a água é recalcada, a partir da primeira estação elevatória de água tratada, para o reservatório elevado localizado no Distrito de Anauá e, posteriormente, distribuída para as ligações prediais e demais comunidades atendidas através de adutoras (gravitarias e pressurizadas) e redes de distribuição. Em consideração as longas distância de distribuição da água tratada, frisa-se a devida importância a ser direcionada aos pontos de recloração instalados no SAA.

O processo de desinfecção de água bruta é primordial para a manutenção da saúde populacional, pois este evita que microrganismos patogênicos sejam disseminados e fomentem a propagação de doenças de veiculação hídrica. Estudos evidenciam que o melhor método para desinfectar a água é por meio da utilização do hipoclorito de sódio com concentração de 2,5%, demonstrando maior eficácia que outros métodos convencionais como a fervura e a utilização de filtros de cerâmica devido, respectivamente, a necessidade de energia para eliminar patógenos e a remoção incompleta dos agentes contaminantes (JESUS, 2023).

No Sistema Integrado Complexo Anauá, o gerador automatizado de hipoclorito de sódio, popularmente chamado de fábrica de cloro, é o responsável por injetar a solução concentrada de cloro formada através da adição de água e cloreto de sódio (NaCl) para a etapa de desinfecção da água. No referido sistema de abastecimento de água, foi instalado um equipamento de capacidade de geração de 2 kg de cloro ativo por dia.

Sua instalação ocorreu devido o baixo custo de manutenção e operação, com pesquisas revelando que o tratamento da água com hipoclorito de sódio é tão eficiente e mais

econômico quanto a outros insumos como, cloro granular, gás cloro e pastilhas de tricloro. Uma vez que o valor do quilograma de cloro ativo produzido pelo gerador de hipoclorito é menos oneroso comparado ao cloro em outras composições (Tabela 02), observa-se que o referido gerador pode ser considerado uma ótima tecnologia a ser utilizada para a SAAs executados na zona rural, vistas a eficiência, a automação e o menor custo de operação que ainda é capaz de atenuar as falhas processuais vigentes enfrentadas pelo modelo de gestão do Sistema Integrado de Saneamento Rural - SISAR/CE (GARCIA, 2018).

Tabela 2. Custo de insumos para a etapa de cloração da água no Complexo Anauá em um mês.

Tipo de Insumo	Quantidade demandada (kg)	Valor em Reais (R$)
Sal Grosso	300	273
Cloro Granular	100	1.653,20

Fonte: SISAR, 2025.

Entendeu-se que, com a disposição de nove estações de bombeamento e quatro estações de tratamento de água bruta com gerador de hipoclorito, o custo energético necessário para operar o Complexo Anauá poderia afetar a sua existência, resultante do baixo poder econômico disposto em zonas rurais. Promovendo a proposta de instalação de usinas fotovoltaicas para viabilizar a gestão sustentável por meio da redução do custo energético de operação.

Ressalta-se que no modelo de gestão SISAR/CE, solução associativista compartilhada eleita para a gestão da infraestrutura de abastecimento hídrico, a tarifa é uma taxa de serviço sem visão de lucros responsável pela manutenção dos SAAs, fornecimento de insumos e capacitação social das comunidades rurais. Entendendo-se que a tarifa é composta pela custo de produção e distribuição de água, custo energético, taxa do operador e taxa administrativa (valores definidos em assembleia geral comunitária), observa-se que o custo com insumos e processos de tratamento de água, bem como os valores tidos para a manutenção energética repercutem incisivamente sobre o valor final pago pelo usuário.

Salienta-se, ainda, que estudos revelam que a implantação de novas tecnologias para geração de energia elétrica tem impacto significativo no valor da conta de energia do consumidor final tendo em conta que o consumo energético e da água tratada estão relacionados. Além disto, estas tecnologias são consideradas de matriz limpa quando comparadas as matrizes energéticas tradicionais, favorecendo o equilíbrio ambiental por meio do não lançamento de toneladas de CO_2 para a atmosfera. (RABELO, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste modo, compreende-se que implementar um sistema de abastecimento de água na zona rural do Cariri cearense requer a contemplação de uma visão holística que considere as particularidades que compõem as ruralidades, em contraponto da dissociação proporcionada, muitas vezes, entre projeto e realidade vivida.

Apesar de focar na transposição de águas originadas do leito do Rio São Francisco, o desenvolvimento do PISF atua como política pública que considera além da segurança hídrica, a melhoria da qualidade de vida populacional de áreas afetadas. Em vista da

execução de sistemas de abastecimento de água que possibilitam a mitigação de impactos socioambientais causados pela obra e que permeiam a história das regiões.

Contudo, constatou-se que as características geográficas intrínsecas ao meio rural do Cariri cearense acabam por inviabilizar, em diversos casos, a implementação de soluções voltadas para o abastecimento coletivo de água potável. Resultando em altos investimentos que podem dificultar o interesse de atender o direito básico de acesso à água nestas regiões por parte do poder público, a exemplo do custo tido com a implementação do Complexo Anauá.

À vista disto, notou-se o incentivo de estudos que promovessem a execução de sistemas integrados de abastecimento de água a fim de permitir, tendo como base uma fonte de captação hídrica com histórico de segurança, o maior número de beneficiários dentro dos critérios técnicos existentes e de reduzir o custo per capta de investimento.

Atrelado a isto, entendeu-se que a utilização de tecnologias relacionadas aos processos convencionais de tratamento e distribuição de água acabam por fomentar a viabilidade econômica e da operação de Sistemas Integrados de modo a garantir a resiliência necessária a vida dos habitantes do meio rural, visto que os custos necessários para o acesso ao benefício se encontram mais adequados e realistas a distribuição de renda conhecida neste meio. Promovendo, assim, um acesso equalitário, contínuo e justo à água tratada.

Por fim, explorar a impactação físico-financeira da operação de um sistema de abastecimento de água desta magnitude pode engrandecer o debate sobre meios que auxiliem uma maior sustentabilidade ambiental e econômica tendo como parâmetro a gestão por meio do Sistema Integrado de Saneamento Rural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Sandra Valéria. 2024. “Escassez hídrica. Causas da escassez hídrica.” In Escassez Hídrica: desafios mitigatórios. Dissertação de Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 24, 40–52. https://repositorio.unesp.br/items/d9a66ed9-fd2d-4b47-9bc7-9192e0b46993. Acesso em 2 jan. 2025.

Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2023. Cidades. http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/fontes.php?lang=. Acesso em 8 jan. 2025.

Brasil. Ministério da Integração Nacional. 2005. Programa 15 – Apoio técnico para implantação de infraestrutura de abastecimento de água ao longo dos canais.

https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ProjetoRioSaoFrancisco/ArquivosPDF/PBA15.pdf. Acesso em 2 jan. 2025.

Ceará. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). 2017. Perfil básico municipal: Barro 2023. Perfil básico municipal: Mauriti 2023. Fortaleza. Disponível em: http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml.pdf. Acesso em 8 de janeiro de 2025.

Galizoni, Flávia Maria. 2021. "Rural e ruralidades: reflexões para o Programa Nacional de Saneamento Rural." In Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR): aspectos conceituais da ruralidade no Brasil e interfaces com o saneamento básico, organizado por Brasil, Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 9–22. Brasília: Funasa. http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/SUBSIDIOS_VOL1_RURALIDADE_SANEAMENTO.pdf/e0163152-6cc2-4898-b915-6a1e53e49115. Acesso em 2 jan. 2025.

Garcia, Regilaine da Cunha Duarte. 2018. "Referencial Teórico." In Avaliação da substituição do cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio in loco em estação de tratamento de água de grande porte. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, 6–27. https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21336. Acesso em 15 jan. 2025.

Gerhardt, Tatiana Engel, e Denise Tolfo Silveira. 2009. "A pesquisa científica." In Métodos de pesquisa, 31–42. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS.

Jesus, Francisca Oliveira, et al. 2023. "Eficácia das medidas domiciliares de desinfecção da água para consumo humano: enfoque para o contexto de Santarém, Pará, Brasil." Cadernos de Saúde Pública 39: e00205322. https://www.scielosp.org/article/csp/2023.v39n2/e00205322/. Acesso em 15 jan. 2025.

Medeiros, Bruno José Silva, et al. 2023. "Abastecimento de Água no Meio Rural: Fonte de Vida e Saúde." Caderno Impacto em Extensão 3 (1). https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cite/article/view/636. Acesso em 14 jan. 2025.

Navarro, Zander. 2023. "Meio século de transformações do mundo rural brasileiro e a ação governamental." Revista de Política Agrícola 19 (5): 107–18. https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1107. Acesso em 2 jan. 2025.

Neto, João F. C., Thiago S. Farias, e Pedro C. G. Vianna. 2021. "Os usos do carro-pipa no 'combate' à seca na região semiárida brasileira (RSB) e no Estado da Paraíba." Revista OKARA 15 (2): 278–96. https://periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/view/63562. Acesso em 14 jan. 2025.

Rabelo, Francisco Carleudo Saraiva, et al. 2023. "Estudo socioambiental do projeto de abastecimento de água com sistema fotovoltaico conectado à rede na comunidade Sítio Volta, Jaguaruana, Semiárido Cearense." Revista Brasileira de Energia Solar 14 (1): 63–71. https://rbens.emnuvens.com.br/. Acesso em 15 jan. 2025.

Ventura, Magda Maria. 2007. “O estudo de caso como modalidade de pesquisa.” Revista SoCERJ 20 (5): 383–86. http://sociedades.cardiol.br/socerj/revista/2007_05/a2007_v20_n05_art10.pdf. Acesso em 8 jan. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036727

APORTE DE NUTRIENTES EM UM RIO URBANO NO CARIRI CEARENSE

APORTE DE NUTRIENTES EN UN RÍO URBANO EN CARIRI CEARENSE

NUTRIENT INPUT IN AN URBAN RIVER IN THE CARIRI REGION OF CEARÁ

Jadyni Ester Matos e Silva[1], Lyndyanne Dias Martins[2], Clara Beatryz Gomes Vieira[3] e Yannice Tatiane da Costa Santos[4].

[1]Mestranda, URCA, Crato - CE, Brasil, jadyni.matos@urca.br, nº de ORCID 0009-0001-3917-5233;
[2]Doutora, UFPE, Recife - PE, Brasil, lyndyanne.dias@ufpe.br , nº de ORCID 0000-0002-2384-0980;
[3]Mestranda, URCA, Crato - CE, Brasil, clara.gomes@urca.br, nº de ORCID 0009-0009-3387-9705;
[4]Professora Doutora, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, yannice@ifce.br, nº de ORCID 0000-0002-6730-1815.

Eixo Temático III – Tecnologias para Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

EjeTemático III – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Aspectos de Calidad: Caracterización y Monitoreo de Aguas para Consumo Humano

Thematic Axis III – Technologies for Water Supply
Quality Aspects: Characterization and Monitoring of Water for Human Consumption.

RESUMO

Este estudo investigou as principais fontes de aporte de nutrientes e avaliou as concentrações e fontes de nutrientes no Rio Grangeiro, em Crato-CE, verificando seu enquadramento frente à literatura e à legislação vigente. As coletas ocorreram mensalmente entre janeiro e setembro de 2024, abrangendo períodos seco e chuvoso, em quatro pontos ao longo do gradiente fluvial, da nascente a áreas urbanizadas. Foram analisados amônia total, nitrito, nitrato e fósforo total, conforme metodologias do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Os resultados indicaram que o fósforo total, apesar de concentrações relativamente baixas, excederam os valores de referência (0,05 mgP/L), sugerindo poluição recorrente em pontos mais antropizados. A amônia apresentou valores superiores a 0,10 mgN/L na maioria das amostras, apontando poluição recente, enquanto o nitrato permaneceu abaixo de 5 mg/L, não indicando contaminação de longo prazo. A nascente (P1) apresentou melhor qualidade, evidenciando que os impactos aumentam ao longo do curso, relacionados a fontes pontuais e difusas, impermeabilização do solo e ausência de tratamento de esgotos. Recomenda-se a proteção das nascentes, expansão do tratamento de esgoto e adoção de práticas de manejo sustentável para reduzir o aporte de poluentes e preservar os serviços ecossistêmicos do rio.

Palavras-chave: Qualidade da Água, Nutrientes, Eutrofização, Poluição Hídrica, Rio Grangeiro

RESÚMEN

Este estudio investigó las principales fuentes de suministro de nutrientes y evaluó las concentraciones y fuentes de nutrientes en el río Grangeiro, en Crato-CE, verificando su clasificación en relación con la literatura y la legislación actual. Las muestras se recolectaron

mensualmente entre enero y septiembre de 2024, abarcando las estaciones seca y lluviosa, en cuatro puntos a lo largo del gradiente fluvial, desde la naciente hasta zonas urbanizadas. Se analizaron amoníaco, nitrito, nitrato, y fósforo total según las metodologías del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Los resultados mostraron que el fósforo total, aunque en concentraciones relativamente bajas, superaron los valores de referencia (0,05 mgP/L), lo que sugiere contaminación recurrente en áreas más antropizadas. El amoníaco superó los 0,10 mgN/L en la mayoría de las muestras, indicando contaminación reciente, mientras que el nitrato se mantuvo por debajo de 5 mg/L, sin evidenciar contaminación antropogénica de largo plazo. La naciente (P1) presentó mejor calidad, evidenciando que los impactos aumentan aguas abajo debido a fuentes puntuales y difusas, impermeabilización del suelo y ausencia de tratamiento de aguas residuales. Se recomienda proteger las nacientes, ampliar el tratamiento de aguas residuales y adoptar prácticas de manejo sostenible para reducir la carga de contaminantes y preservar los servicios ecosistémicos del río.

Palabras clave: Calidad Del Agua, Nutrientes, Eutrofización, Contaminación Hídrica, Río Grangeiro

ABSTRACT

This study investigated the main sources of nutrient supply and evaluated the concentrations and sources of nutrients in the Grangeiro River, in Crato-CE, verifying its classification in relation to the literature and current legislation. Sampling was conducted monthly from January to September 2024, covering dry and rainy seasons, at four points along the fluvial gradient, from the headwaters to urbanized areas. Ammonia, nitrite, nitrate and total phosphorus were analyzed according to Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Results showed that total phosphorus, although at relatively low concentrations, exceeded reference values (0.05 mgP/L), suggesting recurrent pollution in more anthropized areas. Ammonia concentrations exceeded 0.10 mgN/L in most samples, indicating recent pollution, while nitrate remained below 5 mg/L, not indicating long-term anthropogenic contamination. The headwater (P1) presented better quality, evidencing that impacts increase downstream due to point and diffuse sources, soil sealing, and lack of wastewater treatment. Measures such as protecting headwaters, expanding sewage treatment, and adopting sustainable management practices are recommended to reduce pollutant loads and preserve the river's ecosystem services.

Keywords: Water Quality, Nutrients, Eutrophication, Water Pollution, Grangeiro River

INTRODUÇÃO

Os rios urbanos desempenham um papel crucial nos ecossistemas, fornecendo serviços ambientais indispensáveis, como abastecimento de água, regulação climática e manutenção da biodiversidade. No entanto, a intensificação das atividades humanas nas cidades tem gerado pressões crescentes sobre esses corpos d'água, especialmente devido ao transporte de nutrientes

provenientes de esgotos domésticos, resíduos industriais e atividades agrícolas no entorno urbano. Esses nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, podem desencadear processos de eutrofização, levando ao crescimento excessivo de algas, redução de oxigênio e comprometimento da qualidade da água (Esteves, 2011; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2012).

O Brasil enfrenta desafios particulares relacionados a esse transporte, devido à insuficiência de infraestrutura de tratamento de esgotos e ao crescimento desordenado das cidades. Estudos apontam que cerca de 45% do esgoto gerado no país ainda é despejado sem tratamento em corpos d'água, contribuindo diretamente para o aumento das concentrações de nutrientes em rios urbanos (IBGE, 2021; ANA, 2022).

O crescimento urbano desordenado e a insuficiência de sistemas adequados de tratamento de esgoto agravaram o problema, contribuindo para o transporte de cargas poluentes diretamente aos rios. Além disso, a impermeabilização do solo e a ausência de práticas sustentáveis de manejo urbano intensificam o escoamento superficial, promovendo o carregamento de nutrientes e outros poluentes (Carvalho, 2016).

Com isso em vista o estudo visa investigar as principais fontes e avaliar as concentrações de nutrientes em um trecho de um rio urbanizado no município do Crato-CE, através dos parâmetros nitrito, nitrato, amônia, e fósforo total , e comparar com a legislação vigente se está sendo atendido os valores máximos permitidos determinados para esses parâmetros.

MATERIAIS E MÉTODOS

A etapa pré-campo se realizou no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Juazeiro do Norte, onde todo o material utilizado para as análises físico-químicas foi devidamente preparado.

Os dados de amostragem foram coletados mensalmente no período de 30 de janeiro de 2024 a 04 de setembro de 2024, totalizando 9 coletas, contemplando o período seco e o chuvoso da região, sem repetições de coletas. Não foi realizado replicata de coletas, para que os resultados fossem o mais próximo da realidade da variação sazonal. A malha amostral foi composta por 4 pontos, no Rio Grangeiro (Figura 1 e Quadro 1), a coleta de água e a mensuração dos parâmetros físico-químicos foram realizadas no sentido nascente - centros

urbanos, a favor do gradiente fluvial.

A escolha dos pontos de coleta levou em consideração as áreas de maior uso e ocupação urbana, áreas onde a vegetação estava mais preservada e os pontos de poluição difusa existentes ao longo do trecho estudado. Ao chegar no ponto de coleta, as garrafas identificadas foram rinsadas vigorosamente com água do local e conservadas por refrigeração em caixas de isopor, para manter as características físico-químicas e em seguida levadas ao LEAS para análises.

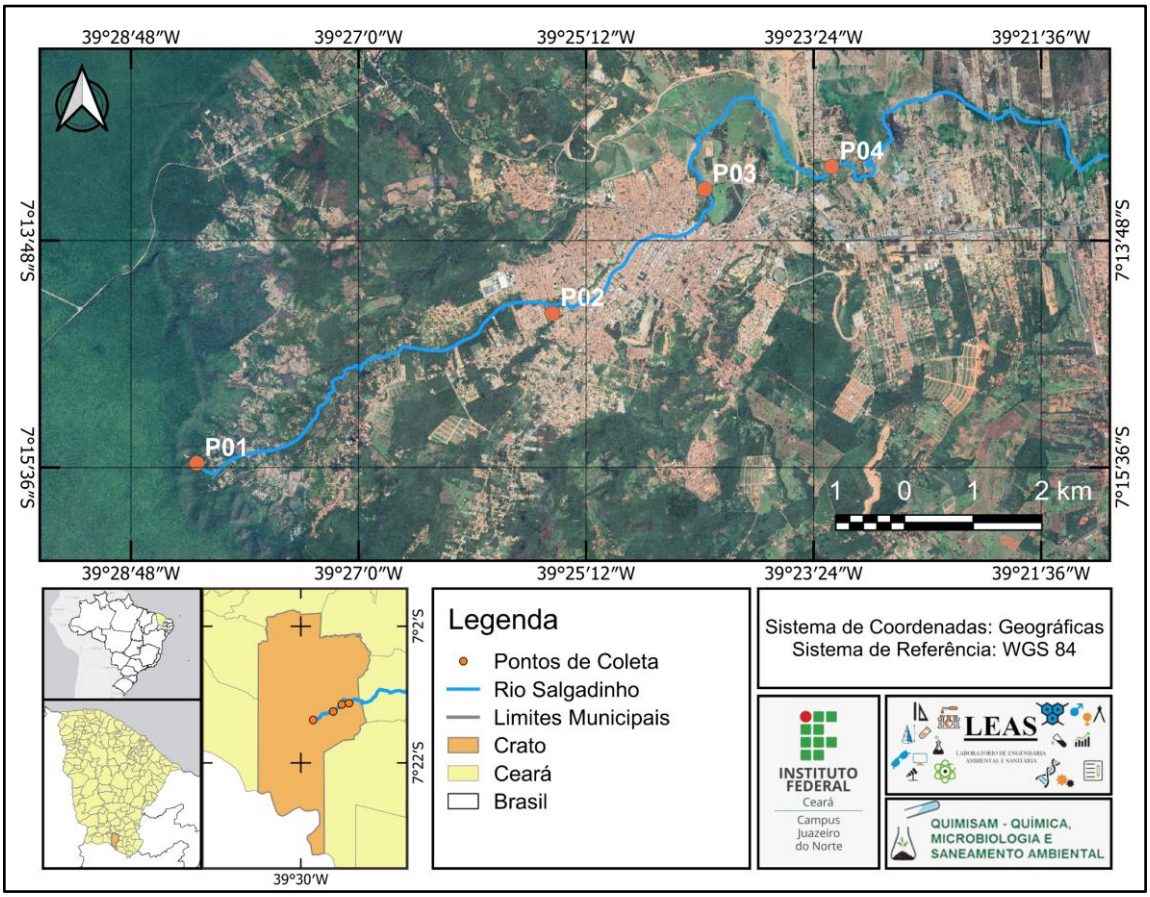


Figura 1 - Pontos de coleta no trecho do Rio Grangeiro, Crato-Ceará.

Fonte: Autores (2025).

Quadro 1 - Coordenadas geográficas e referência dos pontos de coleta no Rio Grangeiro, Crato-Ceará.

Ponto	Coordenadas	Referência
P1	7°25'94.61''S / 39°47'13.25''O	Nascente do Rio Batateiras
P2	7°23'96.33''S / 39°42'44.27''O	Ponte da Prefeitura
P3	7°22'32.25''S / 39°40'43.61''O	Ponte do bairro Palmeiral

P4	7°22’02.41’’S / 39°38’76.19’’O	Ponte Chiquinha Macêdo

Fonte: Autores (2025).

Os parâmetros foram definidos através do método analítico determinado pelas diretrizes do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2012), os quais constam no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros e métodos analíticos do estudo.

Parâmetro	Método Analítico
Amônia	Destilação/titulométrico (Micro Kjeldahl)
Nitrito	Espectrofotométrico: Diazotização Sulfanilamida – NED
Nitrato	Espectrofotométrico: Salicilato de Sódio
Fósforo Total	Espectrofotométrico: Persulfato de Amônio- Ácido Ascórbico

Fonte: Autores (2025).

Os resultados obtidos a partir de análises laboratoriais foram organizados em planilhas para cálculo das concentrações dos parâmetros analisados, posteriormente os valores tabulados foram organizados em gráficos para a melhor verificação se estão enquadrados nos valores esperados e se estão obedecendo aos valores máximos permissíveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da qualidade da água ao longo do trecho estudado do rio urbano no Crato-CE revelou variações significativas nas concentrações de fósforo total, nitrato, nitrito e amônia total entre os quatro pontos de amostragem (P1 a P4). Tratando-se da fração fosfatada, segundo Von Sperling (2005) a concentração de fósforo na água normalmente encontra-se abaixo de 0,05 mgP/L, o gráfico Box plot na Figura 2 representa os valores de fósforo total para todas as coletas.

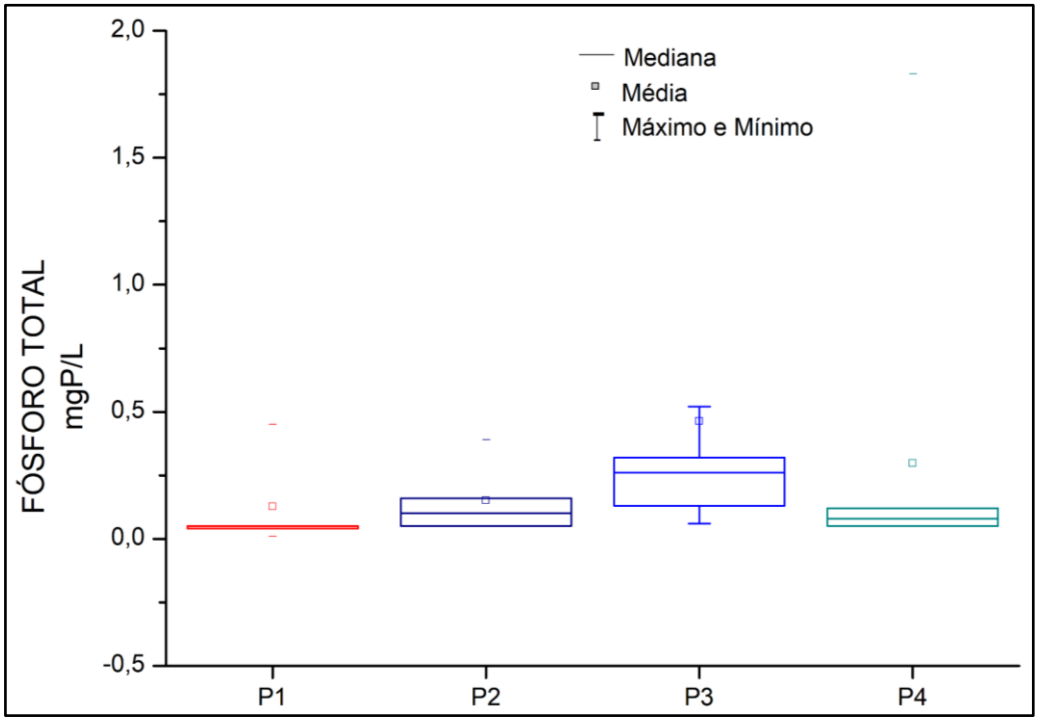


Figura 2 - Gráfico Box-Plot referente aos dados de Fósforo Total das análises.
Fonte: Autores (2025).

É possível observar que para todas as coletas o P1 teve seus valores médios de fósforo total dentro ou próximo da indicada na literatura (0,05 mgP/L) já que se trata da Nascente e não indica grau de poluição no ponto. Na Resolução CONAMA 357/2005 é apontado que rios de classe 2 e 3 os valores máximos para fósforo total é de 0,15 mgP/L para ambientes lóticos, como é classificado o Rio Grangeiro, a partir do P2 já é possível visualizar o aumento da concentração do fósforo total, o que indica a entrada de cargas difusas e pontuais no rio provavelmente oriundas de efluentes domésticos e do escoamento superficial urbano.

No ponto P3, constatou-se o cenário mais crítico, o fósforo total apresentou seu valor máximo, refletindo aporte significativo de nutrientes possivelmente decorrente de descargas diretas de esgoto doméstico e resíduos sólidos em decomposição. No ponto P4, observou-se redução nas concentrações de fósforo em relação a P3, possivelmente por processos de diluição, sedimentação e assimilação biológica. No entanto, os valores ainda se mantiveram superiores aos registrados na nascente, representando aporte contínuo de nutrientes e risco potencial de eutrofização (Jordão e Pessôa, 2011).

Já para as frações nitrogenadas, Ferreira e Manske (2022) afirmam que para águas naturais as concentrações de amônia esperada são abaixo de 0,10 mgN/L, sendo que

concentrações acima disso podem ser indicativos de poluição recente segundo Vieira et al. (2023). Para nitrato, fração mais estável das frações nitrogenadas Feitosa e Manoel Filho (2000) afirmam que teores acima de 5 mg/L de nitrato podem indicar uma contaminação antrópica, ou seja, com interferência humana no corpo hídrico. Nas Figuras 3, 4 e 5 estão apontados os resultados das análises de frações nitrogenadas (Amônia Total, Nitrito e Nitrato).

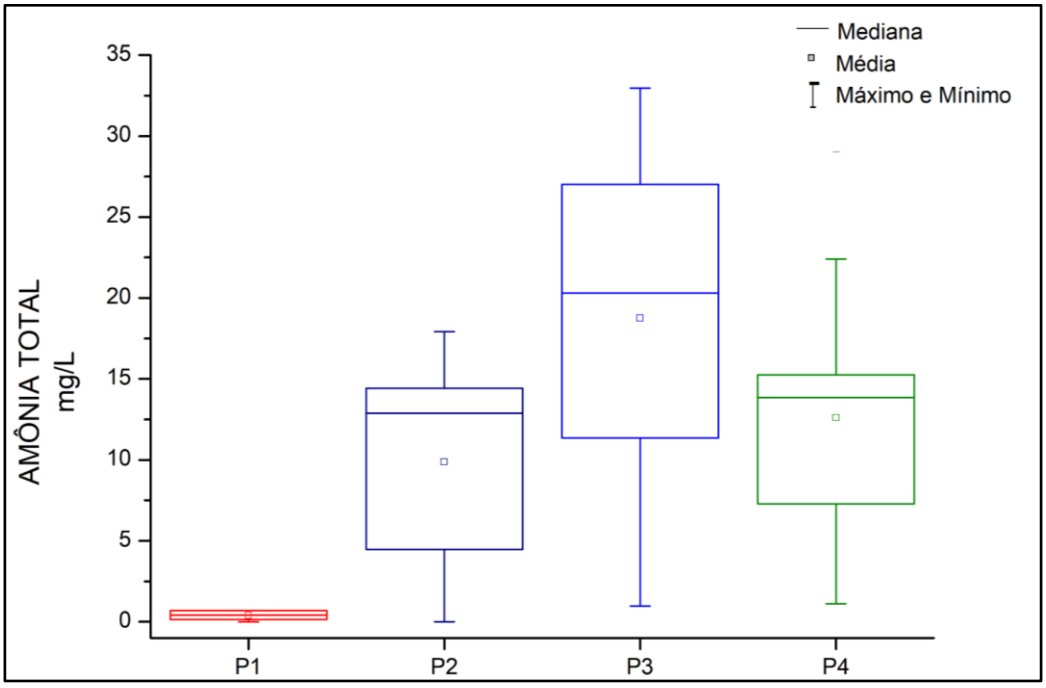


Figura 3 - Gráfico Box plot referente aos dados de Amônia Total das análises.

Fonte: Autores (2025).

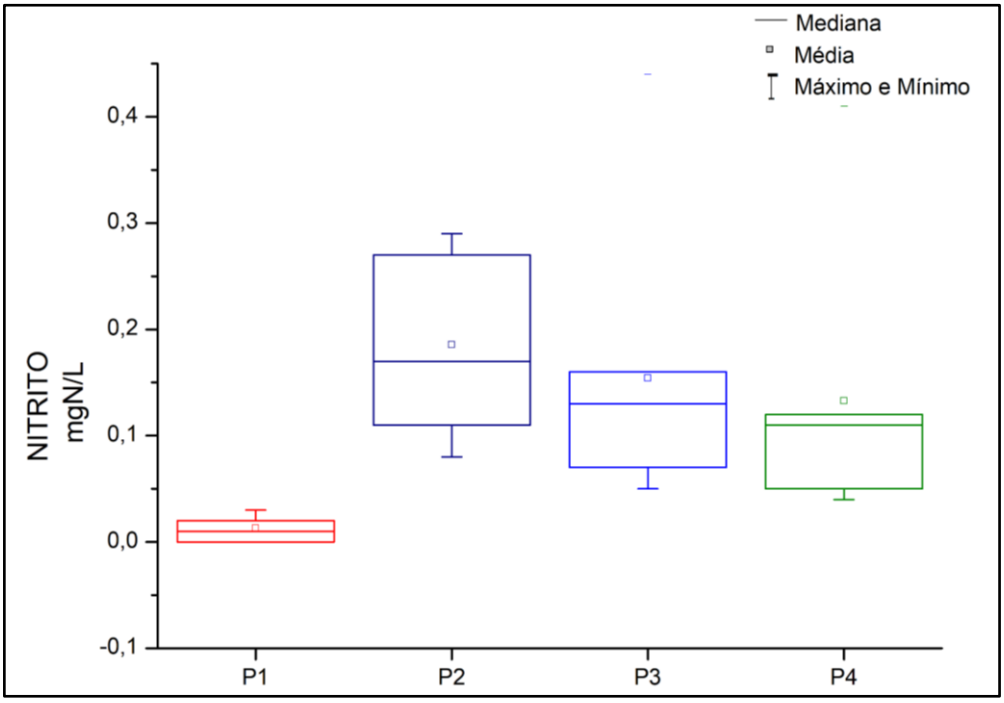


Figura 4 - Gráfico Box plot referente aos dados de Nitrito das análises.

Fonte: Autores (2025).

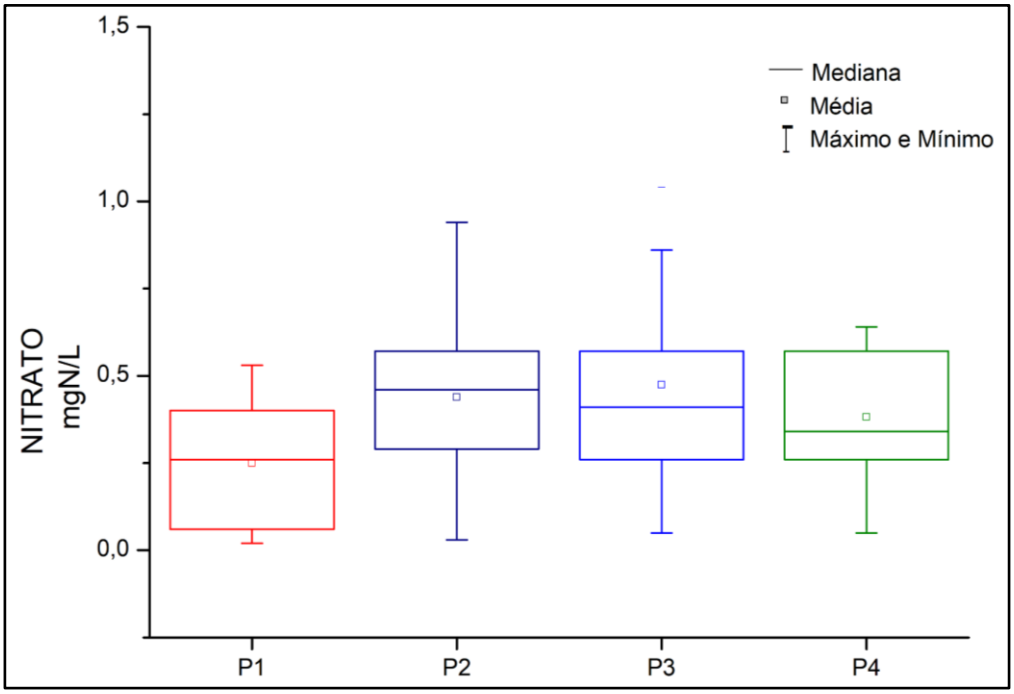


Figura 5 - Gráfico Box plot referente aos dados de Nitrato das análises.

Fonte: Autores (2025).

A análise das formas de nitrogênio revelou dinâmicas distintas. O nitrato apresentou valores baixos em P1, condizentes com águas não impactadas, aumentando em P2 e P3. A manutenção de concentrações relativamente elevadas em P4 reflete a maior solubilidade e

persistência dessa forma nitrogenada no ambiente aquático. O nitrito, mais instável e intermediário no ciclo do nitrogênio, apresentou aumento acentuado em P2, com posterior redução em P3 e P4, sugerindo variações nas condições e na atividade microbiana ao longo do trecho.

O parâmetro mais preocupante foi a amônia total. Praticamente ausente em P1, apresentou aumentos expressivos em P2 e P3, com destaque para este último, onde os valores ultrapassam amplamente o limite de 3,7 mgN/L e 13,3 mgN/L estabelecido para águas de Classe 2 e Classe 3, respectivamente. Segundo Jordão e Pessôa (2011), níveis elevados de amônia são indicativos de lançamento recente de esgoto doméstico, uma vez que esta forma nitrogenada tende a ser rapidamente oxidada para nitrito e nitrato em condições de boa oxigenação. Em P4, apesar da redução, as concentrações permaneceram acima dos padrões de qualidade, confirmando o aporte contínuo de cargas nitrogenadas ao longo do curso do rio, é possível visualizar no trecho estudado locais de disposição inadequada de resíduos sólidos, bem como o lançamento de efluente de uma ETE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no estudo apontam para um processo de degradação progressiva da qualidade da água, com maior comprometimento no ponto P3, onde se concentram os picos de fósforo e amônia. Esse cenário reforça a necessidade de ações de saneamento básico e de controle de cargas poluidoras, visto que o aporte excessivo de nutrientes ameaça a biota aquática, a segurança hídrica e a saúde pública.

Além disso, os dados evidenciam a importância de medidas de gestão integrada dos recursos hídricos, com foco na ampliação da rede de coleta e tratamento de esgotos, no controle da disposição inadequada de resíduos sólidos e no ordenamento do uso e ocupação do solo urbano. A proteção da nascente e a implementação de políticas de manejo sustentável são estratégias essenciais para a preservação desse recurso hídrico.

Recomenda-se, ainda, que os resultados aqui apresentados subsidiem políticas públicas locais e regionais voltadas à proteção de rios urbanos, integrando práticas de planejamento urbano e de educação ambiental, como recuperação e conservação das matas ciliares conforme o Código Florestal (Lei 12.651/2012), fortalecimento de programas de monitoramento da qualidade da água e maior controle sobre lançamentos irregulares de efluentes e etc. Tais

medidas podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais e sociais da poluição hídrica e para a melhoria da qualidade de vida da população da região do Cariri cearense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). 2022. *Relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2022*. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: https://www.gov.br/ana. Acesso em 26 nov. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

Carvalho, A. L. 2016. *Efeitos da urbanização no transporte de nutrientes em bacias hidrográficas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Esteves, F. A. 2011. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.

Feitosa, F. A. C., e J. Manoel Filho. 2000. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2. ed. Fortaleza: CPRM/LABID-UFPE.

Ferreira, Alessandra Danielle, e Caroline Hardt Manske. 2022. "*Nitrogênio e Suas Frações Analíticas*."
Disponível em: https://freitag.com.br/blog/nitrogenio-e-suas-fracoes-analiticas/.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2021. *Indicadores de saneamento e impactos sobre corpos hídricos*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br.

Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. 2011. *Tratamento de esgotos domésticos*. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES.

Tundisi, J. G., e T. Matsumura-Tundisi. 2012. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos.

Vieira, Clara Beatryz Gomes, et al. 2023. "*Quantificação das frações nitrogenadas da água de abastecimento em dois bairros de Juazeiro do Norte - CE*." In *A*nais do 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Minas Gerais: ABES.

Von Sperling, M. 2005. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Vol. 1. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036737

ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO: AVANÇOS, LIMITAÇÕES E DESAFIOS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO.

ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO: AVANCES, LIMITACIONES Y DESAFÍOS PARA SU UNIVERSALIZACIÓN.

WATER SUPPLY IN THE SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO: ADVANCES, LIMITATIONS AND CHALLENGES FOR UNIVERSALIZATION

Igor Muniz Cavalcanti Lins[1], Lucas Breno dos Santos[2], Fabricio David Simplicio Aniceto[3] e Diomedes Cordeiro de Siqueira Junior[4].

[1]Engenheiro Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, igor.mlins@ufpe.br, 0009-0001-6639-2380;
[2]Mestrando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, lucas.breno@ufpe.br, 0009-0002-8969-260X;
[3] Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, fabricio.david@ufpe.br, 0000-0002-1811-1943
[4]Engenheiro Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, diomedes.junior@ufpe.br, 0009-0009-3918-2714

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Soluciones Alternativas de Abastecimiento en el Medio Rural

Thematic Axis 03 – Technologies for Water Supply
Alternative Supply Solutions in Rural Areas

RESUMO

O acesso à água potável é um direito humano fundamental, diretamente relacionado à dignidade da pessoa humana e à saúde pública, sendo amparado pela Constituição Federal de 1988, especialmente nos artigos 6º e 225, que asseguram o direito social à saúde e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. No entanto, no semiárido pernambucano a realidade é marcada por desigualdades históricas, dentre elas, está a baixa cobertura de rede de distribuição de água e forte dependência de soluções alternativas, como, por exemplo, carros-pipa e poços. Neste estudo, objetiva-se apresentar o panorama do abastecimento de água em áreas rurais de Pernambuco, desde aspectos de universalização, qualidade e indicadores de perda de água, relacionado com a baixa disponibilidade hídrica per capita e os desafios a serem enfrentados pela concessão parcial da concessionária pública responsável pelo saneamento no estado. Isto será realizado a partir da literatura, de documentos elaborados por órgãos que tratam sobre saneamento no país, e dos dados das plataformas oficiais do governo, como o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. Estima-se que apenas 37,34% da população rural do estado é atendida adequadamente – o fornecimento de água potável ocorre por rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, em qualquer caso, sem intermintências – segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico, enquanto que, em estados vizinhos, como Ceará e Bahia, o atendimento abrange uma percentual populacional maior.

Conclui-se que, apesar de programas estruturados como o Águas de Pernambuco e Programa de Saneamento Rural de Pernambuco, persistem gargalos críticos que comprometem a universalização do acesso à água potável. O avanço no setor requer investimentos integrados em infraestrutura, fortalecimento da gestão comunitária e regulação eficiente para assegurar a sustentabilidade do abastecimento rural.

Palavras chaves: Sistema de abastecimento de água; Semiárido de Pernambuco; Universalización; Saneamiento rural; Políticas públicas.

RESÚMEN

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental, directamente relacionado con la dignidad de la persona humana y la salud pública, respaldado por la Constitución Federal de 1988, especialmente en sus artículos 6º y 225, que garantizan el derecho social a la salud y al medio ambiente ecológicamente equilibrado. Sin embargo, en el semiárido de Pernambuco, la realidad está marcada por desigualdades históricas, entre ellas la baja cobertura de redes de distribución de agua y una fuerte dependencia de soluciones alternativas, como los camiones cisterna y los pozos.

Este estudio tiene como objetivo presentar el panorama del abastecimiento de agua en las zonas rurales de Pernambuco, abordando aspectos de universalización, calidad e indicadores de pérdida de agua, en relación con la baja disponibilidad hídrica per cápita y los desafíos que enfrenta la concesión parcial de la empresa pública responsable del saneamiento en el estado.

El análisis se basará en la literatura especializada, documentos elaborados por organismos que tratan el saneamiento en Brasil y datos de plataformas oficiales del gobierno, como el Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento Básico.

Se estima que solo el 37,34% de la población rural del estado recibe un servicio adecuado — el suministro de agua potable se realiza mediante red de distribución o por pozo, manantial o cisterna, con canalización interna y sin interrupciones— según el Plan Nacional de Saneamiento Básico, mientras que en estados vecinos, como Ceará y Bahía, el porcentaje de cobertura es mayor.

Se concluye que, a pesar de programas estructurados como “Águas de Pernambuco” y el Programa de Saneamiento Rural de Pernambuco (PROSAR), persisten cuellos de botella críticos que comprometen la universalización del acceso al agua potable. El avance en el sector requiere inversiones integradas en infraestructura, fortalecimiento de la gestión comunitaria y una regulación eficiente que garantice la sostenibilidad del abastecimiento rural.

Palabras clave: Sistema de abastecimiento de agua; Semiárido de Pernambuco; Universalización; Saneamiento rural; Políticas públicas.

ABSTRACT

Access to safe drinking water is a fundamental human right, directly linked to human dignity and public health, and is supported by the Federal Constitution of Brazil (1988), particularly in Articles 6 and 225, which guarantee the social right to health and to an ecologically balanced environment. However, in the semi-arid region of Pernambuco, the reality is marked by historical inequalities, including low coverage of water distribution networks and a strong dependence on alternative solutions such as water trucks and wells.

This study aims to present an overview of water supply in rural areas of Pernambuco,

addressing aspects of universal access, water quality, and indicators of water loss, in relation to low per capita water availability and the challenges posed by the partial concession of the public company responsible for sanitation in the state.

The analysis will be based on academic literature, documents produced by institutions dedicated to sanitation in Brazil, and data from official government platforms, such as the National Information System on Basic Sanitation (SINISA).

It is estimated that only 37.34% of the rural population in the state is adequately served — meaning that the supply of drinking water occurs through a distribution network or via wells, springs, or cisterns with internal piping, in all cases without interruptions — according to the National Basic Sanitation Plan. In neighboring states such as Ceará and Bahia, the coverage reaches a higher percentage of the population.

It is concluded that, despite structured programs such as "Águas de Pernambuco" and the Pernambuco Rural Sanitation Program (PROSAR), critical bottlenecks persist that hinder the universalization of access to drinking water. Progress in the sector requires integrated investments in infrastructure, strengthening of community management, and efficient regulation to ensure the sustainability of rural water supply.

Se quiser, posso também traduzir o título, palavras-chave ou preparar a versão final para submissão em revistas científicas internacionais. Deseja seguir com isso?

Keywords: Water supply system; Semi-arid region of Pernambuco; Universalization; Rural sanitation; Public policies.

INTRODUÇÃO

O direito humano à água potável e ao saneamento, consolidado na Resolução 64/292 da Assembleia Geral da ONU e reafirmado em relatórios recentes como o *World Water Development Report* (UN-Water 2023), constitui requisito essencial para a dignidade humana, a saúde pública e o desenvolvimento sustentável. Esse marco internacional reforça que a universalização do acesso não deve ser tratada apenas como meta de política pública, mas como obrigação fundamental dos Estados frente às desigualdades sociais e territoriais. No Brasil, esse direito encontra respaldo em um conjunto de legislações que visam garantir aos cidadãos serviços básicos essenciais à qualidade de vida. Dentre os objetivos da União, estão a erradicação da pobreza e a marginalização, assim como a redução das desigualdades sociais e regionais e, dentre as suas responsabilidades está a instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive, o saneamento básico.

A Lei nº 11.445/2007 e o Decreto nº 7.217/2010 instituíram diretrizes nacionais para o saneamento, consolidando a Política Federal de Saneamento Básico e criando o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), indicam que, todos os componentes que integram o saneamento básico devem ser ofertados tanto à população urbana quanto rural, buscando

cumprir o princípio central a universalização (Brasil, 2007). No entanto, os avanços permanecem desiguais. Em 2019, o Governo Federal estimava a necessidade de investir mais de R$ 20 bilhões por ano até 2033 para garantir a universalização do acesso à água e ao esgoto em todo o território nacional. Diante da limitação fiscal, a Lei nº 14.026/2020 trouxe novas diretrizes, ampliando as metas de cobertura e fomentando parcerias com a iniciativa privada (Brasil, 2019b).

O semiárido enfrenta desafios históricos relacionados à escassez hídrica, infraestrutura precária e desigualdades socioeconômicas (IPEA, 2020). A dependência de soluções alternativas, como poços, carros-pipa e cisternas, frequentemente expõe comunidades a riscos sanitários pela contaminação da água (FUNASA, 2019; Oliveira et al., 2020). Nesse contexto, surgiram modelos específicos de saneamento rural, como o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), inicialmente implantado na Bahia e no Ceará, com destaque para a expansão neste último estado a partir da década de 1990, que atualmente atende milhares de áreas rurais.

No Nordeste, e especialmente em Pernambuco, a escassez hídrica e a fragmentação da infraestrutura de abastecimento continuam a representar grandes obstáculos. O Sertão pernambucano exemplifica de forma clara a persistente violação do direito de acesso à água potável, com comunidades que dependem de sistemas precários ou de soluções emergenciais.

Diante dessa realidade, os governos estadual e federal têm implementado políticas e investimentos com foco no abastecimento rural. Segundo o *Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco (PROSAR/PE, 2025)*, entre as ações previstas estão a implantação de sistemas simplificados de abastecimento, perfuração de poços em rochas cristalinas, instalação de microssistemas e cisternas, além de adutoras rurais para integrar comunidades isoladas. O *Programa Águas de Pernambuco* também prevê adutoras rurais e incentiva arranjos comunitários de gestão da água, como formas de reduzir as desigualdades e assegurar melhores condições de vida à população rural pernambucana.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para este trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica e documental, com base em artigos científicos, dissertações e teses sobre a temática do abastecimento de água no Brasil, em especial no Semiárido. Foram consultadas também publicações acadêmicas, relatórios de órgãos públicos e governamentais, como a Fundação

Nacional de Saúde (FUNASA), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), além de legislações e planos nacionais de saneamento.

Complementarmente, recorreu-se a sítios eletrônicos oficiais que disponibilizam dados atualizados sobre cobertura e investimentos, a exemplo de programas federais e estaduais voltados para o acesso à água no meio rural, como a construção de adutoras, sistemas simplificados e cisternas.

Dada a limitação de espaço, o presente trabalho se concentra em apresentar um panorama geral da situação e das políticas voltadas ao abastecimento no contexto pernambucano, ficando para estudos posteriores um aprofundamento maior em análises de impacto e avaliações comparativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os levantamentos mais recentes indicam que Pernambuco apresenta um quadro misto: enquanto a cobertura de água tratada alcançou cerca de 87% da população em 2022, a coleta de esgoto permanece baixa, em torno de 34% (TCE-PE; Diário de Pernambuco, 2024). Esse descompasso evidencia que ganhos em acesso à água não se traduzem automaticamente em soluções integrais de saneamento, afetando especialmente a saúde ambiental e pública nas áreas rurais e periurbanas. A presença de rede de distribuição não garante regularidade do serviço, pressão adequada ou qualidade permanente da água. Em muitas áreas rurais, a intermitência é frequente, exigindo complementação por fontes alternativas. Assim, a cobertura nominal pode mascarar uma experiência real de insegurança hídrica.

O Censo 2022 e análises subsequentes mostram que Pernambuco é o estado com maior dependência de carro-pipa no país: aproximadamente 8,1% da população utiliza esse recurso como fonte principal em determinados recortes, e apenas 70,6% têm a rede geral como fonte principal — abaixo da média nacional (82,6%) — indicando fragilidade na cobertura e dependência de soluções emergenciais. Esses dados destacam a vulnerabilidade das populações rurais e a persistência de arranjos temporários ou assistenciais. A dependência de carros-pipa e poços superficiais tem implicações sanitárias significativas: o uso de fontes alternativas aumenta a probabilidade de contaminação por agentes biológicos e químicos, sobretudo quando não há rotinas de monitoramento, tratamento local ou manutenção adequada. Estudos

indicam que cisternas e poços no semiárido frequentemente apresentam água imprópria para consumo, especialmente durante períodos de estiagem (FUNASA 2019; Oliveira et al. 2020; IPEA 2020; Cirilo 2008).

O panorama do abastecimento de água em Pernambuco revela um quadro complexo, marcado por avanços pontuais e persistentes desigualdades territoriais. No meio urbano, os índices de cobertura são elevados: 92,6% da população tem acesso a serviços de abastecimento de água (SNIS, 2021; PROSAR/PE, 2025). No entanto, ao se observar a realidade rural, os números caem drasticamente. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SINISA 2024, referência 2023), apenas 37,34% da população rural possui abastecimento de água. Essa disparidade evidencia que os investimentos em infraestrutura ainda não se traduziram em melhorias efetivas para a população fora dos centros urbanos, majoritariamente localizada no Agreste e Sertão.

Levantamento da Plataforma de Saneamento Rural cadastrou cerca de 4.700 comunidades rurais, abrangendo uma população de 1,5 milhão de pessoas. A análise preliminar mostrou que 47% desses habitantes não têm acesso a sistemas de abastecimento de água e, entre esses, 74% sequer contam com fornecimento regular de caminhões-pipa. Esses dados confirmam a forte dependência de soluções emergenciais e assistenciais, que não oferecem segurança hídrica duradoura. Além do baixo índice de cobertura, a qualidade da água distribuída nos sistemas rurais é motivo de preocupação. Diagnóstico em 76 localidades revelou que 59% dos sistemas não realizam qualquer tipo de tratamento antes da distribuição; em 41%, a cloração é precária, muitas vezes com hipoclorito sem controle rigoroso; e em 33%, a água é apenas filtrada, sem monitoramento sistemático. Essa realidade compromete a potabilidade da água e expõe comunidades inteiras a doenças de veiculação hídrica.

Outro ponto estrutural crítico refere-se à disponibilidade hídrica do estado. Pernambuco apresenta a menor disponibilidade per capita do Brasil, cerca de 1.300 m³/hab/ano, valor inferior ao patamar mínimo de 1.500 m³/hab/ano estabelecido pela ONU para o desenvolvimento regional. A distribuição desigual agrava o problema: 80% da água disponível está concentrada no Litoral e Zona da Mata, enquanto o Agreste e Sertão, que representam 90% do território, contam com apenas 20% dos recursos hídricos. Essa configuração torna a vulnerabilidade do semiárido pernambucano ainda mais evidente (Cirilo, 2008; PROSAR/PE, 2025).

As perdas no sistema de distribuição também comprometem a eficiência. Documentos institucionais da COMPESA indicam índices elevados, motivando planos de investimento da ordem de R$ 2 bilhões até 2033, com meta de reduzir perdas para 25%. Em escala nacional, a média gira em torno de 37 a 38% (GO Associados; Trata Brasil, 2024). Essa ineficiência significa que parte significativa da água captada e tratada não chega ao consumidor, aumentando custos e limitando a expansão do serviço, especialmente em áreas rurais com maior custo marginal.

Como resposta a esse conjunto de desafios, o Estado estruturou o Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco (PROSAR/PE), financiado pelo Banco Mundial com recursos de US$ 113 milhões (US$ 90 milhões de empréstimo e US$ 23 milhões de contrapartida estadual). O objetivo é expandir sistemas rurais resilientes ao clima, ampliar soluções de esgotamento sanitário e fortalecer a gestão institucional. Estima-se que 53 mil pessoas sejam beneficiadas com novos sistemas de abastecimento e 43 mil com melhorias em esgotamento sanitário, representando acréscimos modestos de 3% e 2% nos índices de cobertura, respectivamente.

O PROSAR adota como eixo o modelo dos Sistemas Integrados de Saneamento Rural (SISARs), já aplicados em regiões como Moxotó, Sertão Central, Araripe, Alto Pajeú e São Francisco. O modelo aposta na gestão comunitária, em que associações locais são organizadas em federações regionais com suporte técnico e financeiro. Embora promissor para garantir sustentabilidade, enfrenta obstáculos como capacitação limitada, custos operacionais elevados e necessidade de maior engajamento comunitário. Ainda assim, os recursos do PROSAR só serão suficientes para atender cerca de 100 comunidades rurais, frente às 207 comunidades elegíveis identificadas. Isso significa que boa parte da demanda continuará sem atendimento, reforçando a urgência de ampliar investimentos e integrar políticas públicas com fontes complementares, como programas federais e parcerias municipais.

Outro fator estrutural é a dependência de grandes barragens: aproximadamente 90% da água para consumo humano em Pernambuco provém desses reservatórios. A fragilidade na gestão e manutenção representa risco significativo de descontinuidade do abastecimento, sobretudo em períodos de seca prolongada. Em comparação com outros estados do Nordeste, o quadro do abastecimento rural em Pernambuco posiciona-se entre os mais críticos. No Ceará, por exemplo, o Sistema SISAR beneficia cerca de 35% da população rural, consolidando-se

como estratégia bem-sucedida (Governo do Ceará, 2020). Em 2022, apenas 49,1% dos domicílios rurais cearenses estavam conectados à rede pública encanada, enquanto 50,9% dependiam de fontes alternativas como poços, açudes e carros-pipa (Diário do Nordeste, 2023). Já no Piauí, apenas 32,3% dos domicílios rurais dispõem de acesso à rede geral (Assembleia Legislativa do Piauí, 2023). A Bahia, embora apresente heterogeneidade entre regiões, tem avançado em alguns municípios com cobertura superior a 50% em áreas rurais, mas ainda mantém bolsões de precariedade, especialmente no semiárido (SNIS, 2021).

Essa comparação demonstra que, embora Pernambuco não esteja isolado em suas dificuldades, seu desempenho permanece inferior em relação a alguns vizinhos — como o Ceará — que adotaram modelos alternativos de gestão, resultando em maior regularidade e participação comunitária. A situação de Pernambuco evidencia a urgência de acelerar programas estruturantes e buscar experiências bem-sucedidas na região que possam ser replicadas e adaptadas à realidade local.

Por fim, cabe discutir o impacto da concessão parcial da COMPESA, que prevê a manutenção da captação e tratamento sob controle estatal, mas a transferência da distribuição de água e coleta de esgoto para a iniciativa privada, em contratos de longo prazo. Embora a medida possa atrair investimentos e aumentar a eficiência, há riscos de priorização de áreas urbanas mais rentáveis em detrimento das zonas rurais e de baixo retorno financeiro. O risco de aumento tarifário e de subinvestimento em localidades remotas é real, caso não haja cláusulas contratuais de universalização e mecanismos de subsídio cruzado. Experiências nacionais e internacionais mostram que modelos de concessão só são bem-sucedidos quando combinados com regulação forte, metas claras de cobertura rural e monitoramento social efetivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou que o abastecimento de água em áreas rurais de Pernambuco permanece como um dos maiores desafios para a efetivação do direito humano à água, com cobertura limitada, qualidade comprometida e forte dependência de soluções emergenciais. Embora programas estruturantes como o **Águas de Pernambuco** e o **PROSAR** representem avanços importantes, os resultados mostram que os impactos ainda são incipientes diante da magnitude da demanda. Observou-se também que, em comparação com outros

estados do Nordeste, Pernambuco apresenta desempenho inferior em alguns indicadores, sobretudo quando considerada a regularidade do abastecimento e a participação comunitária na gestão dos sistemas. Nesse contexto, recomenda-se a ampliação dos investimentos em infraestrutura, a redução de perdas na distribuição, o fortalecimento de arranjos de gestão local e a definição de marcos regulatórios robustos, especialmente diante da perspectiva de concessão parcial da **COMPESA**. Sugere-se, ainda, que estudos futuros aprofundem a avaliação da sustentabilidade dos modelos implantados e explorem alternativas inovadoras, como tecnologias de dessalinização com energia renovável e estratégias de governança participativa, capazes de garantir maior resiliência ao abastecimento rural no semiárido pernambucano.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida ao autor segundo autor e apoio a participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assembleia Legislativa do Piauí. 2023. “Três em cada dez domicílios não contam com rede de esgoto — Em relação ao acesso à água própria para o consumo humano….” Teresina. Acesso em 20 setembro 2025. https://www.al.pi.leg.br/tv/noticias-tv-1/tres-em-cada-dez-domicilios-nao-contam-com-rede-de-esgoto.

Brasil. 2007. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*. Diário Oficial da União, Brasília.

Brasil. 2019. *Projeto de Lei nº 4.162, de 2 de agosto de 2019. Altera a Lei nº 9.984/2000 e institui o novo marco legal do saneamento básico*. Brasília: Congresso Nacional.

Brasil. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico*. Diário Oficial da União, Brasília.

Cirilo, José Almir. 2008. *A Questão da Água no Semiárido Brasileiro*. Recife: Editora Universitária UFPE.

Cirilo, J. A. 2008. “Política de Recursos Hídricos e Gestão de Águas Subterrâneas no Semiárido.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 13 (3): 5–14.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. 2023. *Relatório Integrado 2023*. Recife: COMPESA.Diário de Pernambuco. 2024. “Em Pernambuco, 87% da população tem acesso à água tratada, mas coleta de esgoto só chega a 34%.” Recife, 3 dezembro.

Diário do Nordeste. 2023. "Metade dos domicílios na zona rural do Ceará não tem acesso à rede pública de distribuição de água." Fortaleza, 18 junho. Acesso em 20 setembro 2025. https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/metade-dos-domicilios-na-zona-rural-do-ceara-nao-tem-acesso-a-rede-publica-de-distribuicao-de-agua-1.3382111.

Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). 2019. *Manual de Saneamento*. 4ª ed. Brasília: FUNASA.

GO Associados; Instituto Trata Brasil. 2024. *Perdas de Água Potável no Brasil: desafios para eficiência do saneamento*. São Paulo: Trata Brasil.

Governo do Ceará. 2020. "Sistema Integrado de Saneamento Rural beneficia 35% da população rural do Ceará." Fortaleza, 29 janeiro. Acesso em 20 setembro 2025. https://www.ceara.gov.br/2020/01/29/sistema-integrado-de-saneamento-rural-transforma-realidade-do-sertao/.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2023. *Censo Demográfico 2022: características gerais da população e dos domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). 2020. *Atlas do Saneamento no Brasil*. Brasília: IPEA.

Moraes, L. R. S. de. 2014. "Saneamento básico e saúde: uma análise da situação brasileira." *Revista Ciência & Saúde Coletiva* 19 (9): 3753–3764.

Oliveira, A. C., J. P. Costa, e A. F. Lima. 2020. "Acesso à água potável no Semiárido: riscos e vulnerabilidades." *Revista Brasileira de Saúde Ambiental* 7 (2): 44–56.

ONU – Organização das Nações Unidas. 2010. *Resolução da Assembleia Geral nº 64/292: O direito humano à água e ao saneamento*. Nova Iorque: ONU.

Pernambuco. 2025. *Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco – PROSAR/PE. Relatório de Projeto*. Recife: Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento.

Rodrigues, M. A., e D. R. Costa. 2023. "Política de saneamento básico e universalização no Brasil: avanços e impasses." *Revista Brasileira de Políticas Públicas* 13 (1): 45–62.

Sarlet, Ingo W., e Tiago F. Fensterseifer. 2011. *Direitos Fundamentais e Proteção do Ambiente*. Porto Alegre: Livraria do Advogado.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). 2022. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2021*. Brasília: Ministério das Cidades.

Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco (TCE-PE). 2024. *Relatório sobre saneamento e abastecimento no Estado de Pernambuco*. Recife: TCE-PE.

UN-Water. 2023. *United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water*. Paris: UNESCO.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036785

ÁGUA SUBTERRÂNEA E SEGURANÇA HÍDRICA: ANÁLISE DE POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO JARDIM-PE

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SEGURIDAD HÍDRICA: ANÁLISIS DE POZOS TUBULARES EN EL MUNICIPIO DE BELO JARDIM-PE

GROUNDWATER AND WATER SECURITY: ANALYSIS OF TUBULAR WELLS IN THE MUNICIPALITY OF BELO JARDIM-PE

Renan Bezerra Rosa[1], Sabrina Dafyne Soares Araújo[2], Silvanete Severino da Silva[3] e Taiza Karla Alves Souza[4].

[1]Graduando, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, renan.bezerra@ufrpe.br, 0009-0001-7578-567X;
[2]Graduanda, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, sabrina.dafyne@ufrpe.br, 0009-0006-8927-0630;
[3]Docente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;
[4]Docente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, taiza.alvessouza@ufrpe.br, 0000-0001-9298-1173.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Águas subterrâneas.

Eje Temático 03 – Tecnologías de suministro de agua
Agua subterránea.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a vazão e a condutividade elétrica de poços tubulares para abastecimento doméstico em Belo Jardim, Pernambuco, utilizando dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). A pesquisa, exploratória e descritiva, focou na importância da água subterrânea em regiões semiáridas e na sustentabilidade hídrica local. O desenvolvimento metodológico envolveu a seleção de 13 poços, de 109 cadastrados, com informações completas de vazão e condutividade elétrica para consumo doméstico. Foram utilizados dados do IBGE, MapBiomas Brasil e Instituto Água e Saneamento, com processamento cartográfico via QGIS. A análise dos parâmetros de qualidade da água baseou-se em documentos técnicos do Ministério da Saúde e na Portaria GM/MS nº 888/2021. Os desafios encontrados revelaram que a maioria dos poços analisados apresentou níveis de condutividade elétrica (CE) que ultrapassam significativamente os limites recomendados. Foram registrados valores que atingiram 17.420 µS/cm, em contraste com a faixa ideal de 50 a 500 µS/cm e o limite sugerido de 1.000 µS/cm pela OMS e Ministério da Saúde. Essa elevada salinidade aponta para uma alta concentração de sais dissolvidos, tornando a água imprópria para o consumo humano direto sem tratamento. A CE elevada pode indicar contaminação por poluentes químicos e microrganismos patogênicos, especialmente em áreas com intensa atividade antrópica. Os principais resultados demonstraram que, embora a vazão total dos 13 poços represente apenas 0,64% do abastecimento geral do município (47,92 m³/h), sendo 28,46 m³/h no meio rural e 19,46 m³/h no meio urbano, esses recursos são vitais para as comunidades que deles dependem. A análise de uso e ocupação do solo revelou que seis poços estão em área

rural (predominantemente pastagem) e sete em área urbana (zona urbanizada), indicando a dependência de poços em ambas as regiões. A dependência de poços com alta CE expõe a população a riscos de saúde a longo prazo. O estudo reforça a necessidade de se intensificar o monitoramento e implementar soluções de tratamento para garantir a segurança hídrica em Belo Jardim-PE.

Palavras-chave: Água subterrânea, Recursos hídricos, Semiárido, Abastecimento doméstico, hidrogeoprocessamento

RESÚMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el caudal y la conductividad eléctrica de pozos tubulares para el suministro de agua doméstica en Belo Jardim, Pernambuco, utilizando datos del Sistema de Información de Aguas Subterráneas (SIAGAS). La investigación exploratoria y descriptiva se centró en la importancia de las aguas subterráneas en regiones semiáridas y la sostenibilidad hídrica local. El desarrollo metodológico implicó la selección de 13 pozos, de 109 registrados, con información completa sobre caudal y conductividad eléctrica para consumo doméstico. Se utilizaron datos del IBGE, MapBiomas Brasil y el Instituto de Agua y Saneamiento, con procesamiento cartográfico vía QGIS. El análisis de los parámetros de calidad del agua se basó en documentos técnicos del Ministerio de Salud y la Ordenanza GM/MS No. 888/2021. Los desafíos encontrados revelaron que la mayoría de los pozos analizados tenían niveles de conductividad eléctrica (CE) que superan significativamente los límites recomendados. Los valores alcanzaron 17.420 µS/cm, en contraste con el rango ideal de 50 a 500 µS/cm y el límite de 1.000 µS/cm sugerido por la OMS y el Ministerio de Salud. Esta alta salinidad indica una alta concentración de sales disueltas, lo que hace que el agua no sea apta para el consumo humano directo sin tratamiento. Una CE alta puede indicar contaminación por contaminantes químicos y microorganismos patógenos, especialmente en áreas con intensa actividad humana. Los principales resultados demostraron que, si bien el caudal total de los 13 pozos representa solo el 0,64% del suministro general de agua del municipio (47,92 m³/h), 28,46 m³/h en zonas rurales y 19,46 m³/h en zonas urbanas, estos recursos son vitales para las comunidades que dependen de ellos. El análisis del uso y la ocupación del suelo reveló que seis pozos se encuentran en zonas rurales (predominantemente pastizales) y siete en zonas urbanas (zonas urbanizadas), lo que indica la dependencia de pozos en ambas regiones. La dependencia de pozos con alta CE expone a la población a riesgos para la salud a largo plazo. El estudio refuerza la necesidad de intensificar el monitoreo e implementar soluciones de tratamiento para garantizar la seguridad hídrica en Belo Jardim, Pernambuco.

Palabras clave: Aguas subterráneas, Recursos hídricos, Región semiárida, Abastecimiento doméstico, Hidrogeoprocesamiento

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the flow rate and electrical conductivity of tubular wells for domestic water supply in Belo Jardim, Pernambuco, using data from the Groundwater Information System (SIAGAS). The exploratory and descriptive research focused on the importance of groundwater in semiarid regions and local water sustainability. The

methodological development involved the selection of 13 wells, out of 109 registered, with complete information on flow rate and electrical conductivity for domestic consumption. Data from IBGE, MapBiomas Brasil, and the Water and Sanitation Institute were used, with cartographic processing via QGIS. The analysis of water quality parameters was based on technical documents from the Ministry of Health and Ordinance GM/MS No. 888/2021. The challenges encountered revealed that most of the wells analyzed had electrical conductivity (EC) levels that significantly exceed the recommended limits. Values reached 17,420 µS/cm, in contrast to the ideal range of 50 to 500 µS/cm and the limit of 1,000 µS/cm suggested by the WHO and the Ministry of Health. This high salinity indicates a high concentration of dissolved salts, making the water unsuitable for direct human consumption without treatment. A high EC may indicate contamination by chemical pollutants and pathogenic microorganisms, especially in areas with intense human activity. The main results demonstrated that, although the total flow of the 13 wells represents only 0.64% of the municipality's general water supply (47.92 m^3/h), 28.46 m^3/h in rural areas and 19.46 m^3/h in urban areas, these resources are vital for the communities that depend on them. The land use and occupation analysis revealed that six wells are in rural areas (predominantly pasture) and seven in urban areas (urbanized zones), indicating the dependence on wells in both regions. Reliance on wells with high EC exposes the population to long-term health risks. The study reinforces the need to intensify monitoring and implement treatment solutions to ensure water security in Belo Jardim, Pernambuco.

Keywords: Groundwater, Water resources, Semi-arid region, Domestic supply, Hydrogeoprocessing

INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso vital globalmente, especialmente em regiões de escassez hídrica. Poços tubulares são cruciais para abastecimento doméstico, agricultura e indústria, impactando a saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico, sobretudo no meio rural, onde a subsistência depende da qualidade da água (Lopes et al. 2020). A exploração desordenada e a falta de monitoramento comprometem a sustentabilidade, levando à redução da vazão e à deterioração da qualidade, como o aumento da condutividade elétrica por sais e contaminantes (Amaral, Ferreira e Nanoni 2021).

Regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, são vulneráveis devido à irregularidade das chuvas e alta evaporação, intensificando a dependência de fontes subterrâneas. No meio rural semiárido, a água subterrânea é vital para consumo humano, animal e irrigação, garantindo a segurança alimentar e a permanência no campo. Monitorar continuamente a vazão e a condutividade elétrica é essencial para assegurar um abastecimento seguro e sustentável, pois a condutividade indica salinidade e íons dissolvidos, afetando a potabilidade e o uso agrícola/animal (Gurgel et al. 2024).

O município de Belo Jardim, localizado no estado de Pernambuco, insere-se nesse contexto de desafios hídricos. A compreensão das características hidrogeológicas locais e o monitoramento dos poços tubulares são essenciais para subsidiar políticas públicas eficazes de gestão dos recursos hídricos. Ferramentas como o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), desempenham um papel crucial ao centralizar dados que podem ser utilizados para análises detalhadas e tomadas de decisão.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a vazão dos poços tubulares utilizados para abastecimento doméstico e analisar suas respectivas condutividades elétricas, com base nos dados cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), no município de Belo Jardim, Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme Gil (2017), esta pesquisa é classificada como de natureza exploratória e descritiva, uma vez que utiliza conhecimentos de uma ferramenta já existente, visando aprofundar o entendimento do fenômeno estudado e descreve os resultados obtidos.

Local de Estudo

A pesquisa foi conduzida no município de Belo Jardim, localizado no estado de Pernambuco, conforme ilustrado na Figura 1. O município está situado na Mesorregião do Agreste Pernambucano e na Microrregião do Vale do Ipojuca, estando inserido nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe e Ipojuca, que abrangem cerca de 63% e 37% de sua área territorial, respectivamente.

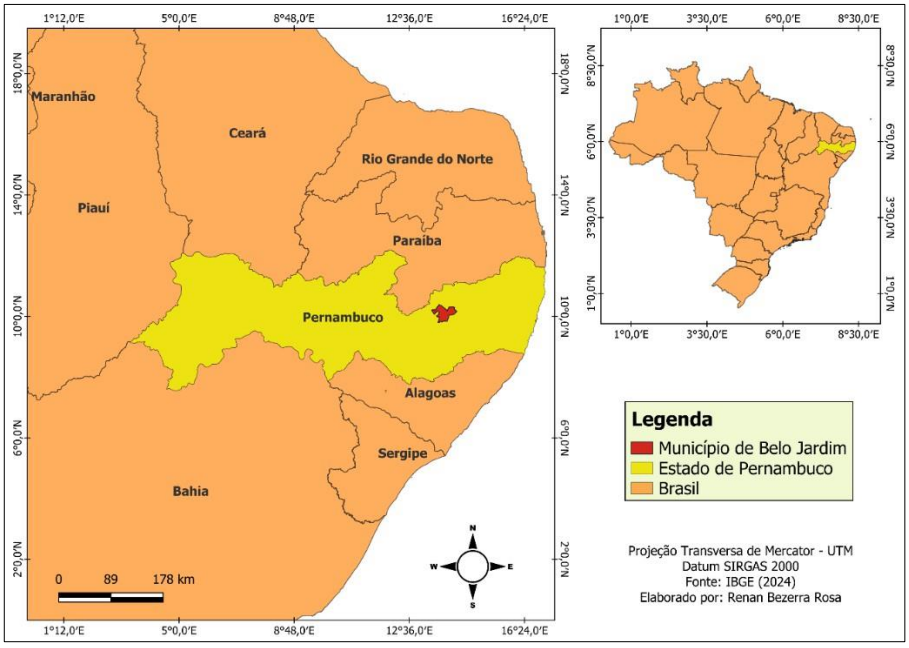


Figura 1. Localização geográfica do município de Belo Jardim, Pernambuco.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O município possui uma população de 79.507 habitantes e apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,629. No contexto econômico regional, destaca-se por deter o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) da Microrregião, ficando atrás apenas de Caruaru, o que reforça sua relevância socioeconômica no cenário pernambucano (IBGE 2022).

Obtenção de Dados

Para a elaboração do mapa de localização do município foi utilizado dados procedentes do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), e baixados em formato shapefile. Por outro lado, para o mapa de Uso e Ocupação, utilizou-se dados em formato GeoTiff provenientes do MapBiomas Brasil. O processamento e análise dos dados cartográficos foram realizados utilizando o software de geoprocessamento QGIS, na versão 3.34.5. Para as classes de uso e ocupação foi utilizado o Códigos das classes da legenda da Coleção 10 do MapBiomas Brasil.

As informações referentes aos poços cadastrados foram obtidas junto ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), gerido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Os dados relativos às formas de abastecimento de água do município foram consultados no Instituto Água e Saneamento. Já os parâmetros de condutividade elétrica, bem como os critérios de potabilidade da água, foram estabelecidos a partir de documentos técnicos do

Ministério da Saúde e da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

Coleta e Seleção de Dados

Inicialmente, a pesquisa no SIAGAS identificou um total de 109 poços tubulares cadastrados no município de Belo Jardim. Contudo, para atender aos objetivos específicos deste estudo, foi necessário aplicar critérios de seleção. Desse total, apenas 20 poços foram identificados como sendo utilizados para abastecimento doméstico ou para múltiplos usos que incluíam o doméstico. A priorização de poços com uso doméstico é fundamental para a análise da potabilidade e da segurança hídrica para a população.

Após essa primeira filtragem, uma análise mais aprofundada revelou que, dos 20 poços selecionados, somente 13 possuíam informações completas e consistentes tanto de vazão quanto de condutividade elétrica. A completude dos dados é um requisito essencial para a realização de análises quantitativas e comparativas. Portanto, esses 13 poços foram os que efetivamente foram submetidos às análises detalhadas apresentadas neste artigo, garantindo a robustez e a confiabilidade dos resultados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise dos 13 poços tubulares selecionados no município de Belo Jardim-PE, com informações completas de vazão e condutividade elétrica, são apresentados no Quadro 1. Este quadro detalha a localidade, o uso da água, a vazão (m^3/h) e a condutividade elétrica (µS/cm) para cada poço, segregando-os por zona rural e urbana.

Quadro 1. Informações dos poços analisados do município de Belo Jardim-PE.

Localidade	Uso da água	Vazão (m^3/h)	Condutividade elétrica (µS/cm)
Zona rural			
Sítio Cavalo Morto	Abastecimento doméstico	6,71	13460
Fazenda Lagoa da Chave	Abastecimento doméstico	7,20	9980
Sítio Salobro de Cima	Abastecimento doméstico	12,00	4460
Sítio Salobro de Cima	Abastecimento doméstico	1,05	3010
Sítio Bola I	Abastecimento doméstico	0,75	16500
Sítio Batinga de Baixo	Abastecimento doméstico	0,75	17420
Zona urbana			

Parque do Bambu	Abastecimento doméstico	5,53	4810
Floresta - BR 232	Abastecimento doméstico	0,18	5170
Bairro do Tambor	Abastecimento doméstico	2,05	1529
Bairro Lagoa	Abastecimento doméstico	2,66	2560
Bairro Chorão	Abastecimento doméstico	3,85	1990
Vila Dr. Fernando de Abreu (Igreja)	Abastecimento doméstico	0,34	2420
Rua da Jurema	Abastecimento doméstico	4,85	2630

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Ao analisar os dados do Quadro 1, observa-se uma grande variação nos valores de condutividade elétrica (CE) entre os poços de Belo Jardim-PE. Na zona rural, o Sítio Cavalo Morto apresenta uma CE de 13460 µS/cm, a Fazenda Lagoa da Chave 9980 µS/cm, o Sítio Bola I 16500 µS/cm e o Sítio Batinga de Baixo 17420 µS/cm. Todos esses valores estão significativamente acima do limite de 1.000 µS/cm, indicando que a água desses poços possui uma alta concentração de sais dissolvidos, o que a torna imprópria para consumo humano direto sem tratamento prévio.

A condutividade elétrica é um parâmetro físico-químico importante para avaliar a qualidade da água, pois indica a concentração total de íons dissolvidos. Valores elevados de CE podem sugerir a presença de sais e outros minerais em concentrações que podem afetar a potabilidade da água, seu sabor e até mesmo a saúde humana a longo prazo. No Brasil, a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, não estabelece um limite máximo específico para a condutividade elétrica. No entanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o próprio Ministério da Saúde, em documentos complementares e recomendações técnicas, sugerem que a condutividade da água para consumo humano não ultrapasse 1.000 µS/cm, sendo que valores ideais geralmente se situam entre 50 e 500 µS/cm (Ministério da Saúde 2006).

Em contraste, os poços do Sítio Salobro de Cima (4460 µS/cm e 3010 µS/cm) também apresentam valores elevados, mas ligeiramente inferiores aos demais poços rurais de alta salinidade. Na zona urbana, o Parque do Bambu (4810 µS/cm) e Floresta - BR 232 (5170 µS/cm) também exibem condutividades elétricas que excedem o limite de potabilidade. Por outro lado, os poços do Bairro do Tambor (1529 µS/cm), Bairro Lagoa (2560 µS/cm), Bairro Chorão (1990 µS/cm), Vila Dr. Fernando de Abreu (Igreja) (2420 µS/cm) e Rua da Jurema (2630 µS/cm) apresentam valores de CE mais baixos em comparação com os poços rurais e alguns urbanos, mas ainda assim superiores ao limite de 1.000 µS/cm. Isso sugere que, embora a qualidade da água seja relativamente melhor nesses locais, ela ainda pode não ser considerada ideal para consumo humano sem algum tipo de tratamento para redução da salinidade ou monitoramento contínuo.

Em relação à vazão, os 13 poços analisados, que são utilizados para abastecimento doméstico, somam uma vazão total de 47,92 m³/h. Segundo o Instituto Água e Saneamento (2022), essa vazão representa uma pequena parcela do abastecimento total do município de Belo Jardim, correspondendo a apenas 0,64%. A distribuição dessa vazão mostra que o meio rural detém 28,46 m³/h (0,38), enquanto o meio urbano contribui com 19,46 m³/h (0,26%). Esses números evidenciam que os poços tubulares, embora cruciais para as comunidades que os utilizam, não são a principal fonte de abastecimento para a maioria da população do município.

De acordo com Instituto Água e Saneamento (2022), a maior parte da população do município, composta por 70.267 habitantes (88,5%), é atendida pela rede geral de distribuição de água. Uma parcela significativamente menor, de 512 habitantes (0,64%), utiliza poço profundo ou artesiano como fonte de abastecimento, o que corrobora a baixa representatividade da vazão total dos poços analisados no contexto municipal. Além disso, 709 habitantes (0,89%) são atendidos por poço raso, freático ou cacimba, e 648 habitantes (0,82%) utilizam outras formas de abastecimento. Esses dados reforçam a ideia de que, embora a rede geral seja a principal provedora, os poços tubulares e outras fontes alternativas são vitais para parcelas específicas da população.

A partir da análise de uso e ocupação do solo, verificou-se que seis poços encontram-se localizados em área rural, predominantemente destinada a pastagem, enquanto sete poços situam-se em área urbana, classificada no mapa como zona urbanizada, conforme apresentado na Figura 2. Essa distribuição indica que tanto as áreas rurais quanto as urbanas dependem, em alguma medida, dos poços tubulares para o abastecimento doméstico. A presença de poços com alta condutividade elétrica em ambas as zonas ressalta a necessidade de monitoramento e intervenção em todo o território municipal.

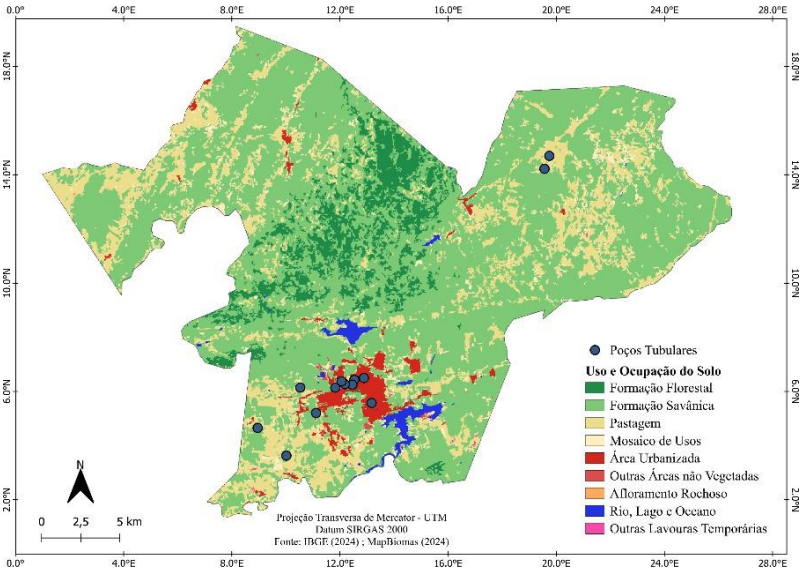


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo com sobreposição dos poços tubulares do município de Belo Jardim, Pernambuco.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A localização dos poços em áreas com diferentes padrões de uso e ocupação do solo exerce influência direta sobre a qualidade da água subterrânea. Em regiões rurais, práticas agrícolas e pecuárias podem introduzir contaminantes como nitratos, pesticidas e coliformes fecais nos aquíferos, enquanto em zonas urbanas e industriais, o lançamento inadequado de

esgoto e resíduos químicos representa uma ameaça constante à integridade dos recursos hídricos. Quando Schultz et al. (2025) avaliaram a qualidade da água destinada ao consumo humano frente a caracterização do entorno de poços artesianos localizados em áreas rurais de um município da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Os autores supracitados revelaram que a proximidade de poços com atividades humanas, como residências, cemitérios e lavouras, compromete significativamente os parâmetros microbiológicos da água, evidenciando a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação antrópica.

Diante desse cenário, torna-se essencial que a gestão dos recursos hídricos subterrâneos incorpore estratégias específicas para cada contexto territorial. A integração entre áreas de proteção de poços, mapas de vulnerabilidade dos aquíferos e o monitoramento do uso e cobertura do solo é uma abordagem eficaz para mitigar riscos e garantir a segurança hídrica. O estudo de caso de Mira et al. (2017) sobre a integração entre áreas de proteção de poços, vulnerabilidade de aquíferos e uso e cobertura do solo como plano de gestão de recursos hídricos em poços do município de Seropédica-RJ. Os autores supramencionados concluíram que a aplicação do método de raio fixo, aliado à análise espacial do entorno dos poços, permite identificar zonas críticas e orientar políticas públicas voltadas à preservação da água subterrânea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam uma preocupante realidade em Belo Jardim-PE, onde a maioria dos poços tubulares analisados, essenciais para o abastecimento doméstico, apresenta níveis de condutividade elétrica significativamente acima dos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Ministério da Saúde. Valores que chegam a 17.420 µS/cm contrastam drasticamente com a faixa ideal de 50 a 500 µS/cm e o limite sugerido de 1.000 µS/cm, indicando uma alta concentração de sais dissolvidos.

Apesar da vazão total dos poços analisados representar uma pequena parcela do abastecimento geral do município (apenas 0,64%), com o meio rural detendo 28,46 m³/h e o urbano 19,46 m³/h, esses recursos são vitais para as comunidades que os utilizam, especialmente em áreas onde a rede pública não alcança ou é deficiente. A dependência de poços com tais características expõe a população a potenciais riscos de saúde a longo prazo, tornando imperativa a implementação de medidas corretivas. Adicionalmente, a condutividade elétrica elevada pode ser um indicativo de contaminação por poluentes químicos e a presença de microrganismos patogênicos, especialmente em áreas com atividades antrópicas que comprometem a qualidade da água subterrânea.

Diante desse cenário, é fundamental que as autoridades de saúde e saneamento locais intensifiquem os programas de monitoramento da qualidade da água, forneçam alternativas de

abastecimento seguras ou implementem soluções de tratamento eficazes para a redução da salinidade. A gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve integrar estratégias específicas para cada contexto territorial, considerando a vulnerabilidade dos aquíferos e o uso do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, K.; Ferreira, D. M.; Navoni, J. A. 2021. "Avaliação das águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte: qualidade e impactos sob atividades agropecuárias de subsistência." *Águas Subterrâneas*, v. 35, n. 3, e-30077. https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30077.

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

Gil, A. C. (2017). "Como elaborar projetos de pesquisa." 2. reimpr. 6. ed. – São Paulo: Atlas.

Instituto Água e Saneamento. 2022. "Municípios e Saneamento." Acedido a 26 de setembro de 2025. https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pe/belo-jardim.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. "Cidades e Estados." Acedido a 24 de setembro de 2025. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html.

Lopes, J. R. A. et al. 2020. "Águas subterrâneas como alternativa de subsistência em uma comunidade rural no semiárido brasileiro." *Águas Subterrâneas*, v. 34, n. 2. https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29889.

Mira, T.; Lousada, G.; Tubbs Filho, D.; Mota de Sousa, G. 2017. "Integração entre Áreas de Proteção de Poços, Vulnerabilidade de Aquíferos e Uso e Cobertura do Solo como Plano de Gestão de Recursos Hídricos: Um Estudo de Caso dos Poços de Seropédica/RJ." *Revista Continentes* (UFRRJ), ano 6, n. 10. https://doi.org/10.51308/continentes.v1i17.

Schultz, A. M. B.; Colet, C. F.; Carbonera, R.; Fachinetto, J. M. 2025. "Qualidade da água destinada ao consumo humano frente a caracterização do entorno de poços artesianos localizados em áreas rurais de um município da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul." *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 16, n. 1. https://doi.org/10.7769/gesec.v16i1.4575.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036855

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O CONTEXTO GEOLÓGICO E A QUALIDADE FISICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE PUXINANÃ–PARAÍBA

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE GEOLOGICAL CONTEXT AND THE PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF GROUNDWATER IN THE MUNICIPALITY OF PUXINANÃ – PARAÍBA

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL CONTEXTO GEOLÓGICO Y LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL MUNICIPIO DE PUXINANÃ – PARAÍBA

Pedro Lucas Nunes da Silveira[1], Camila Pereira da Silva[2], Francisco de Assis da Silveira Gonzaga[3] e Rui de Oliveira[4*].

[1]Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, Pedro.lucas@ifpb.edu.br, https://orcid.org/0009-0002-1482-0168;

[2]Estudante de Especialização em Gestão Ambiental de Municípios, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, camilasilva.cs@academico.ifpb.edu.br, https://orcid.org/0009-0004-8625-3195;

[3] Doutorado em Engenharia de Processos, IFPB, Campina Grande, Brasil, Francisco.gonzaga@ifpb.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-6975-0315;

[4]*(In memoriam)PhD em Engenharia Civil - Leeds University, UEPB, Campina Grande, Brasil, Ruideo@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1972-9809.

RESUMO

A modernização das práticas de exploração de recursos hídricos em regiões semiáridas enfrentadesafios relacionados à disponibilidade e qualidade da água subterrânea. Esteestudo teve comoobjetivo mapear a distribuição espacial da água subterrânea no município de Puxinanã, Paraíba,e correlacioná-la com as características geológicas locais. Apesquisa incluiu a análise dosindicadores físico-químicos da água em 30 poços e aidentificação dos lineamentos estruturaispredominantes, como as fraturas litológicas que influenciam a recarga e circulação nos aquíferoscristalinos. A microbacia do Bodocongóapresentou maior heterogeneidade nos parâmetros dequalidade da água, sugerindoinfluência de fontes de contaminação, enquanto Mamanguapedemonstrou maior estabilidade, com valores dentro das normas estabelecidas pela legislaçãobrasileira. Amicrobacia do Catolé, por sua vez, foi caracterizada por condições adversas,destacando a necessidade de novos levantamentos. Os resultados reforçam a importância dosestudoshidrogeoquímicos e estruturais para uma gestão sustentável dos recursos hídricos,especialmente em regiões semiáridas, onde fatores climáticos, litológicos e estruturaisdesempenham papel crucial na qualidade e disponibilidade das águas subterrâneas.

Palavras clave: Água subterrânea; Análise físico-química; Hidrogeologia; Litologia.

ABSTRACT

The modernization of water resource management in semi-arid regions faces significant challenges related to the availability and quality of groundwater. This study aimed to map the spatial distribution of groundwater in the municipality of Puxinanã, Paraíba, and examine its relationship with local geological features. The research involved analyzing physicochemical parameters from 30 wells and identifying predominant structural lineaments, including lithological fractures that govern recharge and flow in crystalline aquifers. The Bodocongó microbasin showed greater variability in water quality, indicating potential contamination sources, whereas Mamanguape exhibited more stable conditions, with values within the limits established by Brazilian legislation. In contrast, the Catolé microbasin presented adverse conditions, emphasizing the need for additional surveys. These findings highlight the critical role of hydrogeochemical and structural analyses in the sustainable management of water resources, particularly in semi-arid regions, where climatic, lithological, and structural factors strongly influence groundwater quality and availability.

Keywords: Groundwater; Physicochemical analysis; Hydrogeology; Lithology.

RESUMEN

La modernización de las prácticas de explotación de recursos hídricos en regiones semiáridas enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad y la calidad del agua subterránea. Este estudio tuvo como objetivo mapear la distribución espacial del agua subterránea en el municipio de Puxinanã, Paraíba, y correlacionarla con las características geológicas locales. La investigación incluyó el análisis de los indicadores físico-químicos del agua en 30 pozos y la identificación de los lineamientos estructurales predominantes, como las fracturas litológicas que influyen en la recarga y circulación de los acuíferos cristalinos. La microcuenca de Bodocongó presentó mayor heterogeneidad en los parámetros de calidad del agua, sugiriendo influencia de fuentes de contaminación, mientras que Mamanguape mostró mayor estabilidad, con valores dentro de las normas establecidas por la legislación brasileña. Por su parte, la microcuenca de Catolé se caracterizó por condiciones adversas, destacando la necesidad de nuevos levantamientos. Los resultados refuerzan la importancia de los estudios hidrogeoquímicos y estructurales para una gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en regiones semiáridas, donde los factores climáticos, litológicos y estructurales desempeñan un papel crucial en la calidad y disponibilidad del agua subterránea.

Palabras clave: Agua subterránea; Análisis físico-químico; Hidrogeología; Litología.

INTRODUÇÃO

A Paraíba, estado localizado na região Nordeste do Brasil, possui 86,99% de seus 223 municípios situados na zona semiárida, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). Esta área é marcada pela irregularidade das chuvas e períodos de

seca prolongada, fatores que, aliados à gestão inadequada dos recursos hídricos durante os períodos de escassez, resultam em um balanço hídrico desfavorável. Nesse contexto, o município de Puxinanã, com uma área de 71,118 km² e população estimada em 13.801 habitantes (IBGE, 2022), reflete os desafios enfrentados pela região. Apesar de abrigar o reservatório Evaldo Gonçalves, com capacidade máxima de 802.684 m³, o município registrou níveis inferiores a 1% entre 2015 e 2022 (AESA, 2023), destacando a vulnerabilidade hídrica local. Como alternativa ao abastecimento deficitário, a perfuração de poços tubulares tem se mostrado uma solução para suprir as necessidades básicas e fomentar atividades socioeconômicas (Ramos & Silva, 2022).

A disponibilidade e qualidade das águas subterrâneas, no entanto, são fortemente influenciadas por fatores geológicos e climáticos, incluindo baixa recarga dos aquíferos, dissolução de minerais e exploração excessiva. A geologia local, caracterizada por solos superficiais e rochosos com baixa drenagem, condiciona o armazenamento em aquíferos cristalinos, tornando as fraturas essenciais como condutos de recarga e circulação de água (Carvalho et al., 2022; Pinheiro et al., 2018; Costa et al., 2022).

Diante desse cenário, análises hidrogeoquímicas detalhadas e mapeamentos de suscetibilidade à contaminação são fundamentais para a gestão sustentável dos recursos hídricos (Borba et al., 2022). Este estudo teve como objetivo mapear a distribuição espacial da água subterrânea em Puxinanã, relacionando-a à geologia local, comparar indicadores físico-químicos e avaliar a capacidade de recarga dos aquíferos nas diferentes microbacias, visando compreender as variações qualitativas e quantitativas em função do contexto geológico e climático da região.

MATERIAS E MÉTODOS:

O estudo foi realizado no município de Puxinanã, com foco nas microbacias locais e sua influência sobre a qualidade da água subterrânea. As microbacias foram demarcadas para identificar unidades de drenagem relevantes, considerando suas características geológicas e hidrológicas. Os pontos de amostragem foram definidos a partir de poços georreferenciados obtidos junto à CPRM e CDRM, complementados com mapas litoestratigráficos, e georreferenciados no QGIS. A análise estrutural incluiu a identificação de lineamentos preferenciais e construção de diagramas de roseta com dados topográficos do INPE,

utilizando os softwares CATALISTY e QGIS. Por fim, a hidrogeoquímica das águas foi avaliada com base nos parâmetros estabelecidos na Tabela 1, permitindo classificar a qualidade da água e compreender a interação entre propriedades da água e condições hidrogeológicas da região.

Tabela 1. Descrição dos indicadores analizados e seus respectivos métodos

Indicadores	Unidade	Método	Ferramenta Analítica
Cloreto	mg/L	Argentométrico	Titulometria
Condutividade Elétrica	µS/cm	Condutimétrico	Sonda Hanna – HI 9829
Dureza Total	mg/L	EDTA	Titulometria
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	Condutimétrico	Sonda Hanna – HI 9829

Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Lineamentos estruturais

Os lineamentos estruturais em Puxinanã foram identificados por análise de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento, utilizando imagens altimétricas em diferentes azimutes. As estruturas foram extraídas no software CATALYST e representadas em mapas (Figura 1) e diagramas de roseta (Figura 2) no QGIS, com o auxílio da extensão Line Direction Histogram para indicar direções preferenciais. Os lineamentos correspondem às direções predominantes de fraturas, falhas, dobras e outras estruturas geológicas, influenciando diretamente os padrões de fluxo das águas subterrâneas. Em aquíferos cristalinos, caracterizados por baixa porosidade e permeabilidade, as zonas de fraturas atuam como condutos essenciais para recarga e circulação de água, sendo fundamentais para compreender a movimentação hídrica subterrânea (Kouider et al., 2023). Essa análise fornece subsídios importantes para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente em regiões semiáridas.

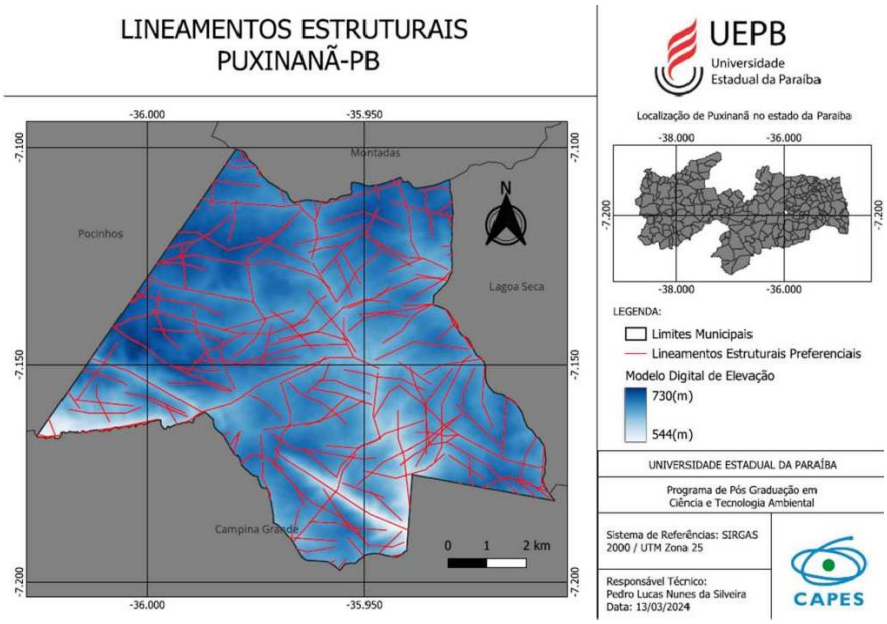


Figura 1. Lineamentos estruturais no município de Puxinanã.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

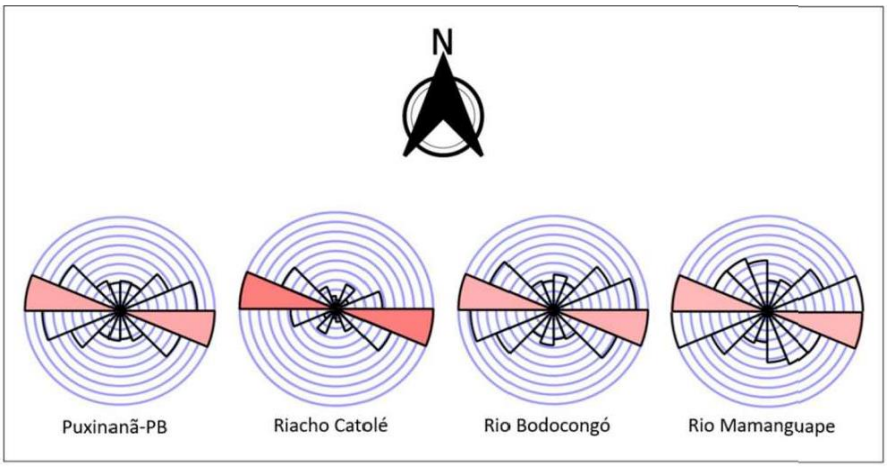


Figura 2. Diagrama de rosetas.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os lineamentos predominantes no município de Puxinanã e nas microbacias do Riacho Catolé, Rio Bodocongó e Rio Mamanguape exibem uma orientação marcante nas direções W-NW (Oeste-Noroeste) e E-SE (Leste-Sudeste), com variações secundárias em E-NE (Leste-Nordeste)e W-SW (Oeste-Sudoeste), conforme evidenciado pelos diagramas de rosetas. Esse padrão foiidentificado por meio da análise de 177 linhas estruturais em Puxinanã, 35 no Riacho Catolé, 142 no Rio Bodocongó e 33 no Rio Mamanguape, revelando uma tendência significativa das fraturaslitológicas ocorrerem nessas direções.No caso

específico da microbacia do Rio Mamanguape, observam-se ainda variações menoresnas orientações NE (Nordeste) e SW (Sudoeste). Beato et al. (2003) destacam que NE fraturasorientadas na direção apresentam maior propensão à recarga e circulação de

águassubterrâneas, o que contrasta com a reduzida quantidade de poços na microbacia do Riacho Catolé, onde predominam lineamentos W-NW e E-SE. Esses dados reforçam a influência das orientações estruturais na dinâmica hidrogeológica das áreas estudadas.

Levantamento Amostral

Durante o levantamento, foram georreferenciados 53 pontos de interesse no município de Puxinanã, visando mapear a distribuição e condições das águas subterrâneas. Desses, foi possível coletar amostras em 30 pontos, enquanto os 23 restantes estavam inativos, sendo 13 completamente inoperantes e 10 poços perfurados com quantidade insuficiente de água para exploração, encontrando-se praticamente secos. Os pontos georreferenciados foram organizados e distribuídos entre as microbacias hidrográficas do município, conforme ilustrado na Figura 3, permitindo uma análise detalhada da relação entre a disponibilidade de água e a dinâmica hidrológica local. Esse levantamento fornece uma base robusta para avaliar as condições físico-químicas das águas subterrâneas, identificar áreas críticas e apoiar o planejamento de estratégias de gestão e exploração sustentável dos recursos hídricos na região.

A distribuição dos poços nas subdivisões hidrográficas do município revela uma correlação significativa com os dados obtidos no estudo de lineamentos estruturais. O diagrama de rosetas destaca uma tendência predominante na recarga e circulação das águas subterrâneas em direções específicas, especialmente em direção Nordeste (NE). Essa relação é particularmente evidente nas microbacias de Bodocongó e Mamanguape, onde os direcionamentos preferenciais apresentam maior magnitude. Esses resultados confirmam ainfluência dos lineamentos estruturais na dinâmica das águas subterrâneas, reforçando suaimportância para compreender os padrões de recarga e circulação hídrica nas áreas analisadas.

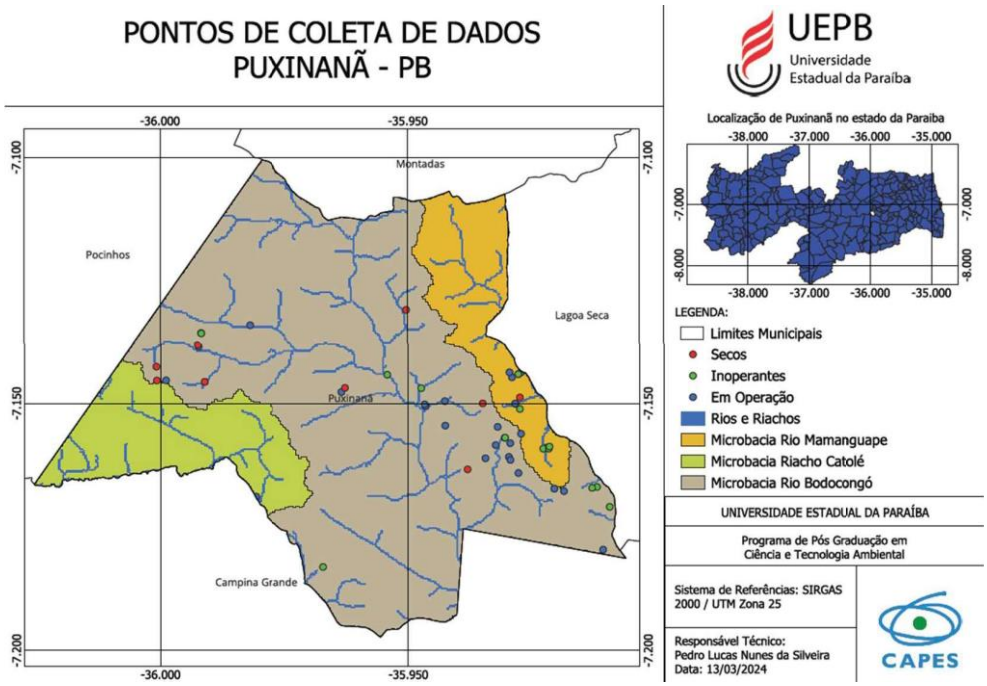


Figura 3. Pontos de Coleta de dados no município de Puxinanã

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Análises estatísticas e aspectos qualitativos

As amostras de água coletadas nos poços produtivos foram enviadas para análises físico-químicas, e os dados obtidos foram tabulados para posterior interpretação, com o auxílio de testes estatísticos realizados no software RStudio (versão 4.4.2). Além disso, foram registrados dados sobre a finalidade de uso da água em cada poço, permitindo avaliar a conformidade com a Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde. Essa análise possibilita comparar os resultados obtidos com os valores de qualidade da água permitidos, garantindo a adequação dos recursos hídricos às necessidades da população e às normas vigentes.

Após a realização das análises físico-químicas, os resultados foram processados e apresentados por meio de gráficos (Figura 4), proporcionando uma visualização clara e objetiva dos dados. Adicionalmente, essesresultados foram comparados com os limites estabelecidos pela Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde, a fim de avaliar a conformidade com a norma regulamentadora vigente.

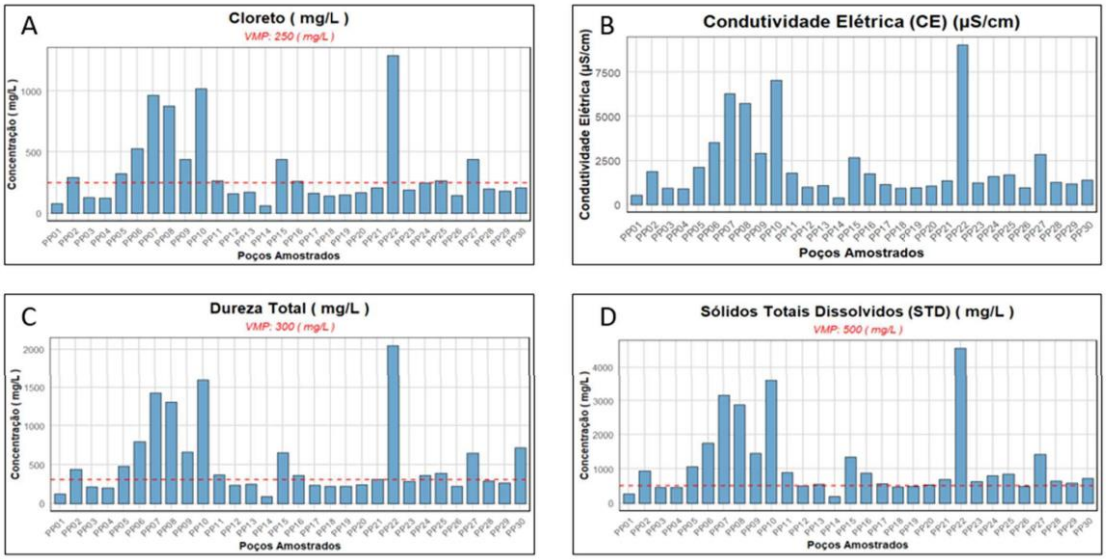


Figura 4. Gráficos com a distribuição de Cloreto (A), Condutividade Elétrica (B), Dureza Total (C) e Sólidos Totais Dissolvidos (D) nos 30 poços analisados.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Além disso, foi conduzida uma análise de estatística descritiva (Tabela 4) com o objetivo deavaliar individualmente cada indicadores em relação às suas características nos 30 poçosanalisados. Foram incluídos testes de normalidade para examinar a tendência de dispersão decada indicador avaliado, para melhor entendimento da influêcia da microbacia e doslineamentos em relação a qualidade das águas.

Tabela 4. Análise estátistica descritiva dos dados coletados

							Shapiro-Wilk	
	Microbacia	N	Média	Mediana	DP	Amplitude	W	p
Condutividade Elétrica	Bodocongó	22	2186	1320	1868	6544	0,734	<,001
	Mamanguape	7	1442	1588	734	2301	0,97	0,901
	Catolé	1	9060	9060	-	0	-	-
Cloreto	Bodocongó	22	331	205	278	940	0,739	<,001
	Mamanguape	7	226	250	121	380	0,949	0,721
	Catolé	1	1290	1290	-	0	-	-
Dureza	Bodocongó	22	513	300	425	1480	0,765	<,001
	Mamanguape	7	331	360	180	575	0,941	0,651
	Catolé	1	2050	2050	-	0	-	-
Sólidos Totais Dissolvidos	Bodocongó	22	1103	668	943	3333	0,735	<,001
	Mamanguape	7	726	800	370	1160	0,969	0,892
	Catolé	1	4565	4565	-	0	-	-

Fonte: Elaboraçãõ propria, 2025

A análise estatística descritiva de parâmetros de qualidade da água foi realizada nas três microbacias (Bodocongó, Mamanguape e Catolé), e evidenciou diferenças significativas nos padrões de qualidade evariabilidade entre elas. Os dados revelam que Bodocongó apresenta maior heterogeneidade,Mamanguape apresenta condições mais estáveis, e Catolé foi caracterizada por dados limitados a umaúnica amostra por parâmetro.

Na microbacia Bodocongó, os parâmetros analisados apresentaram médias elevadas, incluindo condutividade elétrica de 2186 µS/cm, cloretos de 331 mg/L, dureza de 513 mg/L e sólidos totais dissolvidos de 1103 mg/L. A elevada dispersão dos dados, evidenciada pelos altos desvios padrão e amplitudes, e a distribuição não normal verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,001$) indicam grande heterogeneidade nas condições ambientais, provavelmente associada a fontes de contaminação pontuais e difusas. Na microbacia Mamanguape, os valores médios foram menores, com condutividade elétrica de 1442 µS/cm, cloretos de 226 mg/L, dureza de 331 mg/L e sólidos totais dissolvidos de 726 mg/L, apresentando menor dispersão e distribuição geralmente normal ($p > 0,05$), o que sugere maior estabilidade nos parâmetros de qualidade da água. Por outro lado, a microbacia Catolé foi representada por apenas uma amostra por parâmetro, apresentando valores elevados, como condutividade elétrica de 9060 µS/cm e dureza de 2050 mg/L, o que inviabiliza análises estatísticas robustas e indica condições ambientais desfavoráveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade físico-química das águas subterrâneas de Puxinanã é fortemente influenciada pelas características geológicas e estruturais, sobretudo pelos lineamentos e processos de dissolução mineral. As microbacias analisadas apresentaram comportamentos distintos: Bodocongó mostrou maior heterogeneidade, Mamanguape condições mais estáveis e Catolé indicou situação adversa, reforçando a necessidade de novos estudos. Os lineamentos estruturais, especialmente em zonas de fraturas, desempenham papel crucial na recarga e circulação dos aquíferos cristalinos. Assim, torna-se essencial o monitoramento contínuo e a adoção de estratégias de gestão que integrem fatores hidrogeoquímicos e estruturais para a preservação e uso sustentável da água subterrânea em regiões semiáridas.

REFERÊNCIAS BIBIOGRÁFICAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2023). *Monitoramento dos Açudes da Paraíba*. Recuperado de: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=3287. Acesso em: 15 de maio de 2023.

Beato, D. A. C., Medeiros, M. J., Drews, M. G. P., & Dutra, G. M. (2003). Impactos urbanos em águas subterrâneas - Bacia da Lagoa da Pampulha, Belo Horizonte-MG. *Águas Subterrâneas*, 17(1). https://doi.org/10.14295/ras.v17i1.1312

Borba, W. F., Rosa, C. N. da, Favaretto, J. R., Menegazzo, K. C., Pimentel, G. M., & Souza, E. E. B. de. (2022). Geoprocessing applied to the estimation of susceptibility to contamination of the Serra Geral Aquifer: Scale of the Várzea River basin. *Geociências*, 41(2). https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.15702

Carvalho, A. K. N. de, Souza, R. F. de, & Oliveira, S. dos S. de. (2022). Qualidade de águas superficiais e subterrâneas para irrigação em um município do semiárido do estado do Rio Grande do Norte. *Pesquisas em Geociências*, 49(2), e119720. https://doi.org/10.22456/1807-9806.119720

Costa, W. M. da, Nascimento, R. F. do, & Silva, F. J. A. da. (2022). Avaliação da composição hidrogeoquímica de águas subterrâneas de poços profundos situados no município de Caucaia - CE e suas limitações de usos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 15(1), 299–310. https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.1.77830

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Semiárido brasileiro*. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html. Acesso em: 14 de abril de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Panorama dos municípios*. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/puxinana/panorama. Acesso em: 07 de abril de 2023.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2024). *Topodata banco de dados geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.

Kouider, M. H., Dahou, M. E. A., Nezli, I. E., Dehmani, S., Touahri, A., Pistre, S., & Pulido-Bosch, A. (2023). Fractures and lineaments mapping and hydrodynamic impacts on surface and groundwater occurrence and quality in an arid region, Oued M'ya basin–Southern Sahara, Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 82, 538. https://doi.org/10.1007/s12665-023-11128-2

Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. (2021). *Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021*. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em: 09 de novembro de 2023.

Pinheiro, J. F., Carvalho, L. R., & Silva, P. A. (2018). [Referência completa conforme utilizada no texto – preencher dados completos].

Ramos, P. R. F., & Silva, F. E. da. (2022). O comércio de águas subterrâneas no semiárido brasileiro: Estudo de caso em Nova Floresta, Estado da Paraíba. *REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19, e21. https://doi.org/10.21168/rega.v19e21

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036870

ÁNALISE DA QUALIDADE DA ÁGUA CAPTADA EM COMUNIDADE RURAL: AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA E ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA RECOGIDA EN UNA COMUNIDAD RURAL: EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

ANALYSIS OF THE QUALITY OF WATER COLLECTED IN A RURAL COMMUNITY: MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL EVALUATION AND TREATMENT ALTERNATIVES

Ronierio Lima dos Santos Junior[1], Gleisson dos Santos da Silva[2], Sanara de Sousa Ribeiro[3] e Thâmara Martins Ismael de Sousa[4].

[1]Graduando, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, ronierioocara@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-6449-4189;
[2]Graduando, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, gleissonalbuquerque6@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-9974-9515;
[3]Graduanda, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, souzasan72@gmail.com, https://orcid.org/0009-0008-4016-4882;
[4]Docente, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, thamara.martins@professor.ufcg.edu.br, https://orcid.org/0000-0003-0593-7209.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías de abastecimiento de agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo del agua para consumo humano.

Thematic Axis 03 – Water supply technologies
Quality aspects: characterization and monitoring of water for human consumption.

RESUMO

O acesso à água potável em comunidades rurais brasileiras ainda representa um desafio, especialmente pela ausência de infraestrutura adquada. Este estudo avaliou a qualidade da água consumida na comunidade rural de Flores (Pombal-PB), por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, com o objetivo de identificar riscos à saúde e propor alternativas viáveis de tratamento. A pesquisa, que analisou amostras de água do rio Piancó e da caixa d'água da comunidade, revelou resultados alarmantes. A turbidez na caixa d'água ultrapassou o limite de 5,0 NTU e, o mais grave, a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* foi confirmada em

ambas as amostras, com altos índices (NMP até >1.600 e até 280, respectivamente), em desacordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021. Essa contaminação, comum em outras áreas rurais do país, aponta para falhas na captação e armazenamento da água. Diante disso, o estudo propõe soluções de baixo custo e de fácil implementação, como a cloração, o uso de filtros domiciliares e a desinfecção por radiação solar (SODIS), para garantir a segurança hídrica da população local.

Palavras-chave: Zona rural; Abastecimento de água; Contaminação microbiológica; Parâmetros físico-químicos; Tratamento de água.

RESÚMEN

El acceso a agua potable en las comunidades rurales brasileñas aún representa un desafío, especialmente por la ausencia de infraestructura de saneamiento. Este estudio evaluó la potabilidad del agua en la comunidad rural de Flores (Pombal-PB), a través de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, con el objetivo de identificar riesgos para la salud y proponer alternativas de tratamiento viables. La investigación, que analizó muestras de agua del río Piancó y del tanque de agua de la comunidad, reveló resultados alarmantes. La turbidez en el tanque de agua superó el límite de 5.0 NTU y, lo más grave, se confirmó la presencia de coliformes totales y Escherichia coli en ambas muestras, con altos índices (NMP hasta >1,600 y hasta 280, respectivamente), en desacuerdo con la Ordenanza GM/MS nº 888/2021. Esta contaminación, común en otras zonas rurales del país, señala fallos en la recolección y el almacenamiento del agua. Ante esto, el estudio propone soluciones de bajo costo y fácil implementación, como la cloración, el uso de filtros domésticos y la desinfección solar (SODIS), para garantizar la seguridad hídrica de la población local.

Palabras clave: Zonas rurales; Abastecimiento de agua; Contaminación microbiológica; Parámetros fisicoquímicos; Tratamiento del agua.

ABSTRACT

Access to safe drinking water in Brazilian rural communities still represents a challenge,

especially due to the absence of sanitation infrastructure. This study evaluated the potability of water in the rural community of Flores (Pombal-PB), through physicochemical and microbiological analyses, with the aim of identifying health risks and proposing viable treatment alternatives. The research, which analyzed water samples from the Piancó River and the community's water tank, revealed alarming results. The turbidity in the water tank exceeded the 5.0 NTU limit and, more seriously, the presence of total coliforms and Escherichia coli was confirmed in both samples, with high indices (MPN up to >1,600 and up to 280, respectively), in disagreement with Ordinance GM/MS No. 888/2021. This contamination, which is common in other rural areas of the country, points to failures in water collection and storage. Given this, the study proposes low-cost and easily implementable solutions, such as chlorination, the use of household filters, and solar disinfection (SODIS), to ensure the water safety of the local population.

Keywords: Rural areas; Water supply; Microbiological contamination; Physicochemical parameters; Water treatment.

INTRODUÇÃO

A água potável é um direito humano essencial, mas, no Brasil, as comunidades rurais frequentemente dependem de fontes alternativas, como poços e rios, sem tratamento adequado. Essa realidade expõe a população a riscos de contaminação e a doenças de veiculação hídrica, como diarreia, cólera e febre tifoide, que, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), causam aproximadamente 1 milhão de mortes anuais globalmente (OLIVEIRA et al., 2021; OMS, 2023; BARBOSA et al., 2024).

Estudos em diversas regiões do país confirmam que a contaminação microbiológica, especialmente por coliformes totais e *Escherichia coli*, é um problema recorrente em águas que abastecem essas comunidades (SILVEIRA; GUIMARÃES, 2018; FARIAS; LACERDA, 2021). A presença de microrganismos viola diretamente a Portaria GM/MS nº 888/2021, que exige sua total ausência para que a água seja considerada potável.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água consumida pela comunidade rural de Flores (PB), por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, com o objetivo de identificar os riscos à saúde e propor alternativas viáveis de tratamento,

comparando os resultados com a legislação vigente (Portaria GM/MS n° 888/2021). Buscou-se, ainda, propor soluções acessíveis para o tratamento da água, contribuindo para a discussão do tema e para o avanço das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ODS 10 (Redução das Desigualdades) e o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis).

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Localização e caracterização da comunidade rural de Flores

O estudo foi conduzido na comunidade de Flores (Figura 2), na zona rural do município de Pombal, Paraíba, Brasil (Figura 1). Situada em região semiárida, com vegetação característica da Caatinga, predominando o tipo hiperxerófila, com trechos de florestas caducifólias e mata ciliar próxima ao Rio Piancó, que integra a bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, sendo um importante curso d'água no interior da Paraíba, desempenhando um papel importante para o abastecimento e atividades agropecuárias na região (ANA, 2018).

Segundo o IBGE (2010), a comunidade é composta por 48 domicílios com uma composição estimada de 172 moradores, além de 1 estabelecimento agropecuário, 1 escola, 1 unidade básica de saúde e 1 estabelecimento religioso, o rendimento médio estimado de moradores nesta comunidade é de R$ 215,03 (IBGE, 2011), sobrevivendo da agricultura e pecuária, destinando os produtos gerados para venda nas comunidades vizinhas, bem como no município de Pombal.

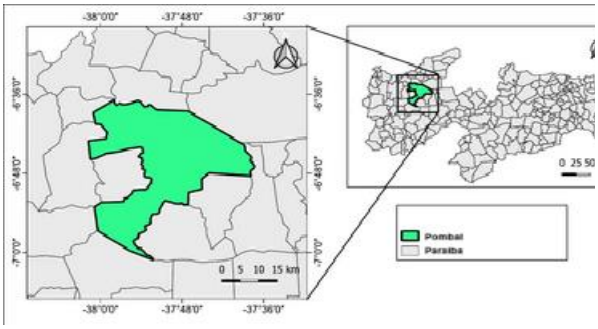


Figura 1. Mapa de localização do município de Pombal, Paraíba, Brasil
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 2. Vista aérea da comunidade Flores
Fonte: Google Earth Pro

2. Caracterização do abastecimento de água na comunidade rural de Flores

A comunidade rural de Flores não possui rede pública de abastecimento de água, dependendo da captação direta do rio Piancó (Figura 3), com a água sendo bombeada para uma caixa d'água geral que abastece toda a comunidade, sem a realização de tratamento (Figura 4).

Figura 3. Trecho do rio Piancó que corta a comunidade de Flores
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 4. Caixa d'água geral
Fonte: Autoria própria (2025)

3. Coleta e análises de água

Foram realizadas duas coletas de amostras de água no ponto de captação do rio Piancó, com as coordenadas de latitude 6°50'28"S e longitude 37°50'35"W, bem como na caixa d'água instalada na comunidade, com as coordenadas de latitude 6°50'38" S e longitude 37°50'48" W. Todas as coletas seguiram as recomendações do guia nacional da CETESB (2011).

Para a caracterização físico-química das amostras, determinaram-se em laboratório, por meio de métodos instrumentais padrão, os parâmetros de pH, turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. As análises microbiológicas para coliformes totais e *Escherichia coli* foram realizadas utilizando-se o método do Número Mais Provável (NMP) com múltiplos tubos. O teste presuntivo consistiu na inoculação de alíquotas de 10 ml, 1 ml e 0,1 ml de cada amostra em séries de cinco tubos contendo caldo Lauril Triptose. A confirmação dos tubos positivos, evidenciados pela produção de gás, foi feita pela repicagem em caldo Bile Verde Brilhante para coliformes totais e em caldo EC para coliformes termotolerantes. A seleção de todos esses parâmetros se justifica por serem indicadores fundamentais da qualidade da água para consumo humano e da presença de contaminação (VON SPERLING, 2014).

Ao identificar a produção de gás e a turvação do meio de cultura, os resultados foram interpretados de acordo com a APHA, a AWWA e a WEF (2017), com o uso de tabelas estatísticas padrão, como a Tabela de McCrady, que correlacionam a combinação de tubos positivos com a concentração de bactérias na amostra. Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros estabelecidos pela Resolução 357/2005, para a água do rio Piancó e, pela Portaria GM/MS nº 888/2021, para a água da caixa d'água disponibilizada para a população.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da qualidade da água de abastecimento da comunidade rural de Flores revelou a presença de contaminantes que comprometem a segurança do consumo humano. Os resultados obtidos, para as duas amostras, estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores de qualidade da água da comunidade Flores.

Indicador	Rio	Caixa d'água	Portaria 888/2021	Situação
pH	7,47 - 7,26	7,39 - 7,41	6,0 – 9,5	Conformidade
Condutividade (µS/cm)	239,7 - 239,1	253,1 - 252,4	-	-
STD (ppm)	130,1 - 130,6	146,5 - 145,9	1000 mg/L	Conformidade
Turbidez (NTU)	2,31 - 2,44	5,57 - 5,32	≤ 5,0 NTU	Não conformidade
Coliformes totais (NMP/100 mL)	>1600	>1600	Ausência em 100 mL	Não conformidade
Escherichia coli (NMP/100 mL)	220 - 130	140 - 280	Ausência em 100 mL	Não conformidade

Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise físico-química das amostras de água revelou que os valores de pH e de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estão em conformidade com a legislação. O pH apresentou médias de 7,365 para a água do rio e 7,4 para a caixa d'água, enquanto os STD registraram 130,35 mg/L e 146,2 mg/L, respectivamente. No entanto, a turbidez da amostra da caixa d'água (5,57 NTU) ultrapassou a turbidez da água do rio e o limite máximo de 5,0 NTU, conforme a legislação vigente, a Portaria GM/MS nº 888/2021, indicando possíveis falhas no sistema de captação e armazenamento. Esse aumento pode ser justificado pela ausência de limpeza e

manutenção regular do reservatório, o que permite o acúmulo de sedimentos, e pela entrada de contaminantes externos em caixas d'água com vedação inadequada (SANTOS et al., 2020). Essa condição de maior turbidez não só compromete o uso da água, mas também interfere na eficácia de qualquer tratamento de desinfecção, como a cloração, pois as partículas em suspensão podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante, reforçando o risco à saúde da comunidade (FREITAS; PINTO, 2017).

Embora a Portaria GM/MS n° 888/2021 não estabeleça um valor máximo para a Condutividade Elétrica (CE), este é um indicador importante da quantidade de íons dissolvidos na água, possuindo uma forte correlação com os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (CETESB, 2023). Os valores médios registrados (239.4 µS/cm no rio e 252.75 µS/cm na caixa d'água) são relativamente baixos e estão em consonância com os resultados de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), que também se encontraram dentro do limite legal de 1000 mg/L. O leve aumento da condutividade na caixa d'água em comparação com o rio, juntamente com o aumento de turbidez, sugere que há acúmulo de material dissolvido ou particulado no reservatório. Esse fenômeno é consistente com outros estudos que identificaram os reservatórios domiciliares como pontos de deterioração da qualidade da água, onde a falta de limpeza e manutenção periódica resulta na lixiviação de substâncias e na ressuspensão de sedimentos, elevando tanto a condutividade quanto a turbidez (MELO et al., 2021).

Em relação aos testes microbiológicos, os resultados do NMP foram alarmantes. A análise de coliformes totais revelou contaminação, tanto na amostra de água do rio quanto na da caixa d'água. Em ambas as avaliações, o padrão de resultados foi consistente, indicando um Número Mais Provável (NMP) superior a 1.600 coliformes por 100 mL para todas as amostras analisadas. A análise da amostra do rio revelou a presença de coliformes termotolerantes. Na primeira avaliação, foi identificado um Número Mais Provável (NMP) de 220 coliformes por 100 mL, enquanto a segunda análise indicou um NMP de 130 coliformes por 100 mL. Já na amostra da caixa d'água, os resultados também apontaram para a contaminação. A primeira análise apresentou um NMP de 140 coliformes por 100 mL. Em uma segunda avaliação, o resultado foi ainda maior, com um NMP de 280 coliformes por 100 mL. Esses dados se alinham a estudos recentes, que demonstram que a contaminação por *E. coli* é uma ocorrência comum em fontes de água de comunidades rurais brasileiras (SANTOS, et al., 2023).

Os resultados evidenciaram que, embora a água do rio apresente níveis aceitáveis de turbidez pela CONAMA 357/2005, a amostra da caixa d'água não garante potabilidade segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, indicando que a qualidade da água está sendo comprometida antes de chegar às residências ou na própria caixa d'água.

Diante deste cenário, recomenda-se a adoção de tecnologias descentralizadas e de baixo custo, como as desenvolvidas pela Embrapa e Funasa, que podem ser adaptadas à realidade local:

- **Cloração com controle de turbidez**: A aplicação de hipoclorito de sódio é um método eficaz para eliminar coliformes, mas sua eficiência é comprometida pela alta turbidez, tornando crucial um pré-tratamento. A FUNASA (2014) em seus manuais, reforça a importância de um sistema de cloração simplificado e de fácil operação para comunidades.

- **Filtros domiciliares de múltiplas barreiras**: O uso de filtros de areia, carvão ativado ou cerâmica, combinados com uma etapa de desinfecção, pode fornecer água segura no ponto de consumo (FUNASA, 2014).
- **Sistemas de desinfecção por radiação solar (SODIS)**: Essa técnica, quando aplicada em garrafas PET transparentes, pode inativar patógenos presentes na água por meio da radiação UV-A e do calor do sol, uma solução de baixo custo e alta eficácia (SOUTO, 2017).

Essas alternativas apresentam viabilidade técnica e podem ser adaptadas à realidade socioeconômica das comunidades rurais, garantindo maior segurança hídrica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água na comunidade revelou a presença de contaminantes que comprometem a segurança do consumo humano, principalmente de origem microbiológica. A ausência total de tratamento em conjunto com as falhas na captação e no armazenamento, reforça a necessidade de intervenções técnicas necessárias para mitigar os riscos à saúde e garantir a segurança hídrica da população.

As soluções propostas apresentam viabilidade técnica e econômica, e podem melhorar a qualidade da água disponibilizada para a população da comunidade rural de Flores. A garantia do direito humano à água potável depende de ações integradas entre a população local, o poder público e as instituições de pesquisa, com o foco em tecnologias de baixo custo e programas de conscientização.

A análise da potabilidade da água em comunidades rurais é essencial para garantir a segurança hídrica e a saúde pública, sendo um indicador importante no monitoramento da saúde para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados pelo presente estudo permitiram diagnosticar potenciais riscos, que podem ser mitigados por meio da adoção de tecnologias de tratamento simplificadas e de baixo custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu: resumo executivo. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/planos-de-recursos-hidricos/planos-de-recursos-hidricos-de-bacias-hidrograficas/planos-de-bacias-hidrograficas-interfederativas/pianco-piranhas-

acu/PlanodeRecursosHdricosdaBaciaHidrogrficadoRioPiancPiranhasAu2.pdf. Acesso em: 05 set. 2025.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington: APHA, 2017.

BARBOSA, M. P. et al. Contaminação por coliformes na água de abastecimento público em um centro urbano da Amazônia Central. ResearchGate, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383192319_Contaminacao_por_coliformes_na_agua_de_abastecimento_publico_em_um_centro_urbano_da_Amazonia_Central. Acesso em: 05 set. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. 1. ed. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Legislação Pertinente. Apêndice A do Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2022. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2023/12/Apendice-A-Significado-Variaveis-2022.pdf. Acesso em: 23 set. 2025.

FARIAS, L. S.; LACERDA, T. L. B. Qualidade Microbiológica da Água de Abastecimento Público e Poços em Comunidades Rurais do Semiárido Pernambucano. Revista Saúde e Ambiente, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2021.

FREITAS, B. C. B.; PINTO, F. A. M. Influência da turbidez na desinfecção de águas de abastecimento com o uso de cloração e radiação ultravioleta. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 5, p. 885-891, set./out. 2017.

FUNASA. Manual de Orientação para Aplicação de Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água para Consumo Humano em Comunidades Rurais. Brasília: FUNASA, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/. Acesso em: 10 set. 2025.

MELO, T. A. T. et al. Qualidade da água em reservatórios de residências da zona urbana do município de Pombal – PB. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 16, n. 2, p. 143-149, abr./jun. 2021.

OLIVEIRA, A. C. N. R. de et al. Avaliação da qualidade da água de abastecimento humano e a influência do saneamento básico em comunidades rurais do Sudeste brasileiro. Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 1-13, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sausoc/a/vB5MbdB8QYh6Qx7fJtK9P4z/?lang=pt. Acesso em: 05 set. 2025.

SANTOS, Geisyane Silva dos et al. Qualidade da água de consumo de comunidades rurais do Vale do Jiquiriçá (Bahia): análise microbiológica e percepção dos indivíduos. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 11, n. 2, 2023.

SANTOS, J. D. G. et al. Qualidade da água de reservatórios domiciliares em um município do semiárido cearense. In: GERMANO, A. S. M.; BEZERRA, J. W. A. (Org.). Saneamento e Saúde Ambiental: da teoria à prática. Mossoró, RN: EdUFERSA, 2020. p. 83-94.

SILVEIRA, M. F.; GUIMARÃES, F. A. Avaliação da Qualidade da Água de Poços Rasos na Zona Rural de Juiz de Fora, MG. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 3, p. 555-564, 2018.

SOUTO, J. S. Eficácia da desinfecção da água por radiação solar (SODIS) para consumo humano em zonas rurais. Revista de Saneamento, v. 2, n. 1, p. 45-56, 2017.

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

World health organization (WHO). Drinking-water. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water. Acesso em: 4 set. 2025.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036886

APLICAÇÃO DO *ABELMOSCHUS ESCULENTUS* L. Moench (QUIABO) COMO COAGULANTE E FLOCULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM BELO JARDIM-PE

APLICACIÓN DEL ABELMOSCHUS ESCULENTUS L. Moench (QUIABO) COMO COAGULANTE Y FLOCULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA EN BELO JARDIM-PE

APPLICATION OF ABELMOSCHUS ESCULENTUS L. Moench (QUIABO) AS A COAGULANT AND FLOCCULANT IN WATER TREATMENT IN BELO JARDIM-PE

Adjailton da Silva Nascimento[1], Carlos André de Souza[2]

[1]Bacharelado em Engenharia Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, adjailton.nascimento@ufrpe.br, 0009-0002-6928-2133;
[2]Professor adjunto, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, carlos.andre@ufrpe.br.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Biocoagulantes como alternativas para o tratamento de água

Eje temático 03 – Tecnologías para el abastecimiento de agua
Biocoagulantes como alternativas para el tratamiento del agua

Thematic Area 03 – Technologies for water supply
Biocoagulants as alternatives for water treatment

RESUMO

O crescimento populacional e a industrialização contribuíram para a poluição da água, tornando o tratamento essencial para garantir sua potabilidade. O uso de coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio, é comum nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) para remover impurezas da água. No entanto, esses coagulantes podem ser prejudiciais ao meio ambiente e à saúde devido à toxicidade e ao acúmulo de metais no lodo gerado. Como alternativa, coagulantes naturais a base de quiabo, têm sido investigados. O quiabo é uma planta comum no Nordeste do Brasil, especialmente na região do Agreste de Pernambuco, e tem mostrado potencial como coagulante natural devido à sua capacidade de formar flocos mais resistentes durante o tratamento de água. Nesse estudo, o objetivo foi investigar a eficiência do pó do quiabo como coagulante/floculante individual e alinhado ao sulfato de alumínio em testes de tratamento de água. A metodologia objetivou determinar a dosagem ótima para remoção de impurezas, garantindo homogeneidade e precisão nos resultados. Os resultados mostraram que o sulfato de alumínio apresentou os melhores resultados em termos de remoção de cor, turbidez e manutenção do pH adequado. No entanto, a combinação do sulfato de alumínio com a solução do pó de quiabo manteve a água no padrão de potabilidade. A pesquisa busca fornecer uma solução sustentável e acessível para melhorar a qualidade da água em regiões como Belo Jardim - PE, usando o quiabo como coagulante natural.

Palavras-chave: Coagulante natural, quiabo, tratamento de água, sustentabilidade

RESUMEN

El crecimiento demográfico y la industrialización han contribuido a la contaminación del agua, por lo que su tratamiento es esencial para garantizar su potabilidad. El uso de coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, es habitual en las plantas de tratamiento de agua (PTA) para eliminar las impurezas del agua. Sin embargo, estos coagulantes pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud debido a su toxicidad y a la acumulación de metales en los lodos generados. Como alternativa, se han investigado coagulantes naturales a base de okra. El quimbombó es una planta común en el noreste de Brasil, especialmente en la región de Agreste de Pernambuco, y ha demostrado su potencial como coagulante natural debido a su capacidad para formar copos más resistentes durante el tratamiento del agua. En este estudio, el objetivo fue investigar la eficacia del polvo de quimbombó como coagulante/floculante individual y combinado con sulfato de aluminio en pruebas de tratamiento de agua. La metodología tuvo como objetivo determinar la dosis óptima para la eliminación de impurezas, garantizando la homogeneidad y precisión de los resultados. Los resultados mostraron que el sulfato de aluminio presentó los mejores resultados en términos de eliminación de color, turbidez y mantenimiento del pH adecuado. Sin embargo, la combinación del sulfato de aluminio con la solución de polvo de quimbombó mantuvo el agua dentro de los estándares de potabilidad. La investigación busca proporcionar una solución sostenible y accesible para mejorar la calidad del agua en regiones como Belo Jardim (Pernambuco), utilizando el quimbombó como coagulante natural.

Palabras clave: Coagulante natural, quimbombó, tratamiento del agua, sostenibilidad

ABSTRACT

Population growth and industrialization have contributed to water pollution, making treatment essential to ensure its potability. The use of chemical coagulants, such as aluminum sulfate, is common in Water Treatment Plants (WTPs) to remove impurities from water. However, these coagulants can be harmful to the environment and health due to toxicity and the accumulation of metals in the sludge generated. As an alternative, natural coagulants based on okra have been investigated. Okra is a common plant in northeastern Brazil, especially in the Agreste region of Pernambuco, and has shown potential as a natural coagulant due to its ability to form more resistant flocs during water treatment. In this study, the objective was to investigate the efficiency of okra powder as an individual coagulant/flocculant and in combination with aluminum sulfate in water treatment tests. The methodology aimed to determine the optimal dosage for removing impurities, ensuring homogeneity and accuracy in the results. The results showed that aluminum sulfate presented the best results in terms of color removal, turbidity, and maintenance of adequate pH. However, the combination of aluminum sulfate with the okra powder solution kept the water within the potability standard. The research seeks to provide a sustainable and affordable solution to improve water quality in regions such as Belo Jardim, Pernambuco, using okra as a natural coagulant.

Keywords: Natural coagulant, okra, water treatment, sustainability

INTRODUÇÃO

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito do Programa de Iniciação Científica Voluntária (PIC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em parceria com a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), no período de setembro de 2024 a agosto de 2025. A pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência do pó de quiabo como coagulante natural no tratamento de água, com foco na remoção de impurezas — como cor e turbidez — e no controle do pH. A proposta busca oferecer uma alternativa sustentável aos coagulantes químicos convencionais, frequentemente utilizados nos sistemas de tratamento. A relevância deste estudo está na busca por soluções ambientais mais seguras, acessíveis e sustentáveis. Dessa forma, o trabalho contribui para o avanço de tecnologias limpas e reforça o potencial de plantas nativas, como o quiabo, na promoção de práticas de tratamento de água ecológicas, econômicas e alinhadas às metas de sustentabilidade e saúde pública.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no laboratório da UFRPE–UABJ e na Estação de Tratamento de Água (ETA) da COMPESA, em Belo Jardim – PE. O trabalho buscou avaliar o uso do pó de quiabo como alternativa natural ao sulfato de alumínio no processo de coagulação/floculação da água do Rio Ipojuca, cujos parâmetros de cor, turbidez e pH estavam fora dos limites de potabilidade.

Preparação das soluções:

O quiabo foi lavado, cortado, seco em estufa a 150 °C por 3 horas, triturado e peneirado até virar pó fino (figura 1). A partir desse material, foram pesados 5 g, que foram diluídos em 250 mL de água destilada para formar uma solução padrão a 2% (Marré 2022; Lima 2007). Enquanto a solução de sulfato de alumínio a 2% foi preparada em duas etapas. Primeiro, 3,8 g do pó de sulfato de alumínio foram dissolvidos em 245 mL de água destilada para facilitar a mistura (procedimento padrão da COMPESA).

Figura 1. Quiabos cortados longitudinalmente (tamanhos variando 10 - 12cm) (A), quiabo seco a 150 °C (B), quiabo macerado (C), pó do quiabo (D).

(A) (B) (C) (D)

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Ensaios de coagulação/floculação

Os testes foram realizados em um equipamento Jar Test (figura 2), com seis jarros de 2 L cada. No primeiro ensaio, foram aplicadas diferentes dosagens da solução de quiabo (1 a 11 mL). No segundo, variaram-se as dosagens de sulfato de alumínio (18 a 23 mL), conforme padrão da COMPESA. Em seguida, testou-se a combinação dos dois coagulantes, tomando como referência a dosagem mais eficiente do sulfato (21 mL).

O processo seguiu as etapas clássicas de coagulação (mistura rápida a 300 rpm por 10 s), floculação (redução gradual da rotação para 98, 77 e 64 rpm em intervalos de tempo definidos) e decantação (10 min em repouso). Após a sedimentação, as amostras foram filtradas em papel de filtro para análises físico-químicas.

Figura 2. Jar Test utilizado nos ensaios de coagulação/floculação.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Análises dos parâmetros:

Em todas as etapas, foram avaliados o pH (pHmetro 913), a cor aparente (colorímetro Aquacolor da PoliControl) e a turbidez (turbidímetro TU5200 da Hach) baseados em West (2016), com adaptações para volumes maiores, assegurando a confiabilidade dos resultados.

O cálculo da remoção de cor e turbidez seguiu fórmulas padronizadas da seguinte maneira:

$$Porcentagem\ da\ remoção\ de\ turbidez = \frac{turbidez\ inicial - turbidez\ final}{turbidez\ inicial}\ x\ 100\% \quad (1)$$

$$Porcentagem\ da\ remoção\ de\ cor = \frac{cor\ inicial - cor\ final}{cor\ inicial}\ x\ 100\% \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características da água bruta:

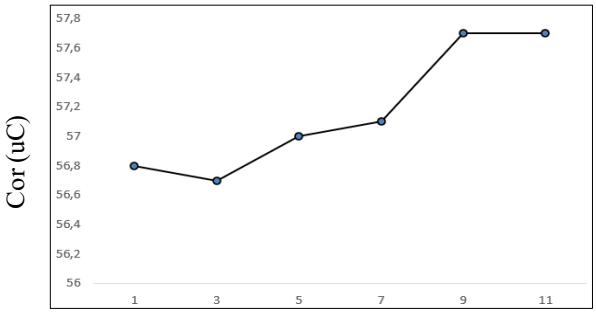
As coletas da água do Rio Ipojuca (28/03 e 22/08/2025) mostraram valores de cor (56,6 – 61,6 uC), turbidez (4,0 – 7,0 NTU) e pH (8,0 – 8,1). Esses parâmetros estão fora dos limites de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde 2021, que determina ≤ 15 uC para cor, < 5 NTU para turbidez e pH entre 6,0 e 7,0. Isso indica que a água bruta não é própria para consumo humano sem tratamento.

Ensaio 1 – Solução do quiabo em pó (2%):

Quando utilizado sozinho, a solução de quiabo não apresentou eficiência na remoção de cor (valores permaneceram próximos a 57 uC). Já na turbidez, houve uma pequena redução, principalmente na dosagem de 5 mL (3,1 NTU). Contudo, dosagens mais altas aumentaram a turbidez, possivelmente pelo excesso de material coloidal. O pH manteve-se estável entre 8,0 e 8,5, mas ainda fora da faixa adequada. Assim, o quiabo sozinho mostrou baixa eficiência para melhorar a qualidade da água.

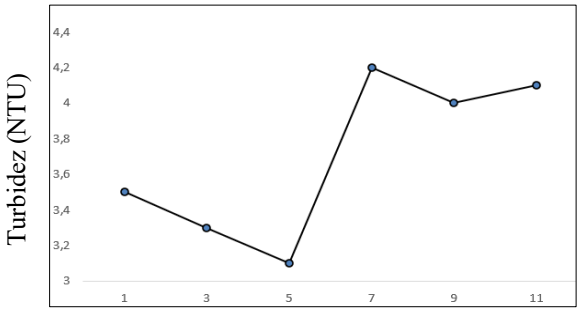
West (2016) também observou que o quiabo em pó sozinho não foi eficaz na remoção de cor, podendo até aumentar a cor aparente devido à liberação de compostos orgânicos.

Figura 3. Diferentes concentrações da solução do pó de quiabo para o parâmetro de cor (uC).



Dosagem da solução do quiabo em pó (mL)
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 4. Diferentes concentrações da solução do pó de quiabo para o parâmetro turbidez (NTU).

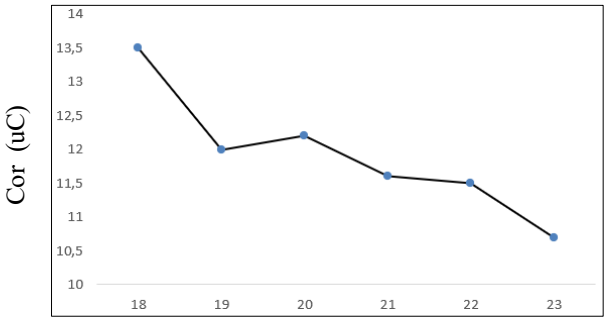


Dosagem da solução do quiabo em pó (mL)
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Ensaio 2 – Solução do sulfato de alumínio (2%):

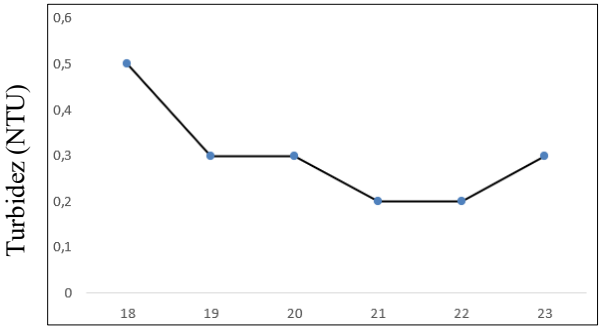
O sulfato de alumínio apresentou alta eficiência. Na dosagem de 21 mL, houve melhor equilíbrio entre os parâmetros, com remoção de cor de 81,1% (11,6 uC) e remoção de turbidez de 97,1% (0,2 NTU). Embora o pH tenha ficado levemente acima da faixa ideal (7,3), ainda próximo da neutralidade. Todas as dosagens testadas atenderam ao padrão de potabilidade, comprovando que o sulfato de alumínio é eficiente no tratamento da água.

Figura 5. Diferentes concentrações do sulfato de alumínio para o parâmetro de cor (uC).



Dosagem do sulfato de alumínio (mL)
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 6. Diferentes concentrações do sulfato de alumínio para o parâmetro turbidez (NTU).

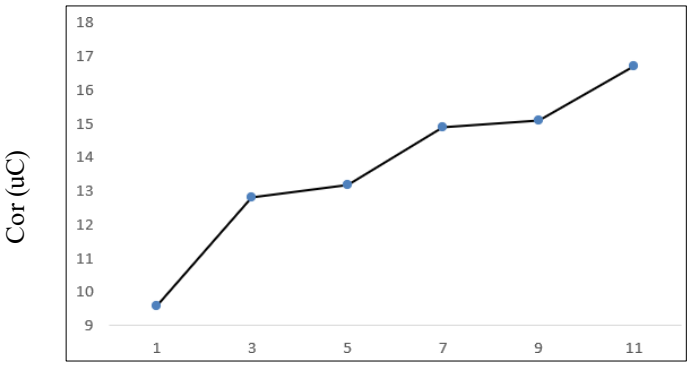


Dosagem do sulfato de alumínio (mL)
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Ensaio 3 – Combinação da solução de sulfato de alumínio (2%) e a solução de quiabo em pó (2%):

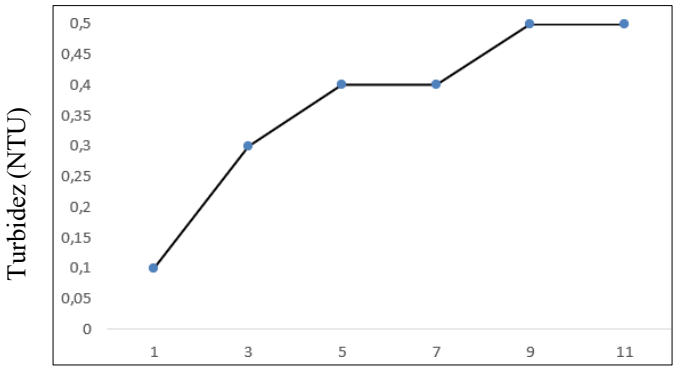
A mistura dos dois coagulantes mostrou resultados interessantes. A melhor dosagem foi 21 mL de sulfato de alumínio + 1 mL de solução de quiabo, alcançando 84,4% de remoção de cor (9,6 uC) e 98,5% de remoção de turbidez (0,1 NTU), valores dentro dos limites de potabilidade. O pH se manteve adequado (6,8 – 7,4) em todas as condições. Dosagens maiores de quiabo pioraram a eficiência, indicando que baixas concentrações do coagulante natural podem potencializar a ação do sulfato, enquanto doses mais elevadas atrapalham o processo.

Figura 7. Diferentes concentrações da solução do pó de quiabo com 21 mL do sulfato de alumínio para o parâmetro de cor (uC).



Dosagens solução do pó de quiabo + sulfato de alumínio (mL)
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 8. Diferentes concentrações da solução do pó de quiabo com 21 mL do sulfato de alumínio para o parâmetro turbidez (NTU).



Dosagem da solução do pó de quiabo + sulfato de alumínio (mL)
Fonte: Elaboração própria, 2025.

West (2016) e Lima (2007) também observaram que baixas dosagens de quiabo (1 – 3 mL) melhoram a floculação e reduzem a turbidez quando usadas em conjunto com sulfato de alumínio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo confirmou o potencial do pó de quiabo como coadjuvante no tratamento de água, especialmente quando utilizado em combinação com sulfato de alumínio, colaborando para reduzir o uso exclusivo do produto químico, promovendo uma melhora na remoção de cor, turbidez e no controle de pH, contribuindo para a sustentabilidade do processo. Apesar de sua eficiência limitada quando empregado isoladamente, o quiabo mostrou-se uma alternativa ecológica e de baixo custo para complementar a desinfecção da água. Questiona- se, contudo, a necessidade de otimizar as dosagens e condições de uso para ampliar sua eficácia em diferentes cenários de qualidade de água. Recomenda-se a continuidade das pesquisas, envolvendo testes em escala maior e análise de outros parâmetros de qualidade, além de estudos sobre o impacto do uso do quiabo na saúde humana e ambiental. Tal continuidade pode promover a implementação prática desta alternativa natural em regiões de baixo recurso, promovendo melhorias na gestão da água e na saúde pública.

AGRADECIMENTOS

Quero registrar minha sincera gratidão à Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UFRPE-UABJ), pelo suporte institucional que tornou possível a realização deste trabalho, e à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), pela valiosa contribuição durante todo o processo.

De maneira especial, agradeço ao Prof. Dr. Carlos André de Souza, pelas orientações atenciosas, pelos incentivos constantes e pelos conhecimentos técnicos compartilhados, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Estendo também meus agradecimentos ao técnico da COMPESA, André, pelo empenho, dedicação e acompanhamento em cada etapa, sempre disposto a colaborar e a esclarecer dúvidas.

Não poderia deixar de mencionar minha colega de turma, Karoline Nogueira, pela parceria, pelo apoio e pela amizade ao longo de toda a jornada desta pesquisa, tornando os desafios mais leves e o aprendizado mais enriquecedor.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho, seja com palavras de incentivo, gestos de apoio ou colaboração prática. Cada contribuição foi essencial para que este estudo se tornasse realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministério da Saúde. 2021. “Portaria de Consolidação nº 888”. *Diário Oficial da União* seção 1, 85 (maio): 127. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4- de-maio-de-2021-318461562.

Lima, Guilherme Julio de Abreu. 2007. “Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto”. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. https://www.scribd.com/document/436398578.

Marré, K. G. 2022. “Análise da eficiência do quiabo (Abelmoschus esculentus) como agente floculante no tratamento da água do Rio Doce e seu afluente Rio São João Grande”. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina. https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2327.

West, Luís Gustavo Macedo. 2016. “Uso do quiabo (Abelmoschus esculentus L. Moench) no processo de tratamento de água para abastecimento humano: ensaios preliminares”. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. http://ri.ufrb.edu.br/jspui/handle/123456789/2867.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036891

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ILHA DE ITAMARACÁ - PE

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ISLA DE ITAMARACÁ - PE

APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR QUALITATIVE EVALUATION OF GROUNDWATER STORAGE ON ITAMARACÁ ISLAND - PE

Lucas Breno dos Santos[1], Diego Cezar dos Santos Araujo[2] e Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[3].

[1]Mestrando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, lucas.breno@ufpe.br, 0009-0002-0232-8408;
[2]Doutor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, diego.caraujo@ufpe.br, 0000-0002-8969-260X;
[3]Doutor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br, 0000-0003-3475-1454;

Eixo Temático 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Águas Subterrâneas.

Eje Temático 03 – Tecnologías de Suministro de Agua
Aguas Subterráneas.

RESUMO

Dentre as consequências do aumento da temperatura, provocada pelas alterações climáticas, estão o aumento do consumo médio per capita de água e a diminuição das precipitações, sendo alguns dos fatores que afetam na recarga dos aquíferos. A identificação de flutuações no volume de água subterrânea em uma região é de suma importância, porém de alta complexidade. O sensoriamento remoto propõe uma metodologia de inferência do acúmulo de água subterrânea em uma área, através da missão GRACE, que consiste em dois satélites artificiais idênticos que aplica os conceitos da física gravitacional para estimá-lo. Desta forma, este estudo se propôs a avaliar qualitativamente as variações ocorridas no manancial subterrâneo de 2004 a 2023 no município de Ilha de Itamaracá em Pernambuco, que possui a captação subterrânea como fonte exclusiva para abastecimento humano. Em 2023, apenas 3,05% de sua população rural era abastecida por rede de abastecimento de água, tendo que buscar soluções alternativas como perfuração de poços. Importando o shapefile do município no Google Earth Engine, obteve-se os dados dos produtos do GRACE e do GLDAS – 2.2 para a área e período de estudo. Utilizou-se os sistemas Nacional de Informações sobre Saneamento e Nacional de Informações em Saneamento Básico para extrair os principais dados para o cálculo da estimativa anual de exploração de água e o banco de dados e relatórios da Agência Pernambucana de Águas e Clima para determinação da precipitação anual acumulada. As análises indicaram um crescimento anual de exploração de água para abastecimento humano e diminuição das precipitações anuais acumuladas. Ressalta-se que, não é possível indicar diretamente que o aumento da exploração de água e o decrescimento das chuvas foram responsáveis pela diminuição das estimativas médias anuais das águas subterrâneas a partir do

segundo ano de estudo. Porém, recomenda-se para trabalhos futuros, a investigação, dessa associação, aglutinando outros fatores, como por exemplo, o uso e ocupação do solo e evapotranspiração, para justificar tal fato.

Palavras-chave: Estimativa de Águas Subterrâneas, Sensoriamento Remoto, GRACE, Exploração Subterrânea, Diminuição de Precipitação

RESÚMEN

Entre las consecuencias del aumento de las temperaturas causado por el cambio climático se encuentran el aumento del consumo medio de agua per cápita y la disminución de las precipitaciones, factores que afectan la recarga de los acuíferos. Identificar fluctuaciones en el volumen de agua subterránea en una región es fundamental, pero a la vez complejo. La teledetección propone una metodología para inferir la acumulación de agua subterránea en una zona, a través de la misión GRACE, que consta de dos satélites artificiales idénticos que aplican conceptos de física gravitacional para estimarla. Por lo tanto, este estudio se propuso evaluar cualitativamente las variaciones ocurridas en la fuente de agua subterránea entre 2004 y 2023 en el municipio de Ilha de Itamaracá, en Pernambuco, que utiliza la captación subterránea como fuente exclusiva de abastecimiento humano. En 2023, solo el 3,05 % de su población rural contaba con una red de abastecimiento de agua, por lo que se tuvieron que buscar soluciones alternativas como la perforación de pozos. Mediante la importación del shapefile del municipio a Google Earth Engine, se obtuvieron datos de los productos GRACE y GLDAS – 2.2 para el área y período de estudio. El Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento y el Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento Básico se utilizaron para extraer los datos principales para calcular la estimación anual de la explotación hídrica, y la base de datos y los informes de la Agencia de Agua y Clima de Pernambuco se utilizaron para determinar la precipitación anual acumulada. Los análisis indicaron un aumento anual en la explotación hídrica para el abastecimiento humano y una disminución en la precipitación anual acumulada. Es importante señalar que no es posible indicar directamente que el aumento en la explotación del agua y la disminución de las precipitaciones fueran responsables de la disminución en las estimaciones anuales promedio de las aguas subterráneas a partir del segundo año del estudio. Sin embargo, se recomienda que futuros estudios investiguen esta asociación, incluyendo otros factores, como el uso y la ocupación del suelo y la evapotranspiración, para justificar este hecho.

Palabras clave: Estimación de Aguas Subterrâneas, Teledetección, GRACE, Exploración Subterrânea, Reducción de Precipitaciones

ABSTRACT

Among the consequences of rising temperatures caused by climate change are the increase in average per capita water consumption and the decrease in rainfall, which are some of the factors that affect aquifer recharge. Identifying fluctuations in the volume of groundwater in a region is extremely important, but highly complex. Remote sensing proposes a methodology for inferring groundwater accumulation in an area, through the GRACE mission, which consists of two identical artificial satellites that apply the concepts of gravitational physics to estimate

it. Thus, this study proposed to qualitatively evaluate the variations that occurred in the groundwater source from 2004 to 2023 in the municipality of Ilha de Itamaracá in Pernambuco, which has underground collection as its exclusive source for human supply. In 2023, only 3.05% of its rural population was supplied by a water supply network, having to seek alternative solutions such as drilling wells. By importing the municipality's shapefile into Google Earth Engine, data from the GRACE and GLDAS – 2.2 products were obtained for the study area and period. The National Sanitation Information System and the National Basic Sanitation Information System were used to extract the main data for calculating the annual estimate of water exploitation, and the database and reports of the Pernambuco Water and Climate Agency were used to determine the accumulated annual precipitation. The analyses indicated an annual increase in water exploitation for human supply and a decrease in accumulated annual precipitation. It is important to note that it is not possible to directly indicate that the increase in water exploitation and the decrease in rainfall were responsible for the decrease in the average annual estimates of groundwater from the second year of the study onwards. However, it is recommended that future studies investigate this association, including other factors, such as land use and occupation and evapotranspiration, to justify this fact.

Keywords: Groundwater Estimation, Remote Sensing, GRACE, Underground Exploration, Precipitation Reduction

INTRODUÇÃO

Cerca de 40% dos municípios do Brasil possuem a captação subterrânea como fonte exclusiva de abastecimento de água (ANA 2021), dentre eles, está a Ilha de Itamaracá, município no litoral pernambucano que integra a Região Metropolitana do Recife (RMR).

Em 2023 sua população rural era de 5.540 habitantes, o que representava cerca de 22,35% da população total, sendo apenas 169 habitantes atendidos com rede de abastecimento de água (MCID 2025a). Isto força a população a buscar soluções alternativas de abastecimento, já mapeadas pelas estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como: água da chuva armazenada, nascentes/fontes, carro-pipa e perfuração de poços.

Dessa forma, buscou-se avaliar qualitativamente as flutuações que ocorreram no armazenamento das águas subterrâneas neste município no período de 2004 a 2023 a partir dos produtos nativos do Global Land Data Assimilation System 2 (GLDAS-2.2) e da missão Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). O volume de água de um aquífero é afetado por vários fatores, dentre eles, a exploração para abastecimento humano, atividades produtivas e as precipitações. Neste estudo, não é possível associá-los diretamente com a variação volumétrica das águas subterrâneas, mas isso pode acender um alerta para problemas sociais e ambientais que possuam surgir no futuro, visto que, enquanto a captação subterrânea

para abastecimento humano tem aumentado significativamente, as precipitações anuais e as estimativas médias anuais de águas subterrâneas na área de estudo vêm diminuindo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A geologia da Ilha de Itamaracá é composta pelos seguintes grupos geológicos: depósitos Flúvio-Marinho, Gramame e Barreiras (SGB 2025). Além disso, o município está sobre dois aquíferos, um poroso e outro cárstico (ANA 2013). A estimativa da captação de água subterrânea para abastecimento humano é determinada pela Equação 1:

$$EEAS = \frac{\left(\frac{(qpc * pop * d)}{1000} * \left(1 + \frac{pad}{100}\right)\right)}{1000000} \quad (1)$$

onde
EEAS = estimativa de captação de água subterrânea para abastecimento humano (10^6 x m^3)
qpc = consumo médio per capita de água (L/hab*dia)
pop = população atendida por rede de abastecimento de água (habitantes)
d = quantidade de dias (dias)
pad = índice das perdas de água na distribuição (%)

Os dados anuais foram extraídos dos sistemas Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA). Em 2023, o SNIS teve suas atividades encerradas e a partir de 2024, o SINISA entrou em atividade. É importante frisar que as informações são autodeclaratórias, ou seja, os dados e informações são repassadas pelos prestadores de serviços e municípios para o sistema que irá consolidá-los.

As perdas de água na distribuição representam o volume de água disponibilizado que não foi faturado por não ter sido contabilizado como volume consumido pelos usuários. Isto pode ocorrer por questões de vazamentos (perda real - desperdício), falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas (ambas perdas aparentes – não desperdício). Este indicador não diferencia a parcela de perda real da aparente, visto que nem todos os prestadores de serviços possuem técnicas de quantificar o valor associado a cada parte do que é perdido, limitando assim, a associação deste índice como desperdício de água (MCID 2024b).

Serão apresentados dois cenários. O primeiro considera que o índice de perdas de água na distribuição indica desperdício, aplicando a Equação 1. Já o segundo, considera que não há desperdício, excluindo da Equação 1 a parcela que considera as perdas de água na distribuição, configurando os limites máximos e mínimos, respectivamente, da estimativa anual.

Utilizou-se os dados de monitoramento pluviométrico mensal (APAC 2025a) e de climatologia (APAC 2025b) da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) no posto localizado no próprio município. O período de estudo totaliza 7305 dias, no qual, apenas 23 dias possuem falhas de registros, que foram resolvidas consultando os relatórios mensais da APAC que apresentam, os acumulados mensais precipitados e os destaques climatológicos.

Utilizando o Google Earth Engine, obteve-se os dados dos produtos da versão 2.2 do Global Land Data Assimilation System (GLDAS), um sistema avançado de modelagem da superfície terrestre e assimilação de dados de satélites, com resolução espacial de aproximadamente 25 km^2. Nela, utiliza-se o modelo Catchment Land Surface Model juntamente com os dados oriundos dos satélites GRACE (Oliveira 2023).

Fruto das parcerias entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Deustsche Forschungsanstalt fur Luft und Raumfahrt (DLR) a missão GRACE tem como um dos seus objetivos a medição de forma detalhada das mudanças no campo gravitacional da Terra a cada 30 dias. Ocorreram duas missões, sendo a segunda (GRACE Follow On), vigente até os dias atuais, lançada em junho de 2018. Esta missão consiste em dois satélites artificiais idênticos, que estão na mesma órbita, distantes 170 – 270 km entre si e com uma altitude inicial de aproximadamente 500 km. Cada satélite possui um sistema radiométrico de alcance da banda K/Ka, no espectro do micro-ondas. Os sensores se intercomunicam e fornecem medidas precisas das alterações na velocidade e distância entre os satélites (Landerer et al. 2020).

De acordo com Landerer et al. (2020), quando o primeiro satélite se aproxima de uma região com maior concentração de massa, como uma montanha, a força gravitacional o impele para frente, o que causa um distanciamento maior entre os dois satélites. Após o primeiro satélite passar a anomalia, sua velocidade é retardada. O segundo satélite, por sua vez, acelera e reduz no mesmo ponto da alteração gravitacional. Dessa forma, as medidas de distância entre eles, combinadas com um receptor GPS para determinação precisa de órbita, fornecem mapas detalhados dessas anomalias gravitacionais da Terra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores da estimativa de exploração de água subterrânea (EEAS) para abastecimento humano nos dois cenários (C1 e C2), além do consumo médio per capita de água (QPC) e perdas de água na distribuição (PAD).

Tabela 1. Estimativa de exploração de água subterrânea no município da Ilha de Itamaracá

Variáveis	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
EEAS.C1	1,2	1,3	1,1	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0
EEAS.C2	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	1,1	1,1
pop	33676	34591	31150	31565	32052	33504	26775	22347	22794	23923
QPC	55,2	54,9	55,0	46,5	53,4	59,2	88,6	109,2	130,9	129,4
PAD	83,6	83,60	82,3	86,0	85,0	81,8	78,4	77,6	67,0	73,6
Variáveis	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
EEAS.C1	1,9	2,0	2,0	2,2	2,3	2,6	2,7	2,8	3,0	3,6
EEAS.C2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,7	2,1	2,5
pop	24413	24888	25346	25789	25836	26258	26672	27076	24540	19417
QPC	129,4	130,3	128,3	140,1	154,4	169,5	174,8	175,2	229,2	351,6
PAD	69,0	68,0	69,4	67,2	61,3	61,7	60,4	60,0	47,9	45,0

EEAS.C1: cenário 1 (10^6 x m^3); EEAS.C2: cenário 2 (10^6 x m^3); pop: população (hab); qpc: consumo médio per capita (L/hab*dia); e pad: perdas de água na distribuição (%).
Fonte: Elaboração Própria (2025), SNSA (2025), MCID (2025a) e MCID (2025b).

No cenário 01 (EEAS.C1), os anos 2023, 2010 e 2008 apresentaram as maiores variações percentuais em relação aos anos imediatamente anteriores, sendo, respectivamente: 18,93%, 17,36% e 16,31%. Para o cenário 02 (EEAS.C2), os anos foram, 2012, 2023 e 2010, com os respectivos percentuais: 22,60%, 21,36% e 19,60%. Nota-se uma tendência de aumento anual do volume explorado de água subterrânea.

Os anos 2023, 2010 e 2022 apresentaram a maior variação percentual do QPC em relação ao ano imediatamente anterior, sendo, respectivamente: 53,38%, 49,66% e 30,81%. Nota-se uma tendência de aumento anual do QPC. Em 2010 o QPC do município foi inferior ao estadual (96,60), ao regional (117,30) e ao nacional (159,00), valores estes em L/hab*dia.

Já em 2022, o QPC do município foi superior ao do estado (111,88), ao da região (121,40) e ao do país (148,20). Analogamente, em 2023, o QPC do município foi superior ao estadual (182,61), ao regional (146,08) e ao nacional (175,68), valores estes em L/hab*dia.

Por sua vez, o PAD tem tido uma tendência de diminuição anual. Em 2023, o PAD no município foi superior ao do estado (41,8%) e ao do país (40,3%), e inferior ao da região (46,3%) (MCID 2024a). A partir de 2033 o PAD não deve ser maior que 25% (MCID 2024c).

Até 2022 o município era considerado como universalizado, pois toda a população era atendida por rede de abastecimento de água (pop). Realidade diferente de 2023, em que o índice foi de 78,33%, sendo 100% da população urbana atendida e apenas 3,05% da população rural.

Em relação as precipitações, a média climatológica acumulada (MCA) no município é de 2059,50 mm. Com exceção dos anos 2004 e 2023, a precipitação anual registrada foi inferior ao valor MCA. Mesmo com a diminuição das chuvas, há a preservação das características de crescimento, decrescimento e ponto máximo, comparando a climatologia mensal e a média mensal registrada no período do estudo. A climatologia indica que o primeiro trimestre do ano possui característica chuvosa, no entanto, isto tem sido frustrado quando comparado com a média mensal registrada, o que pode impactar a recarga do aquífero (APAC 2025b).

A ocorrência sucessiva de anos com precipitação superior ou inferior à normal climatológica em uma região pode gerar longos períodos com níveis de água subterrânea elevados ou reduzidos em relação a normal piezométrica (Van Camp e Walreavens 2013). Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas a variação da precipitação no município e no período de estudo.

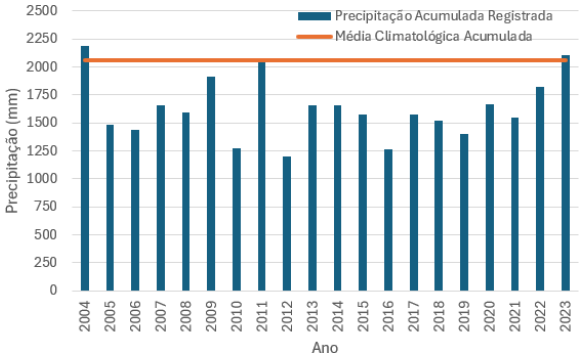


Figura 1. Precipitação anual registrada na Ilha de Itamaracá versus média climatológica anual – 2004 a 2023
Fonte: Elaboração Própria, 2025; APAC, 2025a e APAC, 2025b.

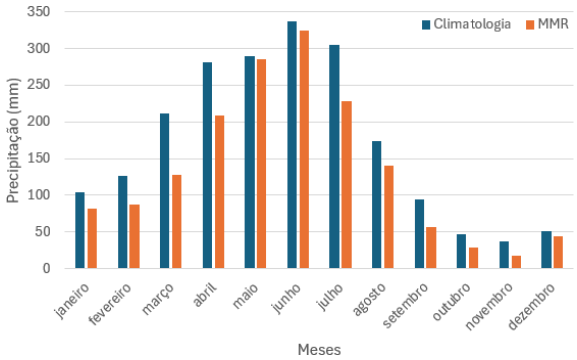


Figura 2. Climatologia versus média mensal registrada (MMR) na Ilha de Itamaracá – 2004 a 2023
Fonte: Elaboração Própria, 2025; APAC, 2025a e APAC, 2025b.

Alterações na distribuição espacial e temporal nos regimes de precipitações é uma das consequências das mudanças climáticas, assim como variação nas vazões de rios e recarga de aquíferos, o que pode impactar na produção de água para abastecimento humano. No estudo desenvolvido por Ramos et al. (2020), para um modelo numérico do fluxo de água subterrânea de um aquífero na costa leste africana, indicou que a precipitação e a variabilidade da temperatura afetam a recarga dos aquíferos e concluíram que é mais importante, para a recarga, se houver chuvas bem distribuídas e intensas frente ao acumulado total do ano, que pode ter sido gerada com chuvas fracas.

A variação mensal das águas subterrâneas foi obtida através do GLDAS 2.2. Em seguida, foram calculadas as estimativas médias anuais. Nota-se uma tendência de decrescimento das estimativas médias anuais já no segundo ano de estudo, havendo picos pontuais, que, no ano seguinte a estes, retorna a decrescer, e em sua maioria, abruptamente. Adotou-se a premissa de que as diferenças percentuais entre -5% e 5% denotam uma estabilidade. Assim é possível indicar que 10 dentre os 19 períodos bianuais foram estáveis.

Ademais, com os resultados obtidos pelo GLDAS-2.2, foram elaborados gráficos boxplot para avaliar qualitativamente a distribuição e variação dos dados. Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas, respectivamente, os resultados obtidos através do GLDAS – 2.2 e os respectivos gráficos boxplot, enquanto, na Tabela 2 são apresentados os valores estimados anualmente de água subterrânea no município e período de estudo.

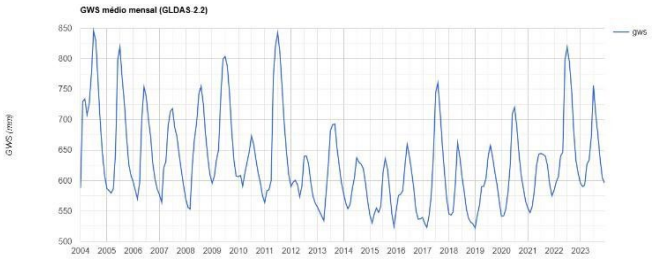


Figura 3. Estimativa mensal do volume de água subterrânea na Ilha de Itamaracá em 2004 a 2023
Fonte: GEE, 2025.

Tabela 2. Estimativas médias anuais de águas subterrâneas (10^3 x mm / m^2)

Anos	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Estimativas	720,5	667,0	638,9	639,1	644,8	689,3	623,8	678,3	599,1	609,6
Anos	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Estimativas	595,0	567,0	596,6	618,0	573,1	593,5	623,1	602,4	679,8	640,5

Fonte: Elaboração Própria (2025) e GEE (2025).

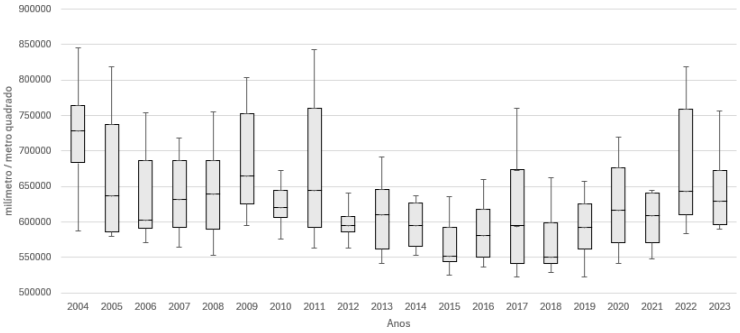


Figura 4. Boxplot da estimativa anual do volume de água subterrânea no município e entorno entre 2004 e 2023
Fonte: Elaboração Própria, 2025 e GEE, 2025.

Há maior dispersão das estimativas mensais nos anos de 2004, 2011, 2017 e 2022, gerando uma estimativa média anual maior frente aos demais anos. Em 2012, 2014, 2016 e 2020 as estimativas mensais foram concentradas e com as estimativas médias anuais inferiores, comparada com os demais anos. De 2012 a 2017 o Nordeste registrou um prolongado período de estiagem. A Defesa Civil de Pernambuco atuou com ações de enfretamento em 127 municípios do Agreste e Sertão, articulando com a Companhia Pernambucana de Saneamento estratégias para reforçar o abastecimento de água, como construção de adutoras emergenciais e a instalação de poços artesianos (Pernambuco 2025).

A precipitação acumulada anual na Ilha de Itamaracá neste período de estiagem foi bem abaixo da média anual climatológica, com destaque para 2012 e 2015, que foram os que apresentaram os menores acumulados entre 2004 e 2023. Notou-se ainda o consumo médio per capita de água de 2012 a 2017 aumentou expressivamente em relação aos anos anteriores, como consequência imediata, o aumento significativo da exploração para consumo humano. Por fim, a estimativa de água subterrânea, nos anos de 2012 a 2017, foram as menores frente as demais.

Dividiu-se o primeiro decênio em 3 períodos: (i) 2004–2006, (ii) 2007–2009 e (iii) 2010–2013. Em (i) houve queda abrupta no valor da mediana, indicando grande variação das estimativas mensais neste período. Já em (ii) houve um aumento gradativo do valor da mediana

frente ao período (i), indicando aumento das estimativas mensais neste período. Por fim, em (iii) houve alternância, de decrescimento e de crescimento do valor da mediana, indicando assim que em curto período (bienalmente), as variações mensais foram expressivas. Dividiu-se o segundo decênio em 2 períodos: (i) 2014–2018 e (ii) 2019–2023, no qual as medianas do período (ii) foram superiores ao do (i), indicando maior acúmulo estimado de água subterrânea.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios considerando períodos distintos: (i) 20 anos, (ii) 15 anos, (iii) 10 anos e (iv) 5 anos. A média no período (i) foi maior que as demais, devido as altas estimativas nos anos iniciais e a média no período (iv) foi superior que as dos períodos (ii) e (iii), demonstrando um aumento da estimativa de água subterrânea no município.

Tabela 3. Valores médios para 20, 15, 10 e 05 anos – Estimativas de águas subterrâneas (mm/m^2)

Período	**(i) 2004 - 2023**	**(i) 2004 - 2023**	**(iii) 2014 - 2023**	**(iv) 2019 - 2023**
Estimativas	629.461	618.599	607.886	627.854

Fonte: Elaboração Própria (2025)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto, através da missão GRACE, é uma excelente estratégia de análise qualitativa das variações das águas subterrâneas em uma região. Neste estudo, percebeu-se como vantagem a disponibilidade dos dados espacialmente e temporalmente. Como limitação, destaca-se a baixa resolução espacial do produto utilizado.

Porém, destaca-se a utilização dos produtos nativos do GRACE e do GDLAS, somadas a outros fatores de influenciam a recarga de um aquífero, como informações complementares para tomadas de decisões dos gestores de recursos hídricos, companhias de saneamento e governos. O estudo no município que possui carência no saneamento na área rural e que possui a captação subterrânea como fonte única de abastecimento é de suma importância, sobretudo para elaboração de políticas públicas de conscientização e preservação sobre o recurso natural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida ao autor principal e pelo apoio financeiro para participação no evento

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021. “Atlas Águas – Segurança Hídrica no Abastecimento Humano”. Acessado em 16 de junho de 2025. http://atlas.ana.gov.br

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2013. “Sistemas Aquíferos”.

Acessado em 26 de junho de 2025. https://metadados.snirh.gov.br/

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. 2025a. "Monitoramento Pluviométrico". Acessado em 16 de junho de 2025. http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). 2025b. "Climatologia". Acessado em 16 de junho de 2025. https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia

GEE – Google Earth Engine. Resultados da variação do armazenamento de água subterrânea com dados do satélite GRACE gerados em 16 de junho de 2025. https://earthengine.google.com/

Landerer, Félix W., Flechtner, Frank M., Salvar, Himanshu, et al. 2020. "Extending the global mass change data record: GRACE Follow-On instrument and science data performance". Geophysical Research Letters, v.47, n.12, e2020GL088306. https://doi.org/10.1029/2020GL088306

MCID - Ministério das Cidades. 2024a. "Painel de Indicadores - 2024". https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/

MCID - Ministério das Cidades. 2024b. "Diagnóstico SNIS". https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis

MCID - Ministério das Cidades (MCID). 2024c. "Portaria MCID nº 788, 1º de agosto de 2024". Diário Oficial da União 1º seção, 158 (agosto): 1677-7042. União. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/programa-minha-casa-minha-vida

MCID - Ministério das Cidades. 2025. "Resultados SINISA". https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa

Oliveira, Mayara. 2023. "Avaliação das variações dos estoques de água terrestre no nordeste brasileiro utilizando os produtos do GLDAS 2.2". Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/56325

Pernambuco – Governo de Pernambuco. 2025. sd. "Histórico". Acessado em 26 de junho de 2025. https://www.defesacivil.pe.gov.br/institucional/historico

Ramos, N. F., Folcha, A., Fernàndez-Garcia, D., et al. 2020. "Evidence of groundwater vulnerability to climate variability and economic growth in coastal Kenya". Journal of Hydrology 586, nº 7 (julho): 124920. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169420303802

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2025. "SNIS – Série Histórica". Acessado em 16 de junho de 2025. https://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/

SGB - Serviço Geológico do Brasil (2025). sd. "Sistema de Informações de Águas Subterrâneas". Acessado em 26 de junho de 2025. https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/

Van Camp, M., Walraevens, K. 2013. "Impacto f precipitation trends and the North Atlantic Oscillation on phreatic water levels in Low Belgium". GeologicaBelgica 16, nº 3 (março): 157-163. https://popups.uliege.be/1374-8505/index.php?id=4184.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036907

APROVEITAMENTO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS E RESÍDUOS NA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS PARA O SANEAMENTO RURAL SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO DE ABORDAGENS INOVADORAS

APROVECHAMIENTO DE MATERIALES ALTERNATIVOS Y RESIDUOS EN LA REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO PARA EL SANEAMIENTO RURAL SOSTENIBLE: UNA REVISIÓN DE ENFOQUES INNOVADORES

UTILIZATION OF ALTERNATIVE MATERIALS AND WASTE IN THE REMOVAL OF IRON AND MANGANESE FOR SUSTAINABLE RURAL SANITATION: A REVIEW OF INNOVATIVE APPROACHES

Clara Beatryz Gomes Vieira[1], Hellen da Silva Sousa[2], Jadyni Ester Matos e Silva[3] e Yannice Tatiane da Costa Santos[4]

[1]Mestranda, URCA, Crato - CE, Brasil, clara.gomes@urca.br, nº de ORCID 0009-0009-3387-9705;
[2]Mestranda, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, hellen.silva.sousa07@aluno.ifce.edu.br , nº de ORCID;
[3]Mestranda, URCA, Crato - CE, Brasil, jadyni.matos@urca.br, nº de ORCID 0009-0001-3917-5233;
[4]Professora Doutora, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, yannice@ifce.br, nº de ORCID 0000-0002-6730-1815.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Modelos de tratamento e filtração simplificados para pequenas comunidades.
.
Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Modelos simplificados de tratamiento y filtración para pequeñas comunidades.

Thematic Axis 03 – Technologies for Water Supply
Simplified treatment and filtration models for small communities.

RESUMO

Garantir o acesso universal à água potável e segura, como previsto no ODS 6 da ONU, continua sendo um desafio em áreas rurais, onde a ausência de infraestrutura convencional de saneamento impõe a busca por soluções alternativas. Nessas localidades, elevadas concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn) comprometem a qualidade da água, provocam alterações organolépticas, reduzem a vida útil de tubulações e, no caso do Mn, podem ocasionar efeitos neurotóxicos, especialmente em crianças. Este trabalho realiza uma revisão sistemática sobre o aproveitamento de materiais alternativos e resíduos na remoção de Fe e Mn de águas de abastecimento, discutindo seu potencial para o saneamento rural sustentável. A pesquisa considerou artigos publicados entre 2015 e 2025 em bases como Scopus, Web of Science e ScienceDirect, contemplando resíduos agroindustriais, subprodutos da construção civil e mineração, biomassas, carvões ativados e materiais naturais modificados (zeólitas e argilas). Os resultados mostram que esses materiais apresentam mecanismos de adsorção, troca iônica e precipitação, com vantagens como baixo custo, abundância local e contribuição para a economia circular. Contudo, permanecem desafios, incluindo a variabilidade composicional dos resíduos, a necessidade de pré-tratamentos e a adaptação para aplicações em escala real. Ainda assim, a valorização de resíduos configura uma estratégia promissora para fortalecer a autossuficiência das comunidades rurais.

Palavras-chave: Ferro, Manganês, Saneamento Rural, Resíduos, Economia Circular.

RESÚMEN

Garantizar el acceso universal al agua potable y segura, como establece el Objetivo de Desarrollo Sostenible nº 6 de la ONU, sigue siendo un desafío en las zonas rurales, donde la ausencia de infraestructura convencional de saneamiento exige la búsqueda de soluciones alternativas. En estas localidades, las altas concentraciones de hierro (Fe) y manganeso (Mn) comprometen la calidad del agua, provocan alteraciones organolépticas, reducen la vida útil de las tuberías y, en el caso del Mn, pueden ocasionar efectos neurotóxicos, especialmente en los niños. Este estudio realiza una revisión sistemática sobre el aprovechamiento de materiales alternativos y residuos en la eliminación de Fe y Mn de aguas de abastecimiento, discutiendo su potencial para el saneamiento rural sostenible. La investigación consideró artículos publicados entre 2015 y 2025 en bases de datos como Scopus, Web of Science y ScienceDirect, abarcando residuos agroindustriales, subproductos de la construcción y la minería, biomasas, carbones activados y materiales naturales modificados (zeolitas y arcillas). Los resultados muestran que estos materiales presentan mecanismos de adsorción, intercambio iónico y precipitación, con ventajas como bajo costo, disponibilidad local y contribución a la economía circular. No obstante, persisten desafíos, incluyendo la variabilidad composicional de los residuos, la necesidad de pretratamientos y la adaptación para aplicaciones a escala real. Aun así, la valorización de residuos se configura como una estrategia prometedora para fortalecer la autosuficiencia de las comunidades rurales.

Palabras clave: Hierro, Manganeso, Saneamiento Rural, Residuos, Economía Circular.

ABSTRACT

Ensuring universal access to safe and potable water, as established in the UN Sustainable Development Goal 6, remains a challenge in rural areas, where the absence of conventional sanitation infrastructure requires the search for alternative solutions. In these localities, high concentrations of iron (Fe) and manganese (Mn) compromise water quality, cause organoleptic alterations, reduce the lifespan of pipelines, and, in the case of Mn, may lead to neurotoxic effects, especially in children. This study conducts a systematic review on the use of alternative materials and wastes for the removal of Fe and Mn from drinking water, discussing their potential for sustainable rural sanitation. The research considered articles published between 2015 and 2025 in databases such as Scopus, Web of Science, and ScienceDirect, focusing on agro-industrial residues, construction and mining by-products, biomasses, activated carbons, and modified natural materials (zeolites and clays). The results show that these materials present mechanisms of adsorption, ion exchange, and precipitation, with advantages such as low cost, local availability, and contribution to the circular economy. However, challenges remain, including compositional variability of residues, the need for pretreatments, and adaptation to real-scale applications. Nevertheless, the valorization of wastes emerges as a promising strategy to strengthen the self-sufficiency of rural communities.

Keywords: Iron, Manganese, Rural Sanitation, Wastes, Circular Economy.

INTRODUÇÃO

Um dos pilares para a garantia da saúde pública e desenvolvimento socioeconômico é garantir que todos tenham acesso à água potável e segura, como é afirmado no sexto objetivo (água potável e saneamento) dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU 2015). Porém a universalização desse objetivo enfrenta diversos desafios, especialmente em áreas rurais, onde a estrutura tradicional de saneamento costuma ser inviável, devido à necessidade de adaptação às características individuais de cada área e consequente aumento dos custos para implementação, operação e manutenção. Com isso, acarreta que a maior parte dessas comunidades recorre a soluções alternativas para o abastecimento de água, em sua grande parte, cavam poços individuais ou para um determinado grupo de casas próximas. Um dos problemas recorrentes que afetam a qualidade da água nesses contextos é a presença de metais como ferro (Fe) e manganês (Mn) em concentrações elevadas.

Altas concentrações desses metais podem acarretar diversos problemas, sendo eles a alteração da estética e características organolépticas da água (coloração, sabor metálico e odor), diminuindo a aceitação da água por parte da população. Além de que esses metais causam incrustações nas tubulações e equipamentos reduzindo a vida útil da infraestrutura e a eficiência dos sistemas de tratamento (Tobiason *et al.* 2016). O manganês, em particular (em concentrações elevadas) tem sido associado a efeitos neurotóxicos, principalmente em crianças, o que aumenta a preocupação com a saúde pública (Tobiason *et al*. 2016).

Com isso, atualmente, busca-se com urgência soluções de saneamento eficientes, ecologicamente corretas, economicamente viáveis e que se adaptem às realidades locais, a fim de ir sempre em busca da universalização do saneamento. Dessa forma a economia circular surge como um paradigma promissor, propondo a revalorização de materiais que seriam descartados, transformando-os em recursos valiosos.

Portanto o aproveitamento de resíduos e materiais alternativos visando o tratamento de água minimiza o impacto ambiental do descarte e oferece a oportunidade de desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis contribuindo para a resiliência hídrica e a autossuficiência das comunidades rurais (Boguniewicz-Zabłocka e Capodaglio 2017).

Esse trabalho tem como objetivo explorar e discutir o uso de materiais alternativos e resíduos na remoção de ferro e manganês em meio aquoso, visando a remoção desses metais em águas de abastecimento humano e sua aplicabilidade para o saneamento rural sustentável. Essa análise visa fornecer uma visão abrangente das abordagens inovadoras que podem ser adaptadas para melhorar a qualidade da água e promover a saúde pública em comunidades rurais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta revisão bibliográfica foi realizada a partir de consultas a bases de dados científicas como Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. Foram pesquisadas combinações de palavras-chave como "remoção de ferro", "remoção de manganês", "materiais alternativos", "resíduos", "adsorção", "saneamento rural", "tratamento de água de baixo custo" e "economia circular", de forma a reunir trabalhos relevantes para a discussão do tema.

Critérios de Seleção: Foram selecionados trabalhos científicos publicados nos últimos 10 anos (2015-2025), com foco em estudos que abordassem a aplicação de materiais alternativos e resíduos para o tratamento de águas contaminadas por ferro e manganês. Priorizou-se a relevância para contextos de saneamento rural e sustentabilidade, bem como a apresentação de dados sobre a eficácia dos materiais, mecanismos de remoção, vantagens e desafios de sua aplicação.

Critérios de Exclusão: Foram desconsiderados estudos que não apresentavam dados significativos para o tema desta pesquisa, artigos com foco exclusivo em tratamento de efluentes industriais sem aplicabilidade ao saneamento de água potável, e publicações fora do corte temporal escolhido. Também foram excluídos trabalhos que não abordavam diretamente a remoção de ferro e manganês ou que utilizavam materiais não classificados como alternativos ou resíduos.

A análise dos documentos selecionados permitiu a identificação das principais categorias de materiais, suas características, mecanismos de remoção e as vantagens e desvantagens da aplicação desses materiais para o tratamento de águas de abastecimento, servindo como base para a discussão apresentada neste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Materiais alternativos e resíduos para remoção de ferro e manganês

A busca por materiais alternativos e resíduos para a remoção de ferro e manganês tem sido um campo fértil de pesquisa, impulsionado pela necessidade de soluções de tratamento de água mais sustentáveis e econômicas. Diversos materiais, que de outra forma seriam considerados subprodutos ou lixo, possuem características físico-químicas que os tornam promissores como adsorventes ou agentes precipitantes.

Resíduos Agroindustriais

Os resíduos agroindustriais constituem uma categoria ampla de materiais orgânicos gerados em grande escala por atividades agrícolas e pelo processamento de alimentos. Muitos desses resíduos são ricos em celulose, hemicelulose, lignina e outros compostos que contêm grupos funcionais, como hidroxilas, carboxilas e aminas, capazes de interagir com íons metálicos em solução (Furlan *et al*. 2018). Exemplos comuns incluem cascas de frutas (banana, laranja, coco), bagaços (como de cana-de-açúcar), palhas (arroz, milho) e sementes (Rudi *et al.* 2020).

O uso desses materiais para o tratamento de água geralmente envolve mecanismos como adsorção física, complexação ou troca iônica, capazes de reter íons de ferro e manganês na superfície ou estrutura do material (Rudi *et al.* 2020). A principal vantagem está na abundância, no baixo custo e na natureza biodegradável, que minimiza a geração de resíduos secundários. No entanto, a eficiência depende de fatores como a origem do resíduo, o pré-tratamento aplicado (secagem, trituração, modificações químicas ou térmicas) e as condições operacionais, como pH, concentração inicial de íons, tempo de contato e temperatura (Tejada-Tovar *et al.* 2023).

No contexto brasileiro, pesquisas têm demonstrado o potencial desses materiais. Um estudo em Siderópolis (SC) avaliou o uso da casca de banana e do coração da bananeira como biossorventes para remoção de ferro total e manganês em água de lagoa, obtendo significativa redução do ferro (Souza *et al*. 2024). Outra pesquisa em Belo Horizonte comparou as cascas de banana das variedades Prata, Caturra e Maçã para remoção de manganês e cromo, observando diferentes eficiências de acordo com a variedade e a composição química das cascas (Franco, Castro e Walter 2015). Além disso, o uso de carvão ativado produzido a partir

de sabugo de milho demonstrou boa capacidade de adsorção de Mn(II), com resultados ajustados ao modelo de Sips e capacidade de adsorção próxima de 12 $mg \cdot g^{-1}$ (Guedes *et al.* 2021).

Resíduos da Construção Civil e Mineração

Elewa *et al.* (2023) afirma que resíduos da construção civil (RCC) e de mineração, bem como outros materiais de origem mineral vem sendo investigados como adsorventes ou precipitantes para remoção de metais em meio aquoso. Apesar de sua origem inorgânica, a grande maioria desses materiais têm estrutura porosa e sua composição pode conferir a esses materiais a capacidade de adsorção e capacidade de troca iônica (Silva *et al.* 2024; Miguel, Barreto e Pereira 2015; Silveira *et al.* 2024).

Subprodutos de rochas calcárias, ricos em carbonato de cálcio, podem atuar como agentes alcalinizantes, promovendo a precipitação de hidróxidos de ferro e manganês. Além desses exemplos de resíduos que podem ser usados para remoção de metais, resíduos de estações de tratamento de água (em sua maioria ricos em sílica e alumina) podem ser transformados em geopolímeros que atuam como agentes precipitantes (Pachana *et al* 2022). Esses materiais liberam íons hidróxido, promovendo a formação de precipitados de ferro e manganês (na sua forma de hidróxido) facilitando assim a remoção desses metais da água. A formação de precipitados é essencial para facilitação da remoção de metais em meio aquoso, pois a partir do momento que o precipitado é formado, essa remoção pode acontecer por meio físico.

Nascimento *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2024) afirmam que a eficácia do tratamento através desses materiais dependerá de vários fatores, por exemplo da sua composição, área de superfície, presença de sítios ativos para a interação com os íons de interesse e dependerá também das condições operacionais, como temperatura, pH, entre outros. A grande vantagem é o baixo custo (vantagem crucial quando se trata de saneamento rural), a disponibilidade local e a possibilidade de transformar um passivo ambiental em um recurso útil para o tratamento de água, contribuindo para a gestão sustentável de resíduos (Silva *et al.* 2024; Pachana *et al*. 2022).

Biomassa e carvões ativados

A biomassa, em suas diversas formas, e os carvões ativados produzidos a partir dela, configuram uma classe promissora de adsorventes para remoção de ferro e manganês.

Biomassa bruta (como serragem, cascas de arroz, casca de banana e outros resíduos vegetais) pode ser empregada diretamente como adsorvente. Porém, alguns desses materiais necessitam de um processo de ativação (térmica e/ou química), esse processo, atua alterando as condições naturais do material pretendido para adsorção podendo melhorar sua eficiência de remoção, gerando carvões ativados com elevada capacidade de adsortiva (Elewa *et al.* 2023).

Uma alternativa viável para comunidades rurais é produzir carvões ativados a partir de resíduos orgânicos de baixo custo, que competem bem com carvões comerciais em desempenho, mas com custos muito inferiores. Há estudos que demonstram resultados satisfatórios nessa linha, como o estudo de Tomaz *et al.* (2023) que trata de carvões ativados de resíduos de castanha-do-Pará e andiroba e mostrou remoções ≥ 85%, chegando perto de 100% no caso do ferro, quando extraído com carvão de andiroba, após ativação química. Além dessas espécies há diversos estudos tratando de carvões de diversas espécies sendo usados para adsorção, sendo possível verificar a existência de trabalhos com espécies abundantes da comunidade rural de interesse para que não seja necessária a importação de resíduos.

No Brasil, há também pesquisas promissoras com biomassa local. O trabalho desenvolvido por Cortéz (2025) sintetizou biocarvões a partir de casca de banana, variando agente de ativação (H_3PO_4 ou NaOH), temperatura e tempo de residência, demonstrando bom desempenho para remoção de Fe e Mn em soluções aquosas. Outro estudo comparou filtração adsortiva com carvão ativado granular para remoção de ferro e manganês de águas de abastecimento público utilizando também zeólita, revelando que o carvão ativado poderia alcançar padrões de potabilidade em determinadas condições operacionais (Emboaba 2022).

Também se investiga o número de ciclos que esses materiais aguentam (ciclos de adsorção e dessorção), testando assim sua regenerabilidade, elemento fundamental para a viabilidade prática.

Outros materiais

Além das categorias mencionadas, uma variedade de outros materiais alternativos e subprodutos industriais tem sido explorada para a remoção de ferro e manganês. Isso inclui materiais naturais modificados, como zeólitas e argilas tratadas. No Brasil, por exemplo, o trabalho de Silveira *et al.* (2024) testou filtração adsortiva com zeólitas, em escala de bancada e piloto, para remoção de ferro e manganês de água de manancial de Irati-PR, obtendo remoções satisfatórias para concentrações moderadas dos metais.

A pesquisa contínua busca identificar novos materiais que sejam abundantes e de baixo custo, com alta seletividade e capacidade de remoção, e que possam ser integrados em sistemas de tratamento de água de forma eficiente e sustentável. Atualmente visa-se também materiais que naturalmente já tenham alta capacidade de remoção, sem a necessidade de passá-los por processos físico-químicos, com o intuito de cada vez mais baratear e universalizar as tecnologias de tratamento de água para abastecimento.

Vantagens e desafios

O uso de materiais alternativos e resíduos no tratamento de água para remoção de ferro e manganês apresenta benefícios significativos, especialmente para o atendimento de comunidades rurais e pequenas localidades que frequentemente carecem de infraestrutura de saneamento. A principal vantagem está na redução dos custos de tratamento, já que muitos desses materiais são de baixo custo ou gratuitos, possibilitando soluções economicamente viáveis e reduzindo a dependência de produtos químicos caros ou importados. Além disso, o aproveitamento de resíduos contribui para a economia circular, transformando um passivo ambiental em um recurso útil e reduzindo o impacto ambiental do processo de saneamento. A disponibilidade local desses materiais diminui custos de transporte, facilita a implementação e fortalece a autonomia das comunidades, promovendo o desenvolvimento regional.

Porém, há alguns desafios quando se decide aplicar o uso desses materiais no tratamento de águas de abastecimento. A variabilidade na composição físico-química dos resíduos exige caracterizações e, muitas vezes, pré-tratamentos para garantir desempenho consistente. A transição de experimentos laboratoriais para sistemas em escala real requer o desenvolvimento de tecnologias simples, robustas e de fácil manutenção, adequadas para operação descentralizada. Aspectos regulatórios e a necessidade de comprovação de que o uso desses materiais não introduz novos contaminantes também são fundamentais para sua aceitação. Finalmente, a regeneração dos adsorventes e o descarte seguro após a saturação são etapas essenciais para assegurar a sustentabilidade ambiental e econômica das soluções a longo prazo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de materiais alternativos e resíduos na remoção de ferro e manganês em sistemas de saneamento vai além da simples eficiência técnica, assumindo um papel essencial

para o desenvolvimento sustentável e a promoção da economia circular. Essa estratégia ajuda a diminuir a pegada ecológica do saneamento, reduzindo a necessidade de recursos virgens e atenuando a produção de resíduos. Em vez de extrair e processar novos materiais, o foco está na revalorização de subprodutos que, de outro modo, seriam descartados, encerrando ciclos de materiais e energia.

Um aspecto fundamental é a criação de valor a partir de resíduos. Resíduos vindos de diversos setores que geraram custos de descarte e problemas ambientais, podem ser transformados em insumos para o tratamento de água. Isso traz vantagens ambientais e econômicas, pois, ao gerar novas cadeias de valor e oportunidades de negócios locais. O incentivo a soluções locais e a autossuficiência das comunidades é fortalecido, uma vez que a utilização de materiais regionais reduz a necessidade de cadeias de suprimentos complexas e onerosas.

Essa estratégia está ligada aos princípios de Environmental, Social and Governance (ESG), que guiam as práticas de sustentabilidade em empresas e governos. Do ponto de vista ambiental, diminui a contaminação e o uso de recursos. Do ponto de vista social, facilita o acesso à água potável em comunidades desfavorecidas e incentiva o envolvimento local. Essa simples ação promove políticas públicas que fomentam a inovação e a gestão integrada de resíduos e recursos hídricos. Além disso, contribui diretamente para a realização de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, incluindo o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). A incorporação dessas estratégias no saneamento rural é um passo fundamental para construir sistemas mais resilientes, equitativos e em harmonia com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boguniewicz-Zabłocka, Joanna, e Andrea G. Capodaglio. 2017. "Sustainable Wastewater Treatment Solutions for Rural Communities: Public (Centralized) or Individual (On-Site). Case Study." *Economic and Environmental Studies (E&ES)* 17 (4): 1103–19.

Cortéz, Marcela de Oliveira Brahim. 2025. *Síntese e Caracterização de Hidrochar de Casca de Banana para Aplicação na Remoção de Ferro e Manganês em Sistemas Aquosos*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa.

Elewa, Amal M., *et al.* 2023. "Chemically Activated Carbon Based on Biomass for Adsorption of Fe(III) and Mn(II) Ions from Aqueous Solution." *Materials* 16 (3): 1251.

Emboaba, Débora Garcia. 2019. *Estudo comparativo de remoção de ferro e manganês de solução aquosa por ozonização seguida de filtração utilizando areia, zeólita e carvão ativado granular*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste.

Franco, Carolina Cardoso, Miria Moreira de Castro, e Maria Elena Walter. 2015. "Estudo das Cascas de Banana das Variedades Prata, Caturra e Maçã na Biossorção de Metais Pesados Gerados pelos Efluentes dos Laboratórios do Centro Universitário de Belo Horizonte." *e-xacta* 8 (1): 99–115.

Furlan, Fernanda Lansa, *et al.* 2018. "Use of Agricultural and Agroindustrial Residues as Alternative Adsorbents of Manganese and Iron in Aqueous Solution." *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 13 (2): e2181.

Guedes, G. A. J. C., N. F. Campos, e M. M. M. B. Duarte. 2021. "Estudos Cinético e de Equilíbrio de Adsorção de Mn(II) Usando Carvão Ativado Preparado a Partir de Resíduo Agroindustrial." In *60 Congresso Brasileiro de Química*. Recife.

Miguel, Miriam Gonçalves, Rodrigo Paiva Barreto, e Sueli Yoshinaga Pereira. 2015. "Analysis of Aluminum, Manganese, and Iron Adsorption for the Design of a Liner for Retention of the Acid Mining Drainage." *Water, Air, & Soil Pollution* 226: 67.

Nascimento, Ronaldo Ferreira do, *et al.* 2020. *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*. 2ª ed. Fortaleza: Imprensa Universitária.

Organização das Nações Unidas. 2015. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova Iorque: Organização das Nações Unidas. https://sdgs.un.org/2030agenda.

Pachana, Pumipat K., *et al.* 2022. "Sustainable Utilization of Water Treatment Residue as a Porous Geopolymer for Iron and Manganese Removals from Groundwater." *Journal of Environmental Management* 302: 114036.

Rudi, Nurul Nadia, *et al.* 2020. "Evolution of Adsorption Process for Manganese Removal in Water via Agricultural Waste Adsorbents." *Heliyon* 6 (10): e05049.

Silva, Thiago Lopes da, *et al.* 2024. "Adsorption and Ion Exchange of Toxic Metals by Brazilian Clays: Clay Selection and Studies of Equilibrium, Thermodynamics, and Binary Ion Exchange Modeling." *Environmental Science and Pollution Research* 31 (50): 50857–73.

Silveira, Henrique Azevedo, Jeanette Beber de Souza, Giovana Kátie Wiecheteck, e Carlos Magno de Souza Vidal. 2024. "Remoção de Ferro e Manganês da água bruta de abastecimento empregando Filtração Adsortiva em Zeólitas, em escala de bancada." *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação* 9 (1): 15–27.

Tejada-Tovar, Candelaria, Ángel Villabona-Ortíz, e Rodrigo Ortega-Toro. 2023. "Removal of Metals and Dyes in Water Using Low-Cost Agro-Industrial Waste Materials." *Applied Sciences* 13 (14): 8481.

Thomaz, Kelly Taise C., *et al.* 2023. "Removal of Fe and Mn Ions from Groundwater Using Activated Carbon Obtained from Waste Products of Brazil Nut and Andiroba Cultivation in the Amazon Region." *Sustainable Materials and Technologies* 38: e00737.

Tobiason, John E., *et al.* 2016. "Manganese Removal from Drinking Water Sources." *Current Pollution Reports* 2: 168–77.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036973

ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS: RELATO DE EXPERIÊNCIA

João Victor Bezerra da Silva[1], Félix Gomes dos Santos [2], Saulo Roberto Soares de Brito[3] e Elizângela Maria de Souza[4].

[1]Graduando em Agronomia, IFSertãoPE - Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, joao.victor4@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0005-9283-4540;
[2]Graduando em Agronomia, IFSertãoPE - Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, felix.gomes1@aluno.IFSertaope.edu.br, ORCID: 0009-0006-9876-2418;
[3]Graduando em Agronomia, IFSertãoPE - Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, saulo.roberto@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID:0009-0009-2077-2618;
[4]Doutora em Zootecnia, IF Sertão Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0000-0002-8949-3774.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural.

RESUMO

A água é um recurso natural indispensável para a humanidade e é utilizada de diversas formas, seja no plantio de lavouras, na criação de animais e, principalmente, no consumo humano, ou seja, é correto afirmar que se trata de um recurso de extrema importância e, por conta disso, deve-se encontrar meios para que ele seja perpetuado e utilizado de forma correta, sustentável e consciente, esse recurso se torna ainda mais importante em locais com difícil ou nenhum acesso a ele, onde não há redes de distribuição e nem rios, lagos, açudes ou outras fontes de água por perto então, nesse caso, o uso de águas subterrâneas surge como uma alternativa para suprir essa necessidade e garantir autonomia para as pessoas que residem nessas regiões. Além da necessidade de ter uma fonte de água, é preciso um local para armazená-la, pensando nisso, o autor desse relato experiência implementou em sua propriedade, que fica a uma distância de 7 km do município de Santana do Sobrado, um reservatório forrado com lona de silagem para armazenar um volume considerável de água e promover um melhor uso dela. A fonte de água utilizada nesse relato experiência se trata de um poço artesiano perfurado com uma distância de 50 metros entre o solo e o subsolo e que tem uma vazão de 3.000 litros de água por hora. Os poços artesianos não são uma fonte de água inesgotável, portanto, se extraída de forma indiscriminada e sem nenhum tipo de planejamento, essa água pode se tornar indisponível de forma temporária ou permanente, esse fato evidencia como a humanidade tem o dever de buscar soluções e alternativas para promover a sustentabilidade dos mais variados recursos naturais, afinal, as ações da atual geração de pessoas vai afetar diretamente as gerações futuras e a forma como é tratado os recursos naturais precisa de uma atenção especial, além da necessidade de ser tratado como um tema sensível.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, Recursos hídricos, Soluções alternativas.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o acesso à água potável ainda é marcado por desigualdades, resultado de condições geográficas e da falta de políticas públicas eficazes. No Nordeste, essa realidade é ainda mais crítica, afetando especialmente as populações rurais. Como alternativa para enfrentar a escassez, o uso de poços artesianos tem se consolidado como uma solução importante, garantindo o suprimento de um recurso vital para a subsistência (ANJOS *et al.*, 2024).

A crescente demanda por recursos hídricos é significativa, portanto, a exploração de águas subterrâneas é um método de abastecimento necessário devido à sua abundância, qualidade e custo de coleta relativamente baixo. Porém, deve-se considerar que grande parte das águas superficiais estão em condições inadequadas devido sua degradação qualitativa, e que o tratamento dessas águas gera altos custos, além disso em regiões áridas e semiáridas a evaporação produz perdas significativas (TORRES *et al.*, 2024).

Além da busca por recursos hídricos, é de vital importância desenvolver métodos para otimizar o manejo e o armazenamento, pois todos os meios de extração de água são finitos, associado a isso, é interessante também que esses métodos estejam alinhadas com a perda mínima de água, seja por evaporação e/ou infiltração no solo. Também é correto afirmar que nem todas as pessoas possuem as condições financeiras necessárias para implementar em sua propriedade métodos de armazenamento de altos volumes de água como, por exemplo, o uso de caixas d'água ou a construção de reservatórios de alvenaria, então se faz necessária a adoção de métodos que sejam mais viáveis do ponto de vista financeiro.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Na região onde reside a propriedade rural do desenvolvedor desse relato experiência não há redes de distribuição semelhante aos projetos de irrigação gerenciados por órgãos como o DINC (Distrito de Irrigação Nilo Coelho) e Codevasf, nela também não possui fontes inesgotáveis de água em sua proximidade então, dessa forma, surgiu a necessidade de perfurar e implementar um poço artesiano com o objetivo de ter água com foco no uso agrícola. Junto com a necessidade de se ter uma fonte de água veio também a necessidade de um local para armazená-la, um reservatório capaz de armazenar um bom volume e que fosse economicamente viável. O reservatório desenvolvido armazena aproximadamente 7.500 litros de água e se

mostrou uma solução mais barata se comparada à sistemas de armazenamento que utilizam alvenaria ou caixas d'água.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Para implementar o reservatório, foi escavado um buraco de formato retangular no chão utilizando ferramentas como enxadas, pás e picaretas, esse buraco possui 4 metros de comprimento, 2,5 metros de largura e 75 centímetros de altura, ele foi forrado com uma lona de 200 micras (Figura 1), a lona foi comprada com uma metragem superior ao buraco, pois é necessário que haja uma sobra nas bordas para que seja feita a fixação da lona, essa fixação foi feita utilizando as pedras e a terra que foram retiradas durante o processo de escavação, esse material foi posto em cima das sobras da lona nas bordas do reservatório a fim de fixa-la. O reservatório é enchido com a água do poço artesiano cuja vazão atinge 3.000 litros por hora.

Figura 1. Reservatório de água do poço artesiano
Fonte: Aquivo pessoal, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização desse reservatório proporcionou um melhor aproveitamneto da água do poço artesiano, uma vez que ao concentrá-la em um local de armazenamento foi permitido ao autor ter um controle maior de seu uso, ou seja, o poço que capta as águas do subsolo só é acionado para repor a água utilizada. Ao saber o volume total do reservatório e a vazão do poço artesiano é possível determinar quantas horas por dia ele pode levar água ao reservatório, de

forma prática isso pode ser feito da seguinte forma: o reservatório tem espaço para 7.500 litros de água e o poço artesiano libera 3.000 litros de água por hora, dessa forma serão necessárias 2 horas e 30 minutos para que ele venha a atingir sua capacidade total. Em caso de reposição geramente são gastos de 40 minutos a 1 hora por dia para que ele volte a atingir sua capacidade máxima. Esse cálculo também otimiza a recuperação das águas do aquífero subterrâneo, uma vez que evita seu uso indiscrimidao. Esse modelo se mostrou ser mais prático e também mais viável economicamente, pois se esse mesmo volume fosse armazenado em caixa d'água o gasto seria consideravelmente maior e se fosse feito de alvenaria seria mais laborioso e haveria um custo maior também, tendo em vista que o único gasto foi a lona de 200 micras cujo valor foi R$ 217,00.

Há previsão de retirar a primeira safra de macaxeira, aproximadamente 2.350 Kg (referentes a 400 plantas) irrigadas com uso de água de poço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de armazenamento demonstrado nesse relato experiência se provou uma alternativa economicamente viável e que proporciona uma baixa perda de água, uma vez que não há perdas por infiltração e a evaporação é mínima, além de promover a sustentabilidade de uma bem tão precioso como é a água, podendo ser integrado em propriedades que façam o uso de águas subterrâneas, é também uma opção acessível para propriedades que precisem de soluções para a gestão e uso assertivo de água. Vale ressaltar que a água desse reservatório é de uso exclusivo para a agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, D.S. Qualidade da água de poços artesianos que abastecem a zona rural do Estado de Sergipe. **Revista Macambira**, *[S. l.]*, v. 8, n. 1, p. 1–20, 2024.

TORRES, L.M.G et. USO E CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ZONAS RURAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas,** Macapá, n. 16, p. 95-110, 2024.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19036991

AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA EM PONTOS DE HIDRATAÇÃO DE CENTROS RELIGIOSOS NO MUNICIPIO DE JUAZEIRO DO NORTE-CE

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN PUNTOS DE HIDRATACIÓN DE CENTROS RELIGIOSOS DEL MUNICIPIO DE JUAZEIRO DO NORTE-CE

MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF WATER AT HYDRATION POINTS OF RELIGIOUS CENTERS IN THE MUNICIPALITY OF JUAZEIRO DO NORTE-CE

Janaína Andrade[1], Mira de Lima[2], Maria Izabel Andrade[3], Germário Araújo[4]

[1]Mestranda em Meio Ambiente IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, janaina.andrade03@aluno.ifce.edu.br, 0009-0002-3680-6121;
[2]Doutora em Química Biológica pela URCA- Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, mira.raya@ifce.edu.br, 0000-0002-1736-7488;
[2]Estudante do Curso Técnico em Controle Ambiental, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, izabelandrade2828@gmail.com, 0009-0000-6069-6415;
[4] Doutor em Engenharia Civil, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, germario@ifce.edu.br, 0000-0002-3388-0265.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para o Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Cambio Climático
Tecnologías para el Abastecimiento de Agua Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo del agua para consumo humano.

Thematic Axis 03 – Climate Change
Technologies for Water Supply Quality aspects: characterization and monitoring of water for human consumption.

RESUMO

O presente estudo realizado em Juazeiro do Norte, Ceará, avaliou a qualidade microbiológica da água em pontos de hidratação de grande circulação em centros religiosos, destacando a importância da água potável para a saúde pública, especialmente em locais com grande fluxo de pessoas como os períodos de romaria. Foram coletadas amostras de água nos meses junho e agosto de 2025 em quatro locais de grande valor religioso e cultural, incluindo bebedouros e um pote cerâmico de uso coletivo. As análises avaliaram a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, indicadores de contaminação, com base nos padrões da Portaria GM/MS nº 888/2021. Os resultados mostraram uma divergência significativa na qualidade da água. Os pontos localizados no Museu Casa do Pe. Cícero (P1) e no Centro de Apoio ao Romeiro (P4) estavam em conformidade com os padrões de potabilidade, com ausência de contaminação em ambas as coletas. Em contrapartida, os pontos na Igreja de São Francisco (P2) e no Museu Vivo (P3) apresentaram contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*. A presença de *E. coli* nos pontos P2 e P3 indica contaminação fecal recente, representando um sério risco à saúde dos consumidores e aumentando a possibilidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica. O estudo sugere que essa contaminação pode ser atribuída a fatores como o intenso

fluxo de visitantes, a falta de manutenção adequada dos reservatórios e a proximidade com fontes de contaminação, como banheiros. Diante disso, faz-se necessário a implementação de ações de monitoramento, manutenção e fiscalização para garantir a segurança da água e proteger a saúde da população e dos romeiros que visitam a cidade.

Palavras-chave: Qualidade da Água, Indicadores de Contaminação, Potabilidade, Saúde pública

RESÚMEN

Este estudio, realizado en Juazeiro do Norte, Ceará, evaluó la calidad microbiológica del agua en puntos de consumo con alta afluencia en centros religiosos, destacando la importancia del agua potable para la salud pública, especialmente en lugares con gran afluencia de público, como las peregrinaciones. Se recolectaron muestras de agua en junio y agosto de 2025 en cuatro lugares de gran valor religioso y cultural, incluyendo bebederos y una olla de cerámica comunitaria. Los análisis evaluaron la presencia de coliformes totales y Escherichia coli, indicadores de contaminación, con base en los estándares establecidos por la Ordenanza GM/MS No. 888/2021. Los resultados mostraron una divergencia significativa en la calidad del agua. Los puntos ubicados en la Casa do Pe. Museo Cícero (P1) y el Centro de Apoyo al Peregrino (P4) cumplieron con los estándares de potabilidad, sin contaminación en ambas colecciones. Por el contrario, los puntos en la Iglesia de São Francisco (P2) y el Museo Vivo (P3) mostraron contaminación por coliformes totales y Escherichia coli. La presencia de E. coli en los puntos P2 y P3 indica contaminación fecal reciente, lo que supone un grave riesgo para la salud de los consumidores y aumenta la posibilidad de transmisión de enfermedades transmitidas por el agua. El estudio sugiere que esta contaminación puede atribuirse a factores como el alto flujo de visitantes, la falta de mantenimiento adecuado del embalse y la proximidad a fuentes de contaminación, como los baños. Por lo tanto, es necesario implementar medidas de monitoreo, mantenimiento e inspección para garantizar la seguridad del agua y proteger la salud de la población y de los peregrinos que visitan la ciudad.

Palabras clave: Calidad del agua, Indicadores de contaminación, Potabilidad, Salud pública

ABSTRACT

This study, conducted in Juazeiro do Norte, Ceará, evaluated the microbiological quality of water at high-traffic drinking points in religious centers, highlighting the importance of drinking water for public health, especially in places with large crowds, such as pilgrimages. Water samples were collected in June and August 2025 from four locations of great religious and cultural value, including drinking fountains and a communal ceramic pot. Analyses assessed the presence of total coliforms and Escherichia coli, indicators of contamination, based on the standards established by Ordinance GM/MS No. 888/2021. The results showed significant divergence in water quality. The points located at the Casa do Pe. Cícero Museum (P1) and the Pilgrim Support Center (P4) met potability standards, with no contamination in both collections. In contrast, the points at the Church of São Francisco (P2) and the Living Museum (P3) showed contamination by total coliforms and Escherichia coli. The presence of E. coli at points P2 and P3 indicates recent fecal contamination, posing a serious risk to consumer health and increasing the possibility of waterborne disease transmission. The study

suggests that this contamination can be attributed to factors such as the heavy flow of visitors, lack of adequate reservoir maintenance, and proximity to sources of contamination, such as restrooms. Therefore, monitoring, maintenance, and inspection measures are necessary to ensure water safety and protect the health of the population and pilgrims visiting the city.

Keywords: Water Quality, Contamination Indicators, Potability, Public Health

INTRODUÇÃO

A provisão de água potável é um pilar fundamental para a saúde pública, essencial na prevenção de doenças de veiculação hídrica e na promoção de saneamento adequado. A garantia da qualidade da água, no entanto, enfrenta desafios crescentes devido a fatores como a contaminação por fontes químicas e biológicas e os efeitos das mudanças climáticas. Eventos extremos, como secas e enchentes, podem comprometer as fontes hídricas, intensificando a concentração de poluentes e a proliferação de microrganismos patogênicos, o que aumenta a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento (Nascimento *et al.,* 2024).

Essa vulnerabilidade é particularmente acentuada em contextos de saneamento rural ou em sistemas simplificados de abastecimento, que frequentemente carecem de infraestrutura robusta para tratamento, monitoramento e distribuição contínua. Tais sistemas atendem populações que ficam, consequentemente, mais suscetíveis à exposição a riscos sanitários. Um cenário de especial relevância ocorre em locais de grande concentração pública e fluxo populacional, onde a demanda por água segura é elevada e intermitente.

O fornecimento de água potável é a principal fonte de desenvolvimento econômico, social e regional (REIS; AMADO; BENVENUTI, 2024).

A cidade de Juazeiro do Norte, no Ceará, representa um importante polo religioso que atrai um número expressivo de visitantes (romeiros), oriundos de diversas áreas rurais e urbanas, que se somam à população local. Durante os períodos de romaria, a demanda por pontos de hidratação públicos em centros religiosos aumenta drasticamente, sobrecarregando a infraestrutura existente e elevando o potencial de risco à saúde coletiva. A avaliação da qualidade da água nesses pontos é, portanto, crucial para subsidiar medidas de vigilância e controle.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade microbiológica da água destinada ao consumo humano em quatro pontos de hidratação públicos, localizados em centros religiosos de grande circulação na cidade de Juazeiro do Norte-CE.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Juazeiro do Norte, Ceará, localizado na Região Metropolitana do Cariri, no sul do estado com população estimada de 286.120 habitantes, sendo 1.105,62 hab/km^2 e extensão territorial de 258,788 km/m^2 (IBGE, 2022). A seleção da área justifica-se por sua relevância como polo de turismo religioso. Foram definidos quatro pontos de amostragem em locais de expressiva concentração de visitantes e peregrinos, como santuários, museus e igrejas, selecionados por seu significativo valor religioso, histórico, cultural, e principalmente pelo elevado número de pessoas que transitam estes ambientes. Os pontos amostrais estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Pontos Amostrais dos Locais de Hidratação

PONTOS	CARACTERÍSTICAS	LOCALIZAÇÃO
P1	Ponto de hidratação (bebedouro) Área verde do Museu Casa do Pe. Cícero.	Casa Museu Padre Cícero - Bairro Centro - JN
P2	Ponto de hidratação (bebedouro) Praça interna da Igreja de São Francisco	Santuário de São Francisco das Chagas - Bairro Franciscanos - JN
P3	Ponto de hidratação (Pote) Museu Vivo	Casarão do Padre Cícero - Colina do Horto - Bairro Horto - JN
P4	Ponto de hidratação (bebedouro) Centro de apoio ao romeiro	Santuário Basílica de Nossa Senhora das Dores - Bairro Centro - JN

Fonte: Autores, 2025.

As coletas de amostras de água para consumo foram realizadas durante o período da manhã, entre 8h e 10h30, nos dias 02 de junho e 26 de agosto de 2025. Nos pontos de coleta com torneiras, o procedimento seguiu um protocolo padrão que incluiu a higienização do bocal com etanol 70% e o escoamento prévio da água por cinco minutos para garantir a representatividade da amostra. No ponto amostral P4, onde a água era disponibilizada em um recipiente cerâmico (pote) de uso coletivo, a coleta foi realizada com o auxílio de uma concha previamente esterilizada. Os pontos amostrais podem ser visualizados na Figura 1. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro estéreis previamente preparados. Imediatamente após

a coleta, todas as amostras foram mantidas sob refrigeração (4ºC a 8ºC) em caixas isotérmicas e transportadas ao Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAM) para a determinação dos parâmetros de coliformes totais e *Escherichia coli,* seguindo as recomendações dos Métodos Padrões descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA 2017).

Figura 1. Pontos de Hidratação utilizados na pesquisa
Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2, apresenta os valores de coliformes totais e *Escherichia coli* obtidos nas duas amostragens, e comparados com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que determina a ausência de coliformes totais e de *Escherichia coli* em amostras como critério de potabilidade da água para consumo humano (BRASIL, 2021).

Tabela 2 - Dados descritivos dos parâmetros avaliados nas amostras de água e limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021.

PONTOS	COLIFORMES TOTAIS		VMP	*Escherichia coli*		VMP
	PRIMEIRA COLETA	SEGUNDA COLETA		PRIMEIRA COLETA	SEGUNDA COLETA	
PONTO 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
PONTO 2	Presente	Presente		Presente	Presente	
PONTO 3	Presente	Presente		Presente	Presente	
PONTO 4	Ausente	Ausente		Ausente	Ausente	

Fonte: Autores, 2025.

A Figura 2 apresenta a imagem da placa de petri para os resultados das análises microbiológicas dos pontos P2 e P3 que apresentaram resultados de presença para coliformes totais e *Escherichia coli*. A contaminação microbiológica evidenciada com os resultados de *Escherichia coli*, sugerem contaminação fecal e o potencial de veiculação de patógenos. Isso pode estar associada à possível ausência ou ineficiência de tratamento de água oferecida a população nos pontos de hidratação, ou ainda, à falta de higiene dos próprios usuários que podem contribuir para a contaminação da água e dos sistemas de fornecimento.

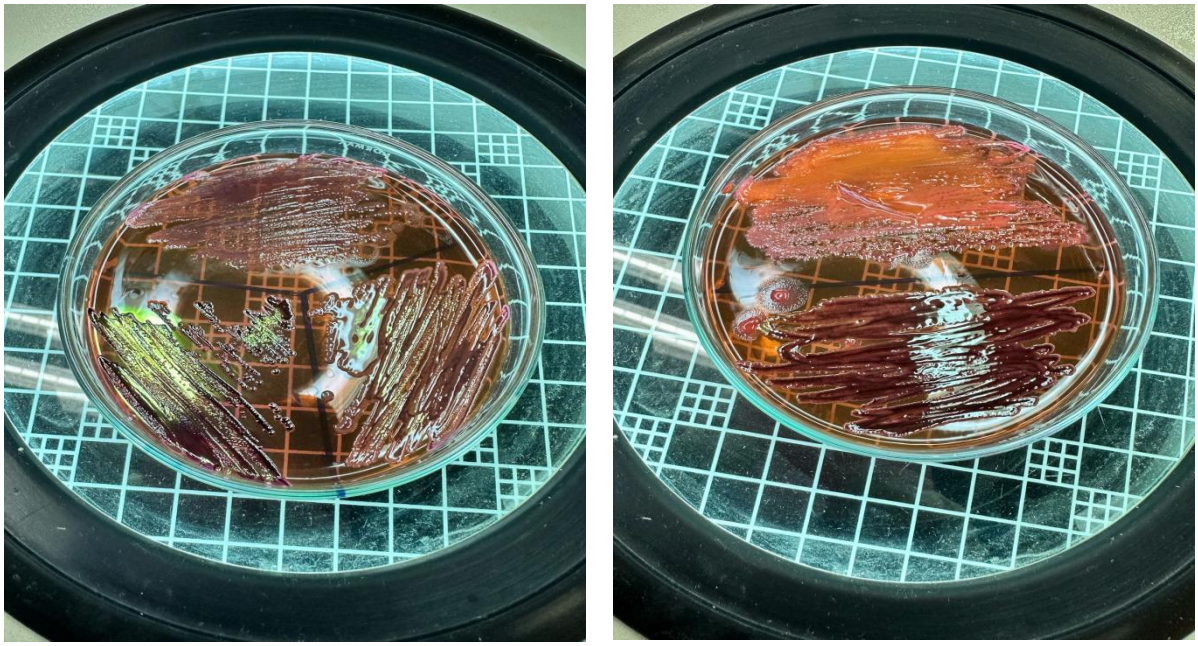


Figura 2. *Escherichia coli* nos pontos P2 (a) e no P3 (b)

Fonte: Autores, 2025.

Na tabela 1, pode-se observar que os pontos P1 e P4, nas duas coletas (junho e agosto), apresentaram valores dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 888/2021.

Alguns fatores podem contribuir para presença de microrganismos nos pontos P2 e P3, tais como, fluxo intenso de visitantes, que, embora não tenham sido realizados levantamento quantitativo do número de visitantes, observou-se durante o período de coleta, e principalmente durante as romarias, um maior aglomerado de pessoas nesses pontos. Bem como, ausência de manutenção dos reservatórios de água, localização dos pontos próximos as fontes de contaminação, como por exemplo, proximidade de alguns pontos à banheiros que foram observadas nas visitas *in loco.* Enquanto que P1 e P4 por não apresentar contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*, acredita-se, que esses pontos recebem, possivelmente, manutenção adequada para uma distribuição de água segura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da água nos pontos analisados diverge significativamente, indicando diferentes níveis de risco à saúde dos consumidores. Os pontos P1 e P4 mantiveram-se em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 em ambas as coletas (junho e agosto), sugerindo que recebem manutenção adequada e oferecem água segura para o consumo.

Em contrapartida, os pontos P2 e P3 revelaram contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*. A presença de *E. coli*, um indicador de contaminação fecal recente, evidencia uma séria ameaça à saúde dos usuários, elevando o risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Fatores como o fluxo intenso de visitantes, a proximidade a fontes de contaminação como banheiros e a provável ausência de manutenção adequada dos reservatórios são apontados como as possíveis causas para a contaminação nestes locais. Portanto, ações de monitoramento, manutenção e fiscalização são urgentes e necessárias para garantir a segurança da água e proteger a saúde da população.

Essa temática precisa ser discutida com a sociedade para que hajam pontos de hidratação com água de qualidade para o fornecimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Ceará *campus* Juazeiro do Norte, ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente (mestrado).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC: APHA, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em: 5 set. 2025.

IBGE. Cidades e Estados: Juazeiro do Norte. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/juazeiro-do-norte.html . Acesso em: 28 set. 2025

NASCIMENTO, F. R. do; SOARES, M. D. R.; LIMA, E. L. F.; NOGUCHI, H. S.; SILVA, D. A. P. da; REBOUÇAS, R. da S. de O.; SOUZA, Z. M. de. Avaliação da qualidade da água para consumo humano de duas fontes subterrâneas de abastecimento no município de Lábrea/AM. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, [S. l.], v. 22, n. 4, p. e4231, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n4-133. Disponível em: https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/4231. Acesso em: 2 set. 2025.

REIS, F. A. da S.; AMADO, F. D. R.; BENVENUTI, T. Qualidade da água de abastecimento e fatores de risco à saúde na comunidade de Maria Jape em Ilhéus, Bahia. Revista Principia, [S. l.], v. 60, n. 1, p. 326–347, 2023. DOI: 10.18265/1517-0306a2021id6213. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6213. Acesso em: 29 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037008

CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS E SUBSTÂNCIAS ASSOCIADAS EM RIO URBANO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y SUSTANCIAS ASOCIADAS EN UN RÍO URBANO DEL SEMIÁRIDO DEL NORDESTE

CHARACTERIZATION OF MICROPLASTICS AND ASSOCIATED SUBSTANCES IN AN URBAN RIVER OF THE NORTHEASTERN SEMIARID REGION

Hellen da Silva Sousa[1], Lyndianne Dias Martins[2], Anderson Targino da Silva Ferreira[3] e Yannice Tatiane Costa dos Santos[4].

[1]Mestranda, Intituto Federal do Ceará – campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte – CE, Brasil, hellen.silva.sousa07@aluno.ifce.edu.br, ORCID: 0000-0002-6429-7566;
[2]Doutora, Universidade Federal do Pernambuco, Recife - PE, Brazil, lyndyanne.dias@ufpe.br, ORCID: 0000-0002-2384-0980;
[3]Doutor, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Campinas - SP, Brasil, andersontsferreira@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0440-6273;
[4]Doutora, Instituto Federal do Ceará – campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte – CE, Brasil, yannice@ifce.edu.br, ORCID: 0000-0002-6730-1815.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo de aguas para consumo humano.

Thematic Axis 03 – Technologies for Water Supply
Quality aspects: characterization and monitoring of water for human consumption.

RESUMO

A muito tempo os plásticos têm sido amplamente utilizados e se tornaram essenciais em diversas aplicações no cotidiano da sociedade, mas também causaram um grande aumento na geração de resíduos. A degradação desses materiais origina os microplásticos (MPs), partículas de 1 µm a 5 mm, que acumulam contaminantes em sua área de superfície e representam uma ameaça ambiental crescente, presente no ar, solo e corpos d'água. Mesmo áreas de grande importância ambiental e hídrica, como a Bacia Sedimentar do Araripe são vulneráveis à contaminação por MPs e suas substâncias associadas. A Região Metropolitana do Cariri - RMC, inserida no bioma Caatinga e rica em biodiversidade, carece de estudos sobre microplásticos em seus recursos hídricos. Diante disso, este estudo visa investigar a presença de MPs nas águas do Rio Granjeiro e contribuir para o entendimento dos impactos e origens desses poluentes emergentes, abordando potenciais riscos ambientais e à saúde. A coleta de amostras ocorreu em um ponto que está a jusante das principais pressões antrópicas sofridas pelo corpo hídrico, além de ser local de confluência entre os principais rios que banham a cidade do Crato, com duas coletas (fevereiro e março 2024). Para análise, seguiram-se etapas de preparação das amostras, incluindo remoção de material orgânico, separação por densidade e filtração a vácuo, com posterior caracterização dos microplásticos por espectrometria Micro-

RAMAN no IPEN-SP. Foram identificados 43 analitos, correspondentes a 30 diferentes substâncias, entre eles corantes, medicamento, substâncias orgânicas e polímeros. Sendo também detectados contaminantes emergentes com potencial impacto à saúde humana e ao meio ambiente, como disruptores endócrinos e compostos tóxicos para o ecossistema aquático. Este estudo ressalta a complexidade dos impactos dos microplásticos sobre a saúde humana e o meio ambiente, indicando a necessidade urgente de ações de gestão ambiental para a mitigação de poluentes resistentes e bioacumulativos no sistema aquático da região.

Palavras-chave: Poluentes, Caatinga, Rio Granjeiro, Contaminação ambiental

RESÚMEN

Hace mucho tiempo los plásticos han sido ampliamente utilizados y se han convertido en esenciales en diversas aplicaciones de la vida cotidiana de la sociedad, pero también han provocado un gran aumento en la generación de residuos. La degradación de estos materiales origina los microplásticos (MPs), partículas de 1 µm a 5 mm, que acumulan contaminantes en su superficie y representan una amenaza ambiental creciente, presente en el aire, el suelo y los cuerpos de agua. Incluso áreas de gran importancia ambiental e hídrica, como la Cuenca Sedimentaria del Araripe, son vulnerables a la contaminación por MPs y sus sustancias asociadas. La Región Metropolitana del Cariri (RMC), inserta en el bioma Caatinga y rica en biodiversidad, carece de estudios sobre microplásticos en sus recursos hídricos. Ante ello, este estudio tiene como objetivo investigar la presencia de MPs en las aguas del Río Granjeiro y contribuir a la comprensión de los impactos y orígenes de estos contaminantes emergentes, abordando los potenciales riesgos ambientales y para la salud. El muestreo se realizó en un punto que se encuentra aguas abajo de las principales presiones antrópicas sufridas por el cuerpo hídrico, además de constituir un lugar de confluencia entre los principales ríos que atraviesan la ciudad de Crato, con dos campañas de recolección (febrero y marzo de 2024). Para el análisis, se siguieron etapas de preparación de las muestras, incluyendo la eliminación de material orgánico, separación por densidad y filtración al vacío, con posterior caracterización de los microplásticos mediante espectrometría Micro-RAMAN en el IPEN-SP. Se identificaron 43 analitos, correspondientes a 30 diferentes sustancias, entre ellas colorantes, medicamentos, sustancias orgánicas y polímeros. Asimismo, fueron detectados contaminantes emergentes con potencial impacto en la salud humana y en el medio ambiente, como disruptores endocrinos y compuestos tóxicos para el ecosistema acuático. Este estudio resalta la complejidad de los impactos de los microplásticos sobre la salud humana y el medio ambiente, señalando la necesidad urgente de acciones de gestión ambiental para la mitigación de contaminantes resistentes y bioacumulativos en el sistema acuático de la región.

Palabras clave: Contaminantes, Caatinga, Río Granjeiro, Contaminación ambiental

ABSTRACT

For a long time, plastics have been widely used and have become essential in various everyday applications of society, but they have also caused a significant increase in waste generation. The degradation of these materials gives rise to microplastics (MPs), particles ranging from 1 µm to 5 mm, which accumulate contaminants on their surface area and represent a growing environmental threat, present in the air, soil, and water bodies. Even areas of great

environmental and water importance, such as the Araripe Sedimentary Basin, are vulnerable to contamination by MPs and their associated substances. The Cariri Metropolitan Region (RMC), located within the Caatinga biome and rich in biodiversity, lacks studies on microplastics in its water resources. In this context, this study aims to investigate the presence of MPs in the waters of the Granjeiro River and contribute to understanding the impacts and origins of these emerging pollutants, addressing potential environmental and health risks. Sampling was carried out at a point located downstream of the main anthropogenic pressures affecting the water body, and which also represents the confluence of the main rivers that flow through the city of Crato, with two sampling campaigns (February and March 2024). For the analysis, sample preparation steps were followed, including the removal of organic material, density separation, and vacuum filtration, followed by microplastic characterization through Micro-RAMAN spectrometry at IPEN-SP. A total of 43 analytes were identified, corresponding to 30 different substances, including dyes, pharmaceuticals, organic compounds, and polymers. Emerging contaminants with potential impacts on human health and the environment were also detected, such as endocrine disruptors and toxic compounds to the aquatic ecosystem. This study highlights the complexity of the impacts of microplastics on human health and the environment, pointing to the urgent need for environmental management actions to mitigate resistant and bioaccumulative pollutants in the aquatic system of the region.

Keywords: Pollutants, Caatinga, Granjeiro River, Environmental contamination

INTRODUÇÃO

Os microplásticos (MPs) são partículas plásticas que variam de 1 µm a 5 mm, resultantes da degradação de plásticos maiores ou produzidos industrialmente, e são caracterizados pelo seu pequeno tamanho, porosidade e elevada resistência à biodegradação (Song et al., 2017). Sua presença já foi registrada em diversos ecossistemas aquáticos, representando risco ao meio ambiente e à saúde humana, tanto pela sua toxicidade direta quanto pela sua função como vetor de POPs, metais pesados e microrganismos patogênicos (Maharjan et al., 2025; Hailu et al., 2025; Muhtadi et al., 2025; Wang et al., 2025).

Mesmo áreas legalmente protegidas como a Chapada do Araripe, a qual foi reconhecida pela UNESCO desde 2006 e está localizada na Bacia Sedimentar do Araripe, importante aquífero da RMC, estão ameaçadas pela contaminação por MPs. Apesar de estudos prévios sobre qualidade da água (Albuquerque; Freire, 2022; Costa et al., 2024; Nunes et al., 2019; Barros, 2019), pesquisas sobre a presença de MPs na região permanecem escassas, revelando uma lacuna preocupante. Assim, o presente estudo objetiva identificar a presença, origem e possíveis impactos de microplásticos e substâncias associadas nas águas superficiais em um trecho de confluência entre o Rio Batateiras e o Rio Granjeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O município do Crato, situado no sul do Ceará, possui 1.138 km² de área, cerca de 131 mil habitantes e integra a Região Metropolitana do Cariri (IBGE, 2022). Inserido na Bacia Sedimentar do Araripe, destaca-se pela Chapada do Araripe e pelo bioma Caatinga, os quais lhe conferem características ambientais singulares ao semiárido. Na porção leste da Chapada, abrigam-se as microbacias dos rios Granjeiro, Batateiras e Saco (Matos et al., 2021).

A microbacia do Rio Granjeiro, com 20,96 km², nasce no sopé da Chapada e atravessa a cidade do Crato (Macêdo; Grigio; Silva, 2019), mas sofre impactos como canalização, lançamento de resíduos, efluentes domésticos sem tratamento e ocupação irregular das margens (Castro, 2016). O ponto de amostragem deste estudo localizou-se na Ponte do Bairro Palmeiras (7°13'23.5"S; 39°24'15.8"W), a jusante das principais pressões antrópicas e próximo à confluência dos rios da cidade.

A quantificação e caracterização dos microplásticos ocorreram nesse local em duas coletas, realizadas em 5 de fevereiro e 13 de março de 2024.

Figura 1. Ponto de coleta das amostras
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Tratamento, identificação visual e contagem dos microplásticos

O protocolo para análise de microplásticos (MPs) foi estruturado em cinco etapas. Inicialmente, amostras de 100ml foram aquecidas em banho-maria a 60°C até atingirem um volume residual. Em seguida, ao material concentrado, foram adicionados 20 mL de $FeSO_4$

0,05 M e H_2O_2 a 30%, com a reação durando 24 horas. Para a separação por densidade, adicionaram-se 6 g de NaCl por 20 mL de amostra, o que gerou uma solução salina que fez os MPs flutuarem (Di, Wang, 2018). O sobrenadante foi então filtrado a vácuo em filtros de microfibra de vidro. Após a secagem dos filtros, os MPs foram contados em microscópio óptico (com ampliação de 20 a 100 vezes), acondicionados em suportes e enviados ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN) para análise.

A identificação da composição polimérica dos microplásticos (MPs) foi realizada no IPEN utilizando um equipamento de micro-Raman. Primeiramente, os parâmetros experimentais do equipamento, como tempo de integração e número de acumulações, foram otimizados para garantir a melhor qualidade do sinal. Em seguida, os espectros gerados passaram por uma correção da linha de base e remoção de ruídos através de um programa no Matlab®. A identificação do tipo de polímero foi feita comparando os espectros obtidos com uma base de dados do software KnowItAll®. Além disso, foram capturadas imagens dos microplásticos, que, junto com os espectros, foram adicionadas a uma base de dados.

Analise integrada da origem e dos impactos ambientais das substâncias identificadas

Para cada composto identificado, foi pesquisado o número CAS e realizada revisão bibliográfica em mecanismos de bases como a Scopus, ScienceDirect, PubMed, ACS-CAS e PubChem, visando relacionar fontes potenciais locais e efeitos ambientais/à saúde associados aos polímeros e aditivos encontrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise por Espectrometria Micro-RAMAN confirmou a presença de microplásticos e substâncias associadas no ponto estudado do Rio Granjeiro, em Crato – CE. A partir dos 21 objetos de interesse identificados com o auxílio do microscópio, o Espectro Micro-RAMAN obteve resposta para 43 substâncias detectadas, as quais pertencem a 30 espécies químicas distintas (Figura 2). Essa diversidade de substâncias encontradas reforça a complexidade e avanço da contaminação do local por microplásticos e por suas substâncias associadas.

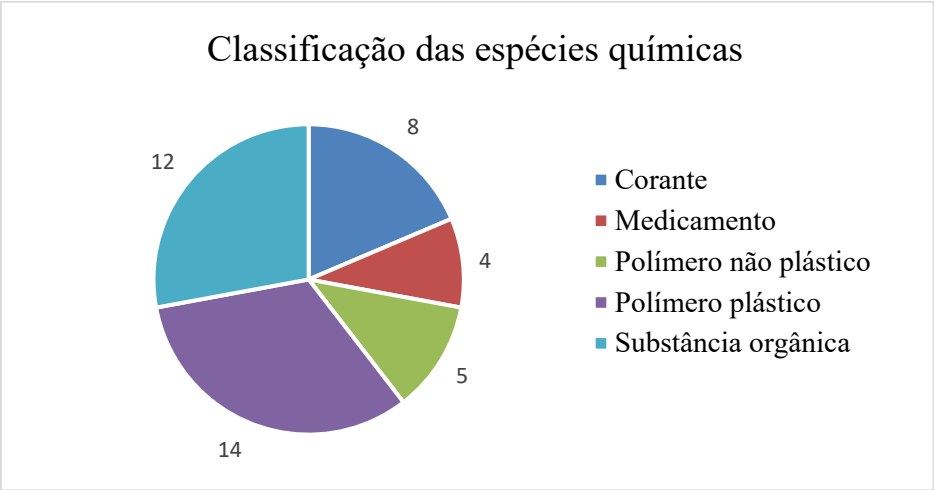


Figura 2. Ocorrência das espécies químicas encontradas na leitura das 43 substâncias identificadas.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

As substâncias orgânicas representaram cerca de 28% dos compostos identificados, destacando-se o Tetraetilsilano, usado na produção de polímeros e revestimentos, embora não haja registros claros sobre seus impactos ambientais ou à saúde (Asahina et al., 2003). Em geral, esses compostos estão associados a processos industriais como fabricação de fármacos, polímeros e fertilizantes, podendo causar efeitos adversos à saúde humana, como sintomas neurológicos, disfunções renais e infertilidade, além de riscos ecotoxicológicos, incluindo potencial contribuição ao efeito estufa (Tarannum; Kumar, 2025).

Os corantes corresponderam a 19% das substâncias, sendo a Bindone a mais frequente. Aplicada em células solares, produtos farmacêuticos, materiais biológicos e agroquímicos (Nasri, Bayat, Miankooshki, 2022), sua toxicidade para humanos é reconhecida, mas ainda pouco estudada (PubChem, 2024). Apesar da ampla utilização, seus impactos ambientais permanecem pouco explorados.

Os demais corantes identificados são amplamente empregados em plásticos, tecidos, papéis, couro, alimentos e medicamentos, além de aplicações específicas como desinfecção fotocatalítica (Balan; Monteiro, 2001; Keshava Murthy et al., 2024). Embora alguns apresentem toxicidade em testes com ratos, seus efeitos sobre organismos aquáticos e humanos ainda são pouco estudados. Sua resistência à biodegradação favorece a persistência ambiental e a bioacumulação, aumentando o potencial tóxico mesmo em baixas concentrações (Yang; Sun, 2011).

Os polímeros, macromoléculas formadas por monômeros repetidos, foram classificados neste estudo em duas categorias: plásticos e não plásticos, conforme análise realizada por Espectrometria Micro-RAMAN (Figura 3).

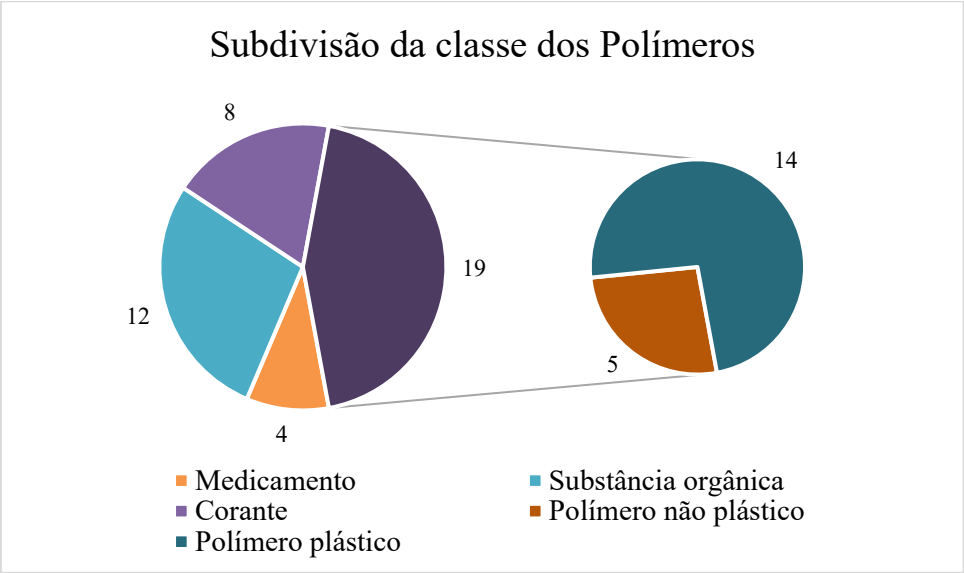


Figura 3. Subdivisão da classe dos polímeros.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os polímeros plásticos corresponderam a cerca de 33% dos objetos analisados, incluindo PET, PTFE, PP, PPS, Metilcelulose e Sulfonato de poliestireno, utilizados em embalagens, fibras têxteis, revestimentos, compósitos e fármacos (Jaime-Azuara et al., 2024; Zhu; Liu; Pang, 2022). Diferente dos corantes, seus impactos ambientais e à saúde são amplamente documentados, envolvendo alterações hormonais, mutações genéticas e risco de câncer (González et al., 2021). Sua resistência à biodegradação favorece a persistência ambiental e o transporte de compostos tóxicos (Dollischek et al., 2024).

Os polímeros não plásticos representaram 12% das amostras, com aplicações em borrachas sintéticas, resinas, fármacos e peças mecânicas (Rahate; Nemade; Waghuley, 2013). Também resistentes à degradação, podem bioacumular e causar efeitos adversos à fauna, como observado em testes com coelhos (Ballantyne; Myers; Klonne, 1997), reforçando a necessidade de controle no uso e descarte (Dollischek et al., 2024).

Além disso, foram identificadas substâncias classificadas como medicamentos, entre elas antimicrobianos e anti-inflamatórios, cujos efeitos tóxicos e danos ambientais permanecem pouco estudados (Li et al., 2024). A variedade de microplásticos e substâncias

associadas evidencia o desafio de compreender plenamente seus impactos, sendo considerados poluentes emergentes com efeitos ainda pouco conhecidos na saúde humana (Babaei et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados revelam um quadro de contaminação complexo, marcado pela presença de microplásticos e substâncias associadas que representam riscos ambientais significativos. Devido à resistência à degradação, os polímeros persistem no ambiente e atuam como vetores de contaminantes nocivos, ampliando os impactos sobre ecossistemas aquáticos e saúde humana. A diversidade dessas substâncias evidencia um desafio emergente para a gestão ambiental e de saúde pública, reforçando a urgência de medidas de mitigação para garantir a sustentabilidade regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, T., e L. L. Freire. 2022. "Índice de qualidade das águas e variáveis físico-químicas: um estudo de caso na bacia hidrográfica do Salgado." *Revista Ciência e Sustentabilidade*, n. 1: 76–95.

Asahina, S., et al. 2003. "Crystalline Structure of SiC Thin Films Grown by MOCVD Method with Tetraethylsilane." *Journal of The Surface Finishing Society of Japan* 54, n. 5. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.457-460.269.

Babaei, A. A., N. Reshadatian, e R. Feizi. 2024. "A state of the art-mini review on the sources, contamination, analysis, and consequences of microplastics in water." *Results in Engineering* 23: 102827.

Balan, D. S. L., e R. T. R. Monteiro. 2001. "Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi." *Journal of Biotechnology*. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jbiotec>.

Ballantyne, B., R. C. Myers, e D. R. Klonne. 1997. "Comparative acute toxicity and primary irritancy of the ethylidene and vinyl isomers of norbornene." *Journal of Applied Toxicology* 17, n. 4.

Barros, F. F. 2019. *Impactos ambientais no trecho urbano do Rio Salgado em Lavras da Mangabeira - CE*. Cajazeiras: Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10956.

Castro, F. 2016. "Problemáticas socioambientais decorrentes da canalização do Rio Granjeiro em Crato – CE." *Revista de Geociências do Nordeste* 2.

Costa, L., et al. 2024. "Análise sazonal da qualidade hídrica de um trecho de rio urbano no semiárido brasileiro." In *Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Recife, PE.

Di, M., e J. Wang. 2018. "Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China." *Science of the Total Environment* 616–617: 1620–1627. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29050832/.

Dollischek, L. B., et al. 2024. "Injection molding of post-industrial recycled glass fiber reinforced polyphenylene sulfide (PPS GF40): industrial feasibility and material analysis." *Journal of Cleaner Production* 471.

González, M., et al. 2021. "The cellulose industry and its impact on the population: From the social to the biochemical." *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo* 17, n. 2.

Hailu, M., T. Fetahi, S. Mengistou, B. Vay, e C. Zafiu. 2025. "Sediments microplastics along three Ethiopian Rift Valley lakes demonstrated variation in polymer composition and moderate contamination level." *Environmental Pollution* 384(126924): 126924. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126924.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. *Cidades e Estados do Brasil*. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/.

Jaime-Azuara, A., et al. 2024. "Continuous hydrothermal processing of poly(ethylene terephthalate) (PET) under subcritical water conditions: A proof-of-principle closed-loop study." *Chemical Engineering Journal* 495: 153223.

Keshava Murthy, R. N., et al. 2024. "Photocatalytic and electrochemical sensor study of combustion synthesized bismuth oxide (Bi2O3) nanoparticles using lemon and urea fuels." *Materials Science and Engineering: B* 307: 117487.

Li, G., et al. 2024. "Deep eutectic solvent-mediated synthesis of ZnCo2O4/MWCNT-COOH: Investigation of electrocatalytic activity for gatifloxacin detection." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 699: 134713.

Macêdo, F., A. Grigio, e M. Silva. 2023. "Zoneamento de área de risco: uma visão para a Agenda 2030." *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades* 7.

Maharjan, K. K., P. Pyakurel, S. Bista, e R. P. Dhungel. 2025. "Assessment of Microplastic contamination in the Karnali River: A Baseline study in Remote Region of Western Nepal." *Results in Engineering* 106562. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106562.

Matos, F. B., et al. 2021. "Ilhas de calor na zona urbana de Crato/Ceará/Brasil." *Revista de Geociências do Nordeste* 7, n. 2: 41–48. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/21642.

Muhtadi, A., R. Leidonald, A. Rahmawati, T. D. T. Merdangga, Y. Nurhamiyah, e M. R. Cordova. 2025. "Spatial and temporal distribution of microplastics in the Belawan Estuary, Indonesia." *Egyptian Journal of Aquatic Research* 51(2): 163–171. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2025.03.004.

Nasri, S., M. Bayat, e F. R. Miankooshki. 2022. "Synthesis of diverse spiro-imidazo pyridine-indene derivatives via acid-promoted annulation reaction of bindone and heterocyclic ketene aminals." *Scientific Reports* 12, n. 1: 12550. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9307797/.

Nunes, L., et al. 2019. "Pesquisa de coliformes totais e termotolerantes no rio Salgadinho no município de Juazeiro do Norte, CE." *Revista Eletrônica Acervo Científico / Electronic Journal Scientific Collection* 7.

PubChem. National Center for Biotechnology Information. 1999. *Proceedings of the IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Lyon, France, 17–24 February 1998. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* 71, Pt. 1: 1–315.

Rahate, A. S., K. R. Nemade, e S. A. Waghuley. 2013. "Polyphenylene sulfide (PPS): State of the art and applications." *Reviews in Chemical Engineering* 29, n. 6.

Song, Y. K., et al. 2017. "Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on Microplastic Fragmentation by Polymer Type." *Environmental Science and Technology* 51, n. 8: 4368–4376. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b06155.

Tarannum, N., e D. Kumar. 2025. "Pyridine: Exposure, risk management, and impact on life and environment." In *Hazardous Chemicals*, 363–374. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95235-4.00036-0.

Wang, Z., M. Hu, J. Fan, H. Zheng, C. Wang, M. Ahmad, L. Li, G. Zhao, G. Zhang, Y. Zhang, J. Hu, e Y. Wang. 2025. "Microplastic pollution in the Indian Ocean: Fiber-dominated contamination and comparative bioaccumulation in Auxis thazard and Symplectoteuthis oualaniensis." *Marine Environmental Research* 210(107304): 107304. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107304.

Yang, N., e H. Sun. 2011. "Bismuth: Environmental Pollution and Health Effects." In *Encyclopedia of Environmental Health*, Vol. 1.

Zhu, Y., C. Liu, e Z. Pang. 2022. "Sistemas de administração de medicamentos baseados em dendrímeros para direcionamento cerebral." *Biomoléculas* 9, n. 12.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037027

COMPARATIVO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO SERTÃO PARAIBANO

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL SERTAN DE PARAÍBANO

COMPARISON OF PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF THE WATERS OF THE PARAIBANO BACKLANDS

Eryck Allan Alves Fernandes[1], Victória Cristina Gomes Colman [2], Elaine Juliane Da Costa Silva [3] e Alfredina dos Santos Araújo [4].

[1]Mestrando em Sistemas Agroindustriais, UFCG, Campus Pombal-PB, Brasil, eryckallan21@gmail.com, nº de ORCID: 0000-0002-4295-430X;
[2]Mestranda em Sistemas Agroindustriais, UFCG, Campus Pombal-PB, Brasil, vikcolman@gmail.com, nº de ORCID: 0009-0007-3026-1980;
[3]Doutoranda em Engenharia de Processos, Campus Pombal-PB, Brasil, elajuliane300308@gmail.com, nº de ORCID: 0000-0001-6562-3696;
[4] Professora de ensino superior, Campus Pombal-PB, Brasil, alfredina@ccta.ufcg.edu.br, nº de ORCID: 0000-0002-9336-7308

Eixo Temático 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías de suministro de agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo del agua para consumo humano.

RESUMO

O uso de água tratada desempenha papel fundamental na promoção da qualidade de vida e na prevenção de doenças, especialmente aquelas de caráter evitável e associadas a fatores ambientais que impactam populações em diferentes regiões do planeta. A análise e o monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano são fundamentais, uma vez que falhas nesse processo podem indicar riscos de contaminação por micro-organismos patogênicos. A Portaria nº 2.914/2011 e a RDC nº 91/2016, ambas do Ministério da Saúde, definem que a água potável deve atender aos padrões físico-químicos e microbiológicos estabelecidos, de modo a assegurar sua potabilidade e eliminar potenciais riscos à saúde pública. Essa pesquisa teve como objetivo analisar os principais parâmetros físico-químicos das águas em cidades do sertão paraibano no ano de 2025, verificando se os valores atendem aos limites estabelecidos pela legislação brasileira de qualidade da água. As amostras utilizadas nesta pesquisa foram coletadas em rios que abastecem cidades do interior da Paraíba, que foram chamadas de cidade A, cidade B, cidade C e cidade D. Posteriormente, foram encaminhadas ao Laboratório do Centro Vocacional Tecnologico-CVT, da Universidade Ferderal de Campina Grande-UFCG, Campos Pombal-PB para realização das análises. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: pH, condutividade elétrica, turbidez, ferro, alcalinidade, dureza e cloretos seguindo as metodologias estabelecidades pelo Instituto Adolfo Lutz-IAL (2008). Os resultados obtidos nas análises foram comparados com os limites

estabelecidos pela legislação brasileira para qualidade da água, estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888. Todos os parâmetros avaliados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para águas destinadas ao uso humano, tanto na zona urbana ou rural. Em destaque, a amostra proveniente da cidade A apresentou valores relativamente mais elevados em comparação às demais localidades analisadas. Assim, de forma geral, pode-se concluir que as águas analisadas apresentam qualidade regular e aceitável tanto para o abastecimento urbano quanto para usos rurais, reforçando a importância da vigilância sistemática e preventiva na gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Qualidade de água, Recursos hídricos, Monitoramento

RESÚMEN

El uso de agua tratada desempeña un papel fundamental en la promoción de la calidad de vida y la prevención de enfermedades, especialmente aquellas de naturaleza prevenible asociadas a factores ambientales que impactan a las poblaciones en diferentes regiones del planeta. Analizar y monitorear la calidad del agua destinada al consumo humano es crucial, ya que fallas en este proceso pueden indicar riesgos de contaminación por microorganismos patógenos. La Ordenanza n.º 2.914/2011 y la RDC n.º 91/2016, ambas emitidas por el Ministerio de Salud, establecen que el agua potable debe cumplir con los estándares físicos, químicos y microbiológicos establecidos para garantizar su potabilidad y eliminar posibles riesgos para la salud pública. Este estudio tuvo como objetivo analizar los principales parámetros físicos y químicos del agua en las ciudades del sertão de Paraíba en 2025, verificando si estos valores cumplen con los límites establecidos por la legislación brasileña de calidad del agua. Las muestras utilizadas en esta investigación fueron colectadas de ríos que abastecen ciudades en el interior de Paraíba, designadas Ciudad A, Ciudad B, Ciudad C, y Ciudad D. Posteriormente fueron enviadas al Laboratorio del Centro de Tecnología Vocacional (CVT) de la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), Campos Pombal, Paraíba, para análisis. Los parámetros físicos y químicos evaluados fueron: pH, conductividad eléctrica, turbidez, hierro, alcalinidad, dureza, y cloruros, siguiendo las metodologías establecidas por el Instituto Adolfo Lutz (IAL) (2008). Los resultados obtenidos en los análisis fueron comparados con los límites establecidos por la legislación brasileña para calidad del agua, establecidos en la Ordenanza GM/MS No. 888. Todos los parámetros evaluados están dentro de los límites establecidos por la legislación brasileña para agua destinada al uso humano, tanto en áreas urbanas como rurales. Cabe destacar que la muestra de la Ciudad A presentó valores relativamente más altos comparados a las otras localidades analizadas. Así, en general, se puede concluir que las aguas analizadas presentan una calidad regular y aceptable tanto para el abastecimiento urbano como para los usos rurales, reforzando la importancia de la vigilancia sistemática y preventiva en la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: Calidad del agua, Recursos hídricos, Monitoreo

ABSTRACT

The use of treated water plays a fundamental role in promoting quality of life and preventing diseases, especially those of a preventable nature and associated with environmental factors that impact populations in different regions of the planet. Analyzing and monitoring the quality of water intended for human consumption is crucial, as failures in this process can indicate risks of contamination by pathogenic microorganisms. Ordinance No. 2,914/2011 and RDC

No. 91/2016, both issued by the Ministry of Health, establish that drinking water must meet established physical, chemical, and microbiological standards to ensure its potability and eliminate potential risks to public health. This study aimed to analyze the main physical and chemical parameters of water in cities in the Paraíba hinterland in 2025, verifying whether the values meet the limits established by Brazilian water quality legislation. The samples used in this study were collected from rivers that supply cities in the interior of Paraíba, which were designated as City A, City B, City C, and City D. They were subsequently sent to the Laboratory of the Vocational Technology Center (CVT) of the Federal University of Campina Grande (UFCG), Campos Pombal, Paraíba, for analysis. The physical and chemical parameters evaluated were: pH, electrical conductivity, turbidity, iron, alkalinity, hardness, and chlorides, following the methodologies established by the Adolfo Lutz Institute (IAL) (2008). The results obtained in the analyses were compared with the limits established by Brazilian water quality legislation, as established in Ordinance GM/MS Nº 888. All parameters evaluated are within the limits established by Brazilian legislation for water intended for human use, both in urban and rural areas. It is noteworthy that the sample from city A presented relatively higher values compared to the other locations analyzed. Thus, overall, it can be concluded that the water analyzed presents regular and acceptable quality for both urban and rural use, reinforcing the importance of systematic and preventive monitoring in water resource management.

Keywords: Water quality, Water resources, Monitoring

INTRODUÇÃO

A água constitui em um recurso essencial para a existência e a manutenção da vida. O Brasil se destaca por abrigar aproximadamente 15% de toda a reserva mundial de água doce, configurando-se como uma das nações mais ricas nesse recurso. No contexto brasileiro, a maior parcela do consumo de água está direcionada para a irrigação, correspondendo a aproximadamente 66,1% do uso total. Em seguida, destacam-se o abastecimento animal, responsável por 11,6%, e o abastecimento urbano, que representa 9,0%. O setor industrial responde por cerca de 9,7%, enquanto atividades como a mineração e as termoelétricas utilizam, respectivamente, 0,9% e 0,3% do volume consumido. Por fim, o abastecimento rural corresponde a 2,4%, configurando-se como a menor fração da distribuição. Esses dados evidenciam a forte predominância da agricultura irrigada no uso dos recursos hídricos nacionais, ressaltando sua relevância no planejamento e gestão da água no país (Morais, 2021).

O uso de água tratada desempenha papel fundamental na promoção da qualidade de vida e na prevenção de doenças, especialmente aquelas de caráter evitável e associadas a fatores ambientais que impactam populações em diferentes regiões do planeta. Nesse contexto, os serviços de saneamento básico são considerados indispensáveis, uma vez que exercem influência direta tanto sobre a saúde humana quanto sobre o equilíbrio ambiental (Silva; et al,

2021).

A análise e o monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano são fundamentais, uma vez que falhas nesse processo podem indicar riscos de contaminação por micro-organismos patogênicos. Considerando que a água é um recurso essencial para a vida, torna-se indispensável o estabelecimento de mecanismos de controle e a aplicação de normas regulatórias que assegurem sua qualidade, garantindo, assim, a saúde e o bem-estar da população. Nesse contexto, a Portaria nº 2.914/2011 e a RDC nº 91/2016, ambas do Ministério da Saúde, definem que a água potável deve atender aos padrões físico-químicos e microbiológicos estabelecidos, de modo a assegurar sua potabilidade e eliminar potenciais riscos à saúde pública (Araújo, Andrade, 2020).

Dessa maneira, essa pesquisa teve como objetivo analisar os principais parâmetros físico-químicos das águas em cidades do sertão paraibano no ano de 2025, verificando se os valores atendem aos limites estabelecidos pela legislação brasileira de qualidade da água. A pesquisa justifica-se pela importância do recurso hídrico em regiões semiáridas, onde a potabilidade é essencial para a saúde da população e o desenvolvimento socioeconômico, além de fornecer subsídios técnicos para o monitoramento e a identificação de possíveis riscos ao consumo humano e às atividades produtivas locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras utilizadas nesta pesquisa foram coletadas em rios que abastecem cidades do interior da Paraíba, que foram chamadas de cidade A, cidade B, cidade C e cidade D. Posteriormente, foram encaminhadas ao Laboratório do Centro Vocacional Tecnologico - CVT, da Universidade Ferderal de Campina Grande - UFCG, Campos Pombal-PB para realização das análises. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: pH, condutividade elétrica, turbidez, ferro, alcalinidade, dureza e cloretos seguindo as metodologias estabelecidades pelo Instituto Adolfo Lutz-IAL (2008). Os resultados obtidos nas análises foram comparados com os limites estabelecidos pela legislação brasileira para qualidade da água, estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados dos parâmetros físico-químicos das águas das cidades

do interior paraibano.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros físico-químicas das águas das cidades do interior paraibano, 2025

Parâmetros	Cidade A	Cidade B	Cidade C	Cidade D
pH	7,3	7,3	7,3	7,3
Condutividade (µS/cm2)	625,3	213,9	260,8	166,9
Turbidez (uT)	0	0	0	0
Ferro (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
Alcalinidade (mg/L)	123	63	40	33
Dureza total (mg/L)	241,5	102,9	51,4	41,5
Dureza em Calcio	97,8	41,6	20,8	16,83
Dureza em Magnésio	20,2	0,05	0,02	0,02
Clorestos (mg/L)	157,7	25,5	47,05	32,5

Fonte: Autores, (2025).

Dessa forma, ao relacionar os resultados obtidos com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, observa-se que todos os parâmetros avaliados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para águas destinadas ao uso humano, tanto na zona urbana ou rural. No entanto, destaca-se que a amostra proveniente da cidade 1 apresentou valores relativamente mais elevados em comparação às demais localidades analisadas. Embora esses valores não ultrapassem os padrões legais, o fato de se situarem próximos aos limites superiores merece atenção, pois pode indicar a influência de fatores ambientais ou antrópicos, como características geológicas locais, práticas agrícolas ou manejo inadequado de recursos hídricos.

Essas diferenças evidenciam que, mesmo dentro da conformidade legal, há variações que podem impactar a qualidade da água em longo prazo, sobretudo se ocorrerem alterações sazonais ou pressões antrópicas mais intensas. Portanto, o monitoramento contínuo torna-se essencial para garantir que tais parâmetros não evoluam para situações de não conformidade, comprometendo a segurança hídrica da população. Assim, de forma geral, pode-se concluir que as águas analisadas apresentam qualidade regular e aceitável tanto para o abastecimento

urbano quanto para usos rurais, reforçando a importância da vigilância sistemática e preventiva na gestão dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que a qualidade da água analisada encontra-se em conformidade com os parâmetros, garantindo sua adequação ao consumo humano em contextos urbanos e rurais. Entretanto, a observação de valores relativamente mais elevados na cidade 1, ainda que dentro dos limites legais, aponta para a necessidade de atenção quanto a possíveis interferências ambientais ou antrópicas. Nesse sentido, ressalta-se que o atendimento às normas vigentes não elimina potenciais riscos, devendo ser compreendido como um indicativo da importância de ações de monitoramento contínuo e de caráter preventivo. Assim, a vigilância sistemática torna-se essencial para assegurar a manutenção da qualidade da água e a proteção da saúde da população frente a possíveis alterações futuras, destacando-se também a relevância de investimentos em infraestrutura de saneamento, educação ambiental e políticas públicas integradas que favoreçam não apenas a correção de problemas já existentes, mas, sobretudo, a prevenção de impactos que possam comprometer o acesso a esse recurso vital.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Vocacional Tecnológico (CVT) da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal, pela disponibilização da infraestrutura laboratorial necessária para a realização deste trabalho. Agradecemos, também, a todos os colaboradores do laboratório, cujo apoio e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento das análises e para o alcance dos resultados aqui apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Daniela Lima; ANDRADE, Rafael França. Qualidade Físico-Química e Microbiológica da água utilizada em bebedouros de instituições de ensino no Brasil: Revisão Sistemática da Literatura. Brazilian Journal of Health Review, v. 3, n. 4, p. 7301-7324, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MORAIS, Joabe Mateus Soares. Qualidade físico-química de águas minerais comercializadas no oeste do Rio Grande do Norte. 2021.

SILVA, R. R. et al. Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 6, p. 62847-62866, 2021.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037035

DEPÓSITOS ALUVIONARES COMO FONTE DE ABASTECIMENTO PARA COMUNIDADES RURAIS NO ALTO CAPIBARIBE (PE)

DEPÓSITOS ALUVIALES COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO PARA COMUNIDADES RURALES EN EL ALTO CAPIBARIBE (PE)

ALLUVIAL DEPOSITS AS A SOURCE OF WATER SUPPLY FOR RURAL COMMUNITIES IN THE UPPER CAPIBARIBE (PE)

MOURA, T. C. C. ; SANTOS, T. S. ; SÁ, J. L. A. C. ; PAIVA, A. L. R. .

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Águas subterrâneas.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Aguas subterráneas.

Thematic Axis 03 – Technologies for Water Supply
Groundwater.

RESUMO

O semiárido brasileiro enfrenta severas limitações hídricas devido à irregularidade pluviométrica e à baixa disponibilidade de água superficial. Nesse cenário, as águas subterrâneas, especialmente as armazenadas em depósitos aluvionares, representam alternativa estratégica para o abastecimento de comunidades rurais difusas. Este estudo apresenta uma revisão narrativa sobre o uso de aluviões como fonte de água no Alto Curso do rio Capibaribe (PE), destacando suas potencialidades, limitações e desafios. A pesquisa integrou artigos científicos, dissertações, teses e relatórios institucionais obtidos em diferentes bases de dados, utilizando palavras-chave relacionadas a hidrogeologia, semiárido e abastecimento rural. Os resultados indicam que os aluviões se diferenciam dos aquíferos cristalinos por apresentarem maior permeabilidade, menor profundidade do lençol freático e menores custos de captação, configurando-se como "bancos naturais de água" essenciais durante a estiagem. Experiências locais, como a implantação de barragens subterrâneas, mostraram ganhos na disponibilidade hídrica para consumo humano, irrigação de subsistência e dessedentação animal. Contudo, verificou-se vulnerabilidade à contaminação microbiológica em cacimbas rasas, riscos de salinização em determinadas áreas e conflitos entre extração de areia e manutenção das reservas subterrâneas. O estudo evidencia ainda a ausência de integração desses depósitos nos planos oficiais de recursos hídricos e a carência de políticas públicas que reconheçam sua importância estratégica. Para garantir a sustentabilidade desse recurso, recomenda-se monitoramento técnico, gestão participativa e proteção sanitária das áreas de captação, visando ampliar a segurança hídrica e fortalecer o desenvolvimento rural no semiárido pernambucano.

Palavras-chave: Saneamento básico, Águas subterrâneas, Semiárido.

RESÚMEN

El semiárido brasileño enfrenta severas limitaciones hídricas debido a la irregularidad pluviométrica y a la baja disponibilidad de agua superficial. En este contexto, las aguas subterráneas, especialmente las almacenadas en depósitos aluviales, representan una alternativa estratégica para el abastecimiento de comunidades rurales dispersas. Este estudio presenta una revisión narrativa sobre el uso de aluviones como fuente de agua en el Alto Curso del río Capibaribe (PE), destacando sus potencialidades, limitaciones y desafíos. La investigación integró artículos científicos, disertaciones, tesis e informes institucionales obtenidos en diferentes bases de datos, utilizando palabras clave relacionadas con hidrogeología, semiárido y abastecimiento rural. Los resultados indican que los aluviones se diferencian de los acuíferos cristalinos por presentar mayor permeabilidad, menor profundidad del nivel freático y menores costos de captación, configurándose como "bancos naturales de agua" esenciales durante la sequía. Experiencias locales, como la implementación de presas subterráneas, mostraron mejoras en la disponibilidad hídrica para el consumo humano, riego de subsistencia y uso pecuario. Sin embargo, se verificó vulnerabilidad a la contaminación microbiológica en pozos someros, riesgos de salinización en ciertas áreas y conflictos entre la extracción de arena y el mantenimiento de las reservas subterráneas. El estudio también evidencia la falta de integración de estos depósitos en los planes oficiales de recursos hídricos y la carencia de políticas públicas que reconozcan su importancia estratégica. Para garantizar la sostenibilidad de este recurso, se recomienda monitoreo técnico, gestión participativa y protección sanitaria de las áreas de captación, con el fin de ampliar la seguridad hídrica y fortalecer el desarrollo rural en el semiárido pernambucano.

Palabras clave: Saneamiento básico, Aguas subterráneas, Semiárido.

ABSTRACT

The Brazilian semiarid region faces severe water limitations due to irregular rainfall and low surface water availability. In this context, groundwater stored in alluvial deposits represents a strategic alternative for supplying dispersed rural communities. This study presents a narrative review on the use of alluvium as a water source in the Upper Capibaribe River (PE), highlighting its potential, limitations, and challenges. The research integrated scientific articles, dissertations, theses, and institutional reports collected from different databases, using keywords related to hydrogeology, semiarid conditions, and rural water supply. The results indicate that alluvial aquifers differ from crystalline aquifers by exhibiting higher permeability, shallower water tables, and lower extraction costs, functioning as "natural water banks" essential during dry periods. Local experiences, such as the implementation of underground dams, have shown improvements in water availability for human consumption, subsistence irrigation, and livestock use. However, shallow wells are vulnerable to microbiological contamination, some areas face salinization risks, and conflicts exist between sand extraction and groundwater conservation. The study also reveals the lack of integration of these deposits into official water resource plans and the absence of public policies recognizing their strategic importance. To ensure sustainability, technical monitoring, participatory management, and sanitary protection of abstraction sites are recommended to enhance water security and strengthen rural development in Pernambuco's semiarid region.

Keywords: Basic sanitation, Groundwater, Semiarid.

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado pela irregularidade pluviométrica, pela escassez hídrica e pela predominância de comunidades rurais que enfrentam sérias dificuldades para garantir o abastecimento de água de qualidade. Nesse contexto, as águas subterrâneas assumem papel estratégico, especialmente quando associadas a aquíferos localizados em depósitos aluvionares, que se destacam por sua maior permeabilidade, capacidade de armazenamento e relativa facilidade de explotação. Esses aluviões, situados ao longo dos cursos d'água intermitentes, representam uma das principais alternativas de suprimento hídrico para populações difusas que não contam com redes convencionais de abastecimento (ANA, 2021; APAC, 2022).

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe, em Pernambuco, integra a região semiárida e concentra, em seu Alto Curso, grande número de comunidades rurais que dependem diretamente dos recursos hídricos subterrâneos para o consumo humano e para atividades produtivas. O Alto Capibaribe, marcado pela irregularidade das chuvas e pela baixa disponibilidade hídrica superficial, encontra nos aluviões uma fonte de abastecimento essencial, uma vez que estes aquíferos armazenam volumes expressivos de água durante o período chuvoso, possibilitando sua utilização ao longo da estação seca (Silva *et al*., 2015).

Apesar da relevância, os depósitos aluvionares ainda são pouco discutidos na literatura técnico-científica voltada ao saneamento rural, sobretudo quando se trata de abordagens específicas para o Capibaribe. A maioria dos estudos disponíveis concentra-se em aquíferos cristalinos ou em grandes sistemas de abastecimento urbano, deixando lacunas sobre o papel dos aluviões no suprimento descentralizado para populações do semiárido (Braga *et al*., 2015).

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre a utilização dos depósitos aluvionares como fonte de abastecimento de água em comunidades rurais do semiárido, com foco no Alto Capibaribe, em Pernambuco. Busca-se destacar as potencialidades, limitações e desafios associados ao aproveitamento dessas unidades hidrogeológicas, ressaltando seu papel estratégico para o saneamento rural e a sustentabilidade hídrica em regiões de escassez (Cunha *et al*., 2010; Embrapa, 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica narrativa, com foco na análise de pesquisas que abordam os depósitos aluvionares como fonte de abastecimento hídrico em comunidades rurais situadas no Alto Curso do rio Capibaribe, em Pernambuco. A revisão narrativa foi escolhida por permitir a integração de diferentes tipos de publicações, incluindo artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos e documentos institucionais, possibilitando uma visão ampla sobre o tema.

A busca por referências foi realizada nas bases Google Scholar, SciELO, CAPES Periódicos, Scopus e no Repositório Institucional da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), entre março e agosto de 2025. Foram utilizadas combinações das seguintes palavras-chave: “aluviões”, “depósitos aluvionares”, “águas subterrâneas”, “semiárido”, “Capibaribe” e “abastecimento rural”, em português e inglês (“alluvial deposits”, “groundwater”, “semi-arid”, “Capibaribe River”, “rural water supply”).

Como critérios de inclusão, foram considerados estudos que abordassem: (i) a caracterização hidrogeológica dos depósitos aluvionares no semiárido brasileiro; (ii) o uso das águas subterrâneas em aluviões para abastecimento de comunidades rurais; e (iii) trabalhos específicos sobre a bacia do rio Capibaribe. Foram incluídos artigos científicos, dissertações, teses, relatórios institucionais e documentos técnicos.

Foram excluídos trabalhos que não apresentassem relação com o contexto do semiárido nordestino, que tratassem exclusivamente de aquíferos cristalinos ou de sistemas urbanos de abastecimento sem vínculo com aluviões. Após a triagem, os documentos foram organizados e analisados qualitativamente, buscando-se identificar as principais potencialidades, limitações e desafios relacionados ao aproveitamento dos depósitos aluvionares no contexto do abastecimento descentralizado para populações rurais do Alto Capibaribe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depósitos aluvionares, formados por sedimentos inconsolidados em leitos e margens de rios intermitentes, são importantes no semiárido por oferecerem maior permeabilidade que as formações cristalinas. Diferenciam-se dos aquíferos fraturados do embasamento, cuja produtividade é irregular e muitas vezes insuficiente para suprir comunidades rurais. Além disso, a facilidade de escavação e a menor profundidade do lençol freático em aluviões favorecem sua utilização em projetos comunitários, reduzindo custos de implantação e

manutenção (Sá; Diniz, 2012; Caetano, 2018).

A importância dos aluviões está diretamente associada ao padrão de chuvas do semiárido nordestino, marcado por intensa variabilidade temporal e espacial. Enquanto os corpos superficiais de água, como açudes e barreiros, sofrem forte evaporação, os depósitos aluvionares funcionam como reservatórios subterrâneos que protegem a água das perdas por evapotranspiração. Isso confere aos aluviões um papel fundamental na garantia da disponibilidade hídrica durante a estação seca, funcionando como "bancos naturais de água" a serem utilizados em períodos críticos (Bezerra *et al*., 2024).

No contexto do Alto Capibaribe, em Pernambuco, a relevância dos aluviões é ainda mais evidente. Essa sub-bacia está localizada no agreste setentrional, abrangendo municípios como Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Surubim e vertentes rurais de outras localidades, caracterizadas por clima semiárido, solos rasos e rios intermitentes. O regime pluviométrico, com médias anuais inferiores a 700 mm e forte concentração de chuvas em poucos meses, acentua a dependência das populações locais de fontes subterrâneas. Nesse cenário, os aluviões representam não apenas uma alternativa técnica, mas a base da segurança hídrica para milhares de famílias, especialmente em áreas dispersas que não são atendidas por adutoras da COMPESA ou sistemas simplificados de abastecimento (Silva et al., 2015; Bezerra, 2024).

Estudos hidrogeológicos no Alto Capibaribe indicam que os aluviões são descontínuos, ocorrem em trechos isolados e variam entre 5 e 20 metros de espessura. Essa configuração limita a disponibilidade hídrica e faz cada comunidade depender de depósitos próximos. Em alguns pontos, o lençol freático fica a menos de 10 metros no período chuvoso, permitindo cacimbas; em outros, exige poços tubulares. A vulnerabilidade desses sistemas, somada ao uso desordenado, reforça a necessidade de monitoramento e gestão territorializada (Santos; Paiva; Silva, 2016; Bezerra *et al*., 2024).

No Alto Capibaribe, os aluviões são usados não só para consumo humano, mas também na irrigação, cultivo e criação de animais, garantindo segurança alimentar e renda. Essa multifuncionalidade complementa as cisternas captação de chuva, favorece a permanência das famílias no campo e reduz a vulnerabilidade social da região (Embrapa 2019; Bezerra *et al*., 2024).

No Alto Capibaribe, barragens subterrâneas têm sido implantadas para reter água nos aluviões, prolongando o abastecimento doméstico e viabilizando a agricultura em pequenas

áreas. A tecnologia reduz a dependência de carros-pipa e amplia a autonomia das comunidades, mas exige acompanhamento técnico para evitar problemas como assoreamento e salinização (Costa; Silva; Cirilo, 2003; Silva *et al*., 2013; Embrapa, 2019).

Apesar das potencialidades, os aluviões do Alto Capibaribe enfrentam desafios específicos. O crescimento urbano desordenado em cidades como Santa Cruz do Capibaribe e Toritama tem aumentado a pressão sobre esses depósitos, tanto pelo aumento da demanda quanto pela contaminação difusa resultante da ausência de saneamento básico. Além disso, a falta de integração dos aluviões nos planos oficiais de bacia hidrográfica limita o reconhecimento institucional de sua importância. Pesquisas apontam que, se adequadamente protegidos e manejados, os depósitos aluvionares poderiam garantir maior segurança hídrica às comunidades rurais do Capibaribe, mas para isso são necessárias políticas públicas direcionadas, que considerem esses aquíferos como infraestrutura natural estratégica para o abastecimento rural (APAC, 2011; Ribeiro Neto; Galvão; Montenegro, 2014; CPRH, 2019).

Do ponto de vista da qualidade da água, pesquisas apontam que os aluviões do semiárido apresentam, em geral, concentrações adequadas de sais dissolvidos e baixa salinidade em comparação com aquíferos cristalinos, que frequentemente apresentam condutividade elétrica elevada (Montenegro *et al*., 2010). Entretanto, a vulnerabilidade desses depósitos é significativa, pois a profundidade rasa do lençol os torna suscetíveis à infiltração de contaminantes. Estudos realizados em municípios do agreste pernambucano identificaram indícios de contaminação microbiológica em cacimbas escavadas em aluviões, sobretudo em áreas onde há uso intensivo de fossas rudimentares (Silva *et al*., 2013; CPRH, 2019).

Em termos sociais, a dependência das comunidades rurais em relação aos aluviões é marcante. Para famílias agricultoras de base familiar, esses depósitos representam não apenas fonte de água, mas também fator de permanência no campo. Ao possibilitar o cultivo de hortaliças e a criação de animais mesmo em períodos de estiagem, os aluviões contribuem para a segurança alimentar e para a geração de renda local. Pesquisas no semiárido apontam que a presença de aluviões produtivos está diretamente associada a menores índices de migração sazonal e maior estabilidade das famílias, reforçando o caráter estratégico desses aquíferos no desenvolvimento rural sustentável (Gnadlinger, 2000; Ribeiro Neto; Galvão; Montenegro, 2014; Embrapa, 2019).

Recentes levantamentos sobre a sustentabilidade do uso da água subterrânea no Alto

Capibaribe, conduzidos por pesquisadores da região, destacam o conflito entre a exploração de areia nos leitos secos e a manutenção da disponibilidade de água nos aluviões. O estudo defende a criação de normas para regular a mineração, visando equilibrar a extração de areia e a proteção das reservas hídricas, como parte de uma política territorial que valorize os aluviões como ativos hídricos estratégicos (Braga *et al*., 2015; Bezerra *et al*., 2019).

Em estudo recente, Bezerra *et al*. (2024) estimaram a recarga hídrica em aluviões do Alto Capibaribe pelo método de Water Table Fluctuation (WTF), monitorando quatro poços ao longo de dois anos. Os resultados indicaram recarga média de 27,4%, com variação entre 15,7% e 32,8%. O trabalho mostrou que poços próximos a barragens subterrâneas apresentaram maior estabilidade do nível freático, reforçando a eficácia dessas estruturas no manejo hídrico.

Paiva *et al*. (2014) e Caetano (2018), descreveram a construção tradicional dos "poços amazonas", destacando aspectos como revestimento e diâmetro, e concluíram que, apesar do caráter artesanal, esses sistemas atendem de forma eficaz às necessidades hídricas locais quando bem localizados e mantidos.

No que tange às características físico-químicas das águas em barragens subterrâneas no semiárido, análises apontaram risco de salinidade elevado para irrigação de culturas como milho e feijão, embora a água se mantivesse adequada para dessedentação animal. Esses resultados ressaltam a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água para uso multifuncional, evitando impactos negativos na agricultura familiar (Silva et al., 2013; Souza et al., 2016).

Silva *et al*. (2013), avaliando o potencial de aluviões para implantação de barragens subterrâneas, mapearam áreas viáveis e identificaram zonas suscetíveis à salinização. Os achados alertam para a necessidade de escolher adequadamente as áreas de implantação, priorizando aluviões arenosos com menor risco de salinização, a fim de garantir a segurança hídrica sem comprometer a qualidade dos recursos (Silva et al., 2013; Gnadlinger, 2000).

Assim, ao analisar o papel dos aluviões no Alto Capibaribe, percebe-se que eles são ao mesmo tempo solução e desafio. Solução porque garantem uma fonte descentralizada, resiliente e de baixo custo para comunidades historicamente vulneráveis. Desafio porque sua sustentabilidade depende de monitoramento técnico, proteção sanitária e gestão participativa, aspectos ainda pouco consolidados na prática local. A compreensão dessa dualidade é essencial para que gestores, técnicos e comunidades possam avançar rumo a modelos de abastecimento

rural mais sustentáveis e adaptados às especificidades do semiárido nordestino (Ribeiro Neto, Galvão, Montenegro 2014; Embrapa 2019; ANA 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica evidencia que os depósitos aluvionares do Alto Capibaribe representam uma fonte hídrica estratégica para comunidades rurais em áreas de escassez. Esses aquíferos oferecem vantagens como maior permeabilidade, menor profundidade do lençol freático e viabilidade econômica para sistemas simplificados de abastecimento. Experiências com barragens subterrâneas e poços amazonas mostram resultados positivos na ampliação do período de disponibilidade de água e na diversificação dos usos, incluindo irrigação familiar e dessedentação animal.

No entanto, a exploração desordenada, a vulnerabilidade à contaminação microbiológica, os riscos de salinização e a pressão crescente de atividades urbanas e minerárias comprometem a sustentabilidade desses sistemas. Há lacunas significativas na inclusão dos aluviões nos planos de bacia e nas políticas públicas de saneamento rural, o que limita o reconhecimento institucional do seu papel estratégico.

Recomenda-se a implementação de medidas de proteção sanitária, monitoramento técnico contínuo, regulação da extração de areia e integração desses aquíferos como infraestrutura natural nas estratégias de segurança hídrica. Sugere-se ainda a continuidade de estudos hidrogeológicos detalhados, com ênfase na recarga, na qualidade da água e no potencial de uso multifuncional, para subsidiar políticas públicas adaptadas às especificidades do semiárido nordestino.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo á Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de mestrado à primeira autora (processo 1141-3.01/24) e doutorado à segunda autora (processo 1900-3.01/24). Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). 2021. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021. Brasília: ANA.

APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima). 2011. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. Recife: APAC.

APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima). 2022. Diagnóstico da Qualidade de Água dos Reservatórios de Pernambuco (2021–2022). Recife: APAC.

Bezerra, G. E. M. N.; Vasconcelos, R. S.; Caetano, T. O.; Soares, B. M.; Cirilo, J. A.; Paiva, A. L. R. 2024. "Estimativa de recarga hídrica utilizando o método Water Table Fluctuation em aquífero aluvionar no semiárido brasileiro." Revista de Geociências do Nordeste 10 (2).

Braga, R. A. P.; Paiva, A. L. R.; Araújo Filho, P. F.; Cabral, J. J. S. P.; Silva, A. V.; Gusmão, P. T.; Costa, W. D. 2015. "A sustentabilidade do uso da água subterrânea frente à exploração de areias em leito de rios do semiárido brasileiro." Águas Subterrâneas 29 (1): 37–50.

Caetano, T. O. 2018. Caracterização hidrogeológica de aluviões no Alto Capibaribe – PE: potencial para implantação de barragens subterrâneas. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Campos, J. N. B.; Montenegro, S. M. G. L.; Cirilo, J. A. 2010. "A questão da água no semiárido brasileiro." In Águas no Brasil: Análises Estratégicas, edited by C. E. M. Bicudo, J. G. Tundisi, and M. C. B. Schevenstuhl, 79–91. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências.

Costa, W. D.; Silva, M. S. L.; Cirilo, J. A. 2003. "Barragens subterrâneas: uma alternativa de convivência com o semiárido." Revista Brasileira de Recursos Hídricos 8 (2): 5–15.

CPRH (Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco). 2019. Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas de Pernambuco – 2019. Recife: CPRH.

Cunha, T. J. F.; Petrere, V. G.; Silva, D. J.; Mendes, A. M. S.; Melo, R. F.; Oliveira Neto, M. B.; Silva, M. S. L.; Alvarez, I. A. 2010. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. Petrolina: Embrapa Semiárido.

Embrapa Semiárido. 2019. Barragem Subterrânea. Petrolina: Embrapa.

Gnadlinger, J. 2000. "Barragens subterrâneas no semiárido nordestino." Ciência Hoje 27 (161): 42–47.

Gomes, R.; Frischkorn, J. 2009. "Uso de aluviões para abastecimento no semiárido cearense."

Revista Brasileira de Recursos Hídricos 14 (3): 45–56.

Montenegro, S. M. G. L.; Montenegro, A. A. A.; Ragab, R. 2010. "Hydrological response of a small semi-arid catchment in Brazil: a case study under conditions of land use change." Hydrological Processes 24 (22): 2773–2784. https://doi.org/10.1002/hyp.7695

Paiva, A. L. R.; Silva, D. J.; Cabral, J. J. S. P.; Braga, R. A. P.; Caetano, T. O. 2014. Ocorrência e características construtivas de poços escavados em aluvião – trecho alto do Rio Capibaribe – PE. Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SRHNE), ABRHidro, Natal.

Ribeiro Neto, A.; Galvão, A.; Montenegro, J. C. 2014. "Gestão integrada de recursos hídricos no semiárido: desafios e perspectivas." Revista Brasileira de Recursos Hídricos 19 (2): 313–326. https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p313-326

Sá, J. U.; Diniz, J. A. O. 2012. "Aproveitamento das aluviões do semiárido do Nordeste." Águas Subterrâneas 26 (1): 1–12.

Santos, S. M.; Paiva, A. L. R.; Silva, V. F. 2016. "Qualidade da água em barragem subterrânea no semiárido." Revista Brasileira de Agricultura Irrigada 10 (6): 651–662.

Silva, M. S. L.; Souza, J. R. M.; Oliveira Neto, M. B.; Freire, M. B. G. S. 2013. "Qualidade da água em poços escavados em aluviões do agreste pernambucano." Revista Caatinga 26 (3): 25–35.

Silva, M. S. L.; Souza, J. R. M.; Oliveira Neto, M. B.; Freire, M. B. G. S. 2015. "Vulnerabilidade e gestão de aluviões no semiárido pernambucano." Revista Brasileira de Geografia Física 8 (6): 1825–1840.

Silva Filho, J. A. 2018. Avaliação do potencial de aluviões para implantação de barragens subterrâneas no semiárido pernambucano. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande.

Souza, J. R. M.; Silva, M. S. L.; Oliveira Neto, M. B.; Freire, M. B. G. S.; Silva, D. M. 2016. "Barragens subterrâneas no semiárido: qualidade da água de poços localizados em área de plantio." Petrolina: Embrapa Semiárido.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037092

DESAFIOS E AÇÕES PARA O ACESSO À ÁGUA POTÁVEL NAS COMUNIDADES RIBEIRINHAS DO ESTADO DO AMAPÁ

RETOS Y ACCIONES PARA EL ACCESO AL AGUA POTABLE EN COMUNIDADES RIBEREÑAS DEL ESTADO DE AMAPÁ

CHALLENGES AND ACTIONS FOR ACCESS TO DRINKING WATER IN RIVERSIDE COMMUNITIES IN THE STATE OF AMAPÁ

Santos, Carmen Nilza dos[1]; Ferreira, Júlio César da Silva[2]; Vieira, Paulo Roberto Rodrigues[3]; Maciel, Clodoaldo Monteiro[4].

[1]Especialização em Saúde Ambiental, Fundação Nacional de Saúde Amapá, Brasil,carmem.nilza01@gmail.com;
[2]Graduando de Gestão Ambiental, Fundação Nacional de Saúde, Amapá, Brasil,juliocesardferreira@gmail.com;
[3]Mestre em planejamento urbano e regional, Fundação Nacional de Saúde, Amapá, Brasil, paulo.rodrigues@funasa.gov.br;
[4]Mestrado em Educação, Amapá, Brasil, dinhomaciel1972@gmail.com.
.

Eixo Temático 03 – Modelos de tratamento e filtração simplificados para pequenas comunidades.

Eje Temático 03 – Modelos simplificados de tratamiento y filtración para pequeñas comunidades.

Thematic Axis 03 – Simplified treatment and filtration models for small communities.

RESUMO

A cobertura de água potável para a população ribeirinha do Amapá continua sendo um desafio persistente. Grande parte das comunidades depende da água dos rios, muitas vezes imprópria para o consumo humano devido à ausência de infraestrutura adequada de captação, tratamento e distribuição. O estado do Amapá apresenta uma das menores taxas de acesso à rede de água do Brasil, com apenas 40,04% da população atendida, o que reflete uma realidade preocupante, especialmente nas regiões rurais e ribeirinhas, onde o saneamento básico é precário ou inexistente. Essa situação agrava as condições de saúde e o bem-estar das populações locais, expostas a doenças de veiculação hídrica. Em março de 2025, a Fundação Nacional de Saúde do Amapá (Funasa-AP) participou da 149ª Jornada Fluvial ao Arquipélago do Bailique, promovida pela Justiça do Amapá. A ação interinstitucional teve como objetivo principal promover práticas sustentáveis de saúde e saneamento, alinhadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), que visa garantir o acesso universal à água potável e ao saneamento. Durante a jornada, as equipes da Funasa realizaram atividades educativas e oficinas sobre o uso de dosador artesanal de cloro, aplicando um modelo alternativo de desinfecção da água. Como resultado, foi instalado um clorador artesanal na caixa d'água da Escola Municipal Vila Progresso, beneficiando diretamente 130 alunos e 8 professores. Por meio de rodas de conversa e articulação com a Secretaria de Saúde, foram levantadas as principais necessidades sanitárias das comunidades e observada a redução de casos de diarreia aguda na comunidade Limão do Curuá, de 40 registros em 2024 para 20 em 2025, evidenciando o impacto positivo de intervenções dessa natureza. A iniciativa contou ainda com a parceria de diversas instituições, como a Secretaria das Mulheres, o MTE, o TRE e a Associação das Mulheres Extrativistas, reforçando o caráter intersetorial das ações e a importância de garantir saúde e dignidade às populações ribeirinhas do Amapá.

Palavras-chave: Abastecimanto de água, ODS 6, População ribeirinha, Semiárido, Tratamento alternativo da água.

RESÚMEN

La cobertura de agua potable para la población ribereña de Amapá sigue siendo un desafío persistente. Muchas comunidades dependen del agua de los ríos, que a menudo no es apta para el consumo humano debido a la falta de infraestructura adecuada de recolección, tratamiento y distribución. El estado de Amapá tiene una de las tasas más bajas de acceso a la red de agua en Brasil, con solo el 40,04% de la población servida. Esto refleja una realidad preocupante, especialmente en las regiones rurales y ribereñas, donde el saneamiento básico es precario o inexistente. Esta situación agrava la salud y el bienestar de las poblaciones locales, que están expuestas a enfermedades transmitidas por el agua. En marzo de 2025, la Fundación Nacional de Salud de Amapá (Funasa-AP) participó en la 149.ª Jornada Fluvial al Archipiélago de Bailique, promovida por el Departamento de Justicia de Amapá. El principal objetivo de la iniciativa interinstitucional fue promover prácticas sostenibles de salud y saneamiento, alineadas con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6), que busca garantizar el acceso universal al agua potable y al saneamiento. Durante el evento, los equipos de Funasa realizaron actividades educativas y talleres sobre el uso de un dispensador de cloro casero, aplicando un modelo alternativo de desinfección de agua. Como resultado, se instaló un clorador casero en el tanque de agua de la Escuela Municipal de Vila Progresso, beneficiando directamente a 130 estudiantes y 8 docentes. Mediante grupos de discusión y la coordinación con la Secretaría de Salud, se identificaron las principales necesidades de salud de las comunidades y se observó una reducción de los casos de diarrea aguda en la comunidad de Limão do Curuá, de 40 en 2024 a 20 en 2025, lo que destaca el impacto positivo de estas intervenciones. La iniciativa también contó con la colaboración de varias instituciones, como la Secretaría de la Mujer, el Ministerio de Trabajo, el Tribunal Electoral Regional (TRE) y la Asociación de Mujeres Extractivas, lo que refuerza la intersectorialidad de las acciones y la importancia de garantizar la salud y la dignidad de las poblaciones ribereñas de Amapá.

Palabras clave: Abastecimiento de agua, ODS 6, Población ribereña, Semiárido, Tratamiento alternativo del agua.

ABSTRACT

Drinking water coverage for Amapá's riverside population remains a persistent challenge. Many communities depend on river water, which is often unfit for human consumption due to the lack of adequate collection, treatment, and distribution infrastructure. The state of Amapá has one of the lowest rates of access to the water network in Brazil, with only 40.04% of the population served. This reflects a worrying reality, especially in rural and riverside regions, where basic sanitation is precarious or non-existent. This situation worsens the health and well-being of local populations, who are exposed to waterborne diseases. In March 2025, the National Health Foundation of Amapá (Funasa-AP) participated in the 149th River Journey to the Bailique Archipelago, promoted by the Amapá Justice Department. The main objective of the inter-institutional initiative was to promote sustainable health and sanitation practices, aligned with Sustainable Development Goal 6 (SDG 6), which aims to ensure universal access to safe drinking water and sanitation. During the event, Funasa teams conducted educational activities and workshops on the use of a homemade chlorine dispenser, applying an alternative water disinfection model. As a result, a homemade chlorinator was installed in the water tank of the Vila Progresso Municipal School, directly benefiting 130 students and 8 teachers. Through discussion groups and coordination with the Health Department, the communities'

main health needs were identified, and a reduction in acute diarrhea cases in the Limão do Curuá community was observed, from 40 in 2024 to 20 in 2025, highlighting the positive impact of such interventions. The initiative also had the partnership of several institutions, such as the Secretariat for Women, the Ministry of Labor, the Regional Electoral Court (TRE), and the Association of Extractive Women, reinforcing the intersectoral nature of the actions and the importance of guaranteeing health and dignity to the riverside populations of Amapá.

Keywords: Water supply, SDG 6, Riverside population, Semi-arid, Alternative water treatment.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A Amazônia brasileira enfrenta desafios históricos no acesso ao saneamento básico, apresentando um déficit de saneamento, resultado de fatores estruturais como a grande extensão territorial, dificuldades logísticas, persistente subinvestimento em infraestrutura básica, isolamento de comunidades ribeirinhas e de difícil acesso como para o Arquipélago do Bailique, no Amapá (TRATA BRASIL, 2023).

A ausência de infraestrutura adequada compromete diretamente a saúde das populações locais que, devido à privação no acesso a água tratada e no sistema de esgotamento, ficam ficam mais expostas a doenças de veiculação (ROSA *et al*., 2021).

Nesse contexto, o Amapá apresenta os piores índices de acesso à água tratada e atendimento à coleta de esgoto, atendendo 46,93% e 12% da população, respectivamente. Para melhorar esses indicadores de saneamento, é necessário investir nos serviços de saneamento básico (TRATA BRASIL, 2023).

Nesse cenário, a participação da Funasa-AP na Jornada Fluvial assume caráter estratégico: além de levar serviços e educação em saneamento a comunidades isoladas, a ação integra políticas públicas locais e objetivos internacionais ao buscar avanços concretos do ODS 6 (água limpa e saneamento) por meio de intervenções tecnicamente apropriadas, ações educativas e articulação interinstitucional. Essa abordagem alinhada ao ODS 6 é essencial para transformar respostas pontuais em impactos sustentáveis sobre saúde, equidade e direitos básicos das populações ribeirinhas.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA/AP), em parceria com o Tribunal de Justiça do Estado do Amapá (TJAP), participou da 149ª Jornada Fluvial ao Arquipélago do Bailique, realizada entre 23 e 29 de março de 2025. A iniciativa teve como objetivo principal realizar diagnósticos, atividades educativas e intervenções voltadas à promoção da saúde ambiental, com ênfase no abastecimento de água, saneamento básico e controle de doenças de veiculação hídrica.

As ações foram desenvolvidas com as comunidades de Vila Progresso, Limão do Curuá, Itamatatuba/Ilinha e Ipixuna Miranda, contemplaram um total de 1979 habitantes. Inicialmente, foram promovidas reuniões técnicas com lideranças comunitárias, gestores escolares e associações locais, com o propósito de apresentar as ações da FUNASA voltadas à promoção e proteção da qualidade da água.

Foram desenvolvidas rodas de conversa e oficinas educativas sobre tratamento e manuseio seguro da água, coleta seletiva e saúde ambiental, nas quais foram apresentadas as tecnologias sociais da FUNASA, incluindo o sistema SALTA-Z (Solução Alternativa Coletiva Simplificada de Tratamento de Água). Nessas atividades, também foram oferecidas orientações sobre o acesso a projetos de saneamento rural.

Durante a jornada, formulários e questionários foram aplicados com 118 famílias, (Vila Progresso: 26; Limão do Curuá: 30; Itamatatuba /Ilinha: 46; e Ipixuna Miranda: 16), para coletar dados sobre doenças de veiculação hídrica, condições sanitárias domiciliares e infraestrutura de saneamento das localidades. Além disso, foram realizadas avaliações técnicas para verificar a viabilidade de implantação de sistemas alternativos de tratamento de água, como cloradores artesanais, e melhorias sanitárias em uma unidade escolar.

Na Escola Municipal Vila Progresso, foi instalado um clorador artesanal, acompanhado de uma ação educativa sobre o uso correto do hipoclorito de sódio para desinfecção da água, incluindo demonstrações práticas junto à comunidade.

Por fim, ocorreram reuniões interinstitucionais com órgãos parceiros, entre eles TJAP, TRE, MTE, Secretarias Municipais e Associações de Mulheres Extrativistas, com o intuito de fortalecer ações conjuntas voltadas à saúde pública e ao saneamento rural no Arquipélago do Bailique.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As ações realizadas pela equipe da FUNASA/AP resultaram em dados importantes no diagnóstico e sensibilização das comunidades ribeirinhas quanto à qualidade da água e às condições de saneamento rural.

O diagnóstico situacional detalhado das condições de saneamento e saúde ambiental nas comunidades Vila Progresso, Limão do Curuá, Itamatatuba /Ilinha e Ipixuna Miranda, apontou uma redução nos casos de doenças diarreicas nas quatro localidades visitadas, demonstrando avanços nas práticas de higiene e tratamento da água (Figura 1).

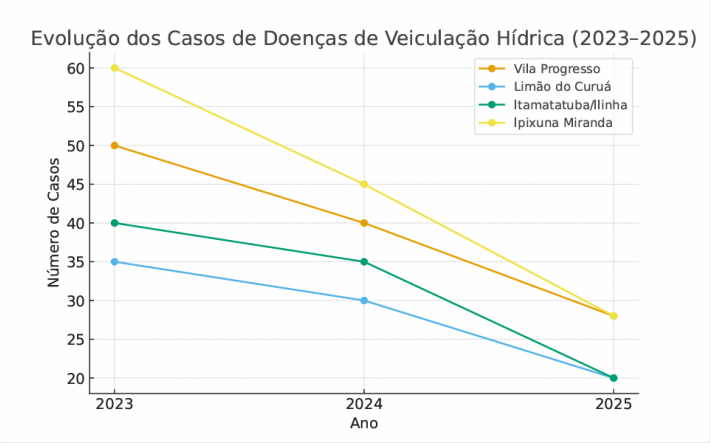


Figura 1. Evolução dos casos de doenças de veiculação hídrica.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Com relação à infraestrutura de saneamento básico, evidenciou-se que nem todas as habitações possuem banheiro nem coleta de resíduos sólidos. O abastecimento de água tratada tem uma baixa cobertura e o tratamento intradomiciliar também é feito pela maioria das famílias (Figura 2).

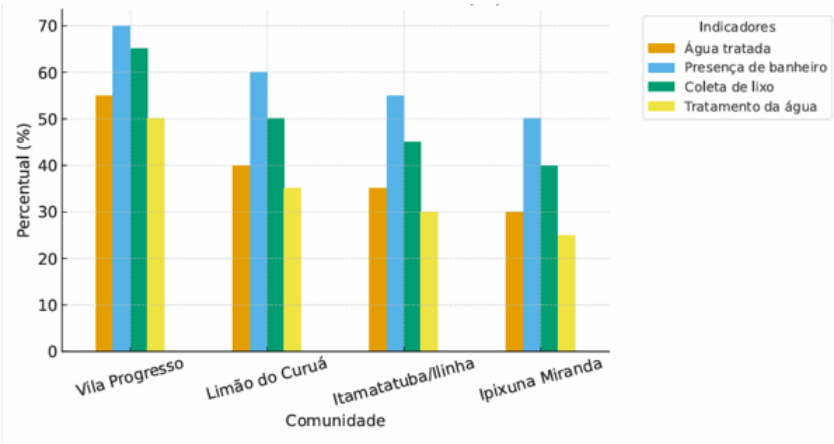


Figura 2. Infraestrutura de saneamento básico dos cinco municípios.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Instalação de um clorador artesanal na Escola Municipal de Ensino Fundamental Vila Progresso, com água tratada.

A instalação do na caixa d'água da Escola Municipal Vila Progresso representa uma solução de baixo custo e alta eficácia, promovendo o acesso a água potável para 130 alunos, 08 professores e equipe escolar. Conforme Heller (2007), "o saneamento básico é um direito humano fundamental, que viabiliza outros direitos como saúde e educação".

O treinamento prático e as orientações técnicas para gestores escolares, lideranças e moradores sobre o uso de cloradores artesanais e manuseio do hipoclorito de sódio para desinfecção da água (Figura 3), foram ações estruturantes que permitem a sustentabilidade da solução alternativa instalada, a fim de garantir água segura para as pessoas atendidas.

Figura 3. Treinamento sobre uso de clorador artesanal
Fonte: Elaboração própria, 2025.

As principais necessidades de infraestrutura sanitária, relatada pelos entrevistados, estão relacionadas a existência de pia de cozinha, a reservação de água e recipiente para os resíduos sólidos (Figura 4). Esses dados podem subsidiar futuros projetos e investimentos públicos para melhoria das condições de abastecimento de água e saneamento básico no Arquipélago do Bailique, levando-se em consideração as percepções das próprias comunidades.

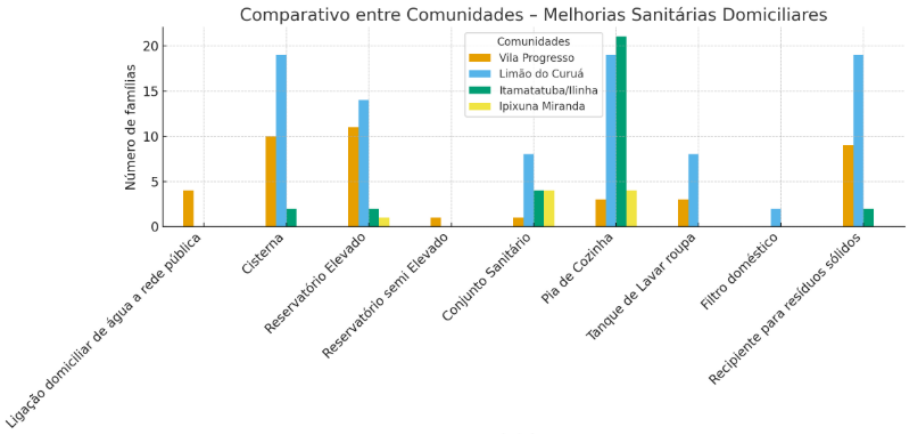


Figura 4. Comparativo entre as comunidades quanto a percepção da necessidade de melhorias sanitárias domiciliares.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Apresentação e disseminação de tecnologias sociais da FUNASA, como o SALTA-Z, ampliando o conhecimento da população sobre soluções alternativas de tratamento de água, permitem que a organização social se muna de conhecimento para cobrar da gestão municipal ações estruturais e estruturantes adequadas ao seu território e que são viáveis de obtenção por meio dos editais de fomento. A mobilização comunitária e o fortalecimento interinstitucional, com reuniões técnicas envolvendo o TJAP, TRE, MTE, Secretarias Municipais e Associações de Mulheres Extrativistas, promovem integração entre saúde, saneamento e cidadania.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações possibilitaram ampliar o conhecimento técnico das comunidades, fortalecer parcerias institucionais e evidenciar a necessidade de implantação de sistemas alternativos de tratamento de água, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e redução de doenças de origem hídrica nas localidades atendidas, contribuindo no cumprimento das metas do Brasil no ODS 6.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Conselho Nacional de Justiça -CNJ. Jornada Fluvial no Bailique: moradores da comunidade de Itamatatuba recebem a ação da Justiça do Amapá neste 5º dia de Jornada. Disponível em: https://www.cnj.jus.br/jornada-fluvial-no-bailique-moradores-da-comunidade-de-itamatatuba-recebem-a-acao-da-justica-do-amapa-neste-5o-dia-de-jornada.

HELLER, Leo. Saneamento e saúde ambiental: fundamentos para uma prática integrada. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

INSTITUTO TRATA BRASIL. A vida sem saneamento: para quem falta e onde mora essa população? São Paulo, 2023. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/11/VERSAO-FINAL-PRIVACAO-DO-SANEAMENTO.pdf

ROSA, Bruna Betim; MELLO, Diego Claro; RESENDE, Ester Sartorato, BADEM; Isabella Ferreira; MORON, Murilo Emple; VERI, Nathália Cristina Keller; CATALAN, Daniel Thome. Evolução do saneamento básico e a sua relação com a saúde pública. Health Sci Inst. 2021;39(1):33-41.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037134

DESAFIOS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA O ABASTECIMENTO E QUALIDADE DA ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

DESAFÍOS Y SOLUCIONES ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO Y LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES RURALES DEL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

CHALLENGES AND ALTERNATIVE SOLUTIONS FOR WATER SUPPLY QUALITY IN RURAL COMMUNITIES OF THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

Bruno Carvalho[1], Alyne Lima[2], Mariana Andrade[3] e Daniel Pifano[4].

[1]Graduando em engenharia mecânica, UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, bruno.magno@discente.univasf.edu.br, 0009-0009-0119-2095;
[2]Doutoranda em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial, UNIVASF, Petrolina-PE, Brasil, alynegessick@gmail.com, 0000-0003-0143-3548.
[3]Doutoranda em Ciência Animal, UNIVASF, Petrolina-PE, Brasil, mariana.alvesandrade@discente.univasf.edu.br, 0000-0002-7589-0509;
[4]Doutor em Engenharia Florestal, UFLA, Lavras-MG, Brasil, daniel.pifano@univasf.edu.br, 0000-0001-8361-7337.

Eixo Temático 03 – Tecnologias de abastecimento de água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural

Eje Temático 03 – Tecnologías de abastecimiento de agua
Soluciones alternativas de abastecimiento en al medio rural.

Thematic Axis 03 – Water Supply Technologies
Alternative water supply solutions in rural areas

RESUMO

O acesso à água em comunidades rurais do Semiárido brasileiro ainda representa um grande desafio, especialmente diante da escassez hídrica e das limitações de infraestrutura. Este trabalho analisou dados coletados em comunidades dos estados do Rio Grande do Norte, Piauí, Bahia e Pernambuco com foco nas principais formas de abastecimento utilizadas, como Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA), Soluções Alternativas Coletivas (SAC), poços e outras fontes. Os resultados revelaram uma forte dependência de soluções alternativas, muitas vezes sem tratamento adequado da água, além de dificuldades operacionais, ausência de ações regulares de controle de qualidade e fragilidade na gestão comunitária dos sistemas. O estudo reforça a necessidade de tecnologias adaptadas à realidade local e políticas públicas que incentivem a manutenção, capacitação e participação social para garantir a sustentabilidade do abastecimento de água no meio rural.

Palavras-chave: Abastecimento Rural, Soluções Alternativas coletivas, Qualidade da água, Semiárido brasileiro

RESÚMEN

El acceso al agua en comunidades rurales del Semiárido brasileño sigue siendo un gran desafío, especialmente debido a la escasez hídrica y a las limitaciones de infraestructura. Este estudio analizó datos recogidos en comunidades de los estados de Rio Grande do Norte, Piauí, Bahía y Pernambuco, con enfoque en las principales formas de abastecimiento utilizadas, como los Sistemas Simplificados de Abastecimiento de Agua (SSAA), las Soluciones Alternativas Colectivas (SAC), pozos y otras fuentes. Los resultados revelaron una fuerte dependencia de soluciones alternativas, muchas veces sin tratamiento adecuado del agua, además de dificultades operativas, ausencia de acciones regulares de control de calidad y una gestión comunitaria frágil de los sistemas. El estudio refuerza la necesidad de tecnologías adaptadas a la realidad local y de políticas públicas que promuevan el mantenimiento, la capacitación y la participación social para garantizar la sostenibilidad del abastecimiento de agua en el medio rural.

Palabras clave: Abastecimiento, Soluciones alternativas colectivas, Calidad del agua, Semiárido brasileño

ABSTRACT

Access to water in rural communities of the Brazilian semi-arid region remains a major challenge, especially due to water scarcity and infrastructure limitations. This study analyzed data collected from communities in the states of Rio Grande do Norte, Piauí, Bahia, and Pernambuco, focusing on the main water supply methods used, such as Simplified Water Supply Systems (SSAA), Collective Alternative Solutions (SAC), wells, and other sources. The results revealed a strong dependence on alternative solutions, often without adequate water treatment, along with operational difficulties, lack of regular quality control actions, and fragile community management of the systems. The study highlights the need for technologies adapted to local realities and public policies that promote system maintenance, training, and community participation to ensure the sustainability of rural water supply.

Keywords: Rural water supply, Collective alternative solutions, Simplified systems, Brazilian semi-arid regions, Water quality

INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro apresenta um dos cenários mais críticos em relação ao acesso à água, marcado por irregularidade de chuvas, longos períodos de estiagem e limitações estruturais para o abastecimento em áreas rurais. A população dessas regiões depende frequentemente de sistemas de pequeno porte, como os Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA) e as Soluções Alternativas Coletivas (SAC), além de outras estratégias como poços tubulares, cisternas e abastecimento por caminhões-pipa.

Contudo, a desigualdade no acesso à água não se restringe apenas à disponibilidade física, mas também à distribuição regional e à qualidade da água consumida. Estudos apontam que, no Brasil, a maior parte dos recursos hídricos concentra-se em áreas de baixa densidade populacional, enquanto as regiões mais populosas, como o Semiárido, dispõem de parcelas muito menores desses recursos (ANA, 2017a). Essa disparidade reforça a vulnerabilidade das comunidades rurais diante da escassez hídrica.

Além disso, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabelece, nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que o acesso à água potável e ao saneamento deve estar atrelado à qualidade de vida, à saúde e ao desenvolvimento humano. O ODS 6, em especial, orienta para a universalização do acesso à água segura, gestão eficiente e conservação dos ecossistemas aquáticos (ANA, 2019; Bernardino; Costa; Oliveira, 2020).

A qualidade da água destinada ao consumo humano é um aspecto central, pois está diretamente relacionada à saúde pública. Nesse sentido, o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, aliado à avaliação da infraestrutura dos sistemas de abastecimento, é fundamental para assegurar a potabilidade e reduzir riscos à saúde das populações rurais. A ausência desse acompanhamento compromete a eficiência das soluções alternativas de abastecimento, evidenciando fragilidades estruturais e a carência de vigilância no contexto rural brasileiro (Bernardino; Costa; Oliveira, 2020).

Portanto, compreender a situação atual do abastecimento em comunidades rurais do Semiárido, identificando gargalos e oportunidades de melhoria, é essencial para subsidiar políticas públicas e intervenções técnicas mais eficazes, que garantam não apenas o fornecimento, mas também a qualidade da água ofertada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no âmbito do Projeto ProÁgua Rural, uma iniciativa da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) em parceria com a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), com o propósito de promover a sustentabilidade das tecnologias de abastecimento no meio rural. A pesquisa abrangeu 22 comunidades dos estados de Pernambuco, Bahia, Rio Grande do Norte e Piauí, por meio de metodologia em duas etapas principais. O instrumento de análise contemplou variáveis referentes ao perfil comunitário, à infraestrutura de saneamento e à gestão comunitária.

A primeira etapa consistiu na coleta de dados primários, realizada por meio de questionários aplicados aos líderes comunitários das comunidades atendidas, como mostra a figura 1. As entrevistas contemplaram aspectos relacionados às formas de abastecimento utilizadas, à percepção da qualidade da água e às dificuldades enfrentadas na operação e manutenção dos sistemas.

Figura 1. Aplicação de questionário em comunidade rural de Socorro–PI
Fonte: ProÁgua Rural, 2024.

Na segunda etapa, foram realizadas análises físico-químicas da água, a partir de amostras coletadas diretamente nos pontos de distribuição (Figura 2). O objetivo foi verificar a conformidade dos parâmetros com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Figura 2. Coleta de amostras de água no ponto de distribuição da comunidade de jutaí, em Lagoa Garnde-PE
Fonte: ProÁgua Rural, 2024.

Foram conduzidas análises físico-químicas da água em diferentes comunidades, com o objetivo de avaliar os diversos parâmetros de potabilidade. Como exemplo, apresenta-se a análise do ponto de distribuição da comunidade de Jutaí, localizada no município de Lagoa Grande-PE, onde foi avaliada a eficiência da tecnologia Salta Z.

Desenvolvida pela Funasa, a tecnologia Salta Z constitui uma solução alternativa de tratamento de água voltada para comunidades rurais. O sistema utiliza um processo de filtração baseado em zeólita, que permite a remoção eficiente de impurezas, contribuindo para a melhoria da qualidade da água distribuída à população.

As análises laboratoriais foram conduzidas no laboratório da sede do Projeto ProÁgua Rural, localizado na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus de Ciências Agrárias – CCA (Figura 3).

Figura 3. Laboratório da sede do Projeto ProÁgua Rural, localizado no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF
Fonte: ProÁgua Rural, 2024.

As análises físico-químicas foram realizadas com o uso de equipamentos de rotina empregados no monitoramento da qualidade da água. O pH foi determinado por meio de pHmetro; a turbidez avaliada em turbidímetro; a condutividade elétrica e salinidade foram medidas utilizando uma sonda multiparâmetros. A dureza e a alcalinidade, assim como os parâmetros de cor real, cloro residual, nitrito, nitrato, amônia, ferro e manganês, foram determinados por espectrofotometria (colorimetria) em colorímetro digital. Esses procedimentos permitiram verificar a conformidade dos parâmetros analisados com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As entrevistas permitiram levantar informações referentes a 3.369 residências, das quais 1.939 estavam ocupadas. Os dados foram organizados em planilha eletrônica e submetidos a análise. Essa abordagem possibilitou identificar tanto os desafios do abastecimento de água e saneamento rural (como a presença de esgotamento sanitário, em apenas 17,39% das comunidades, e a baixa experiência das associações em gestão de sistemas, registrada em 4,5%) quanto as potenciais soluções alternativas baseadas na mobilização social, a exemplo da realização de encontros comunitários (41%) e ações educativas (23%), como mostra a figura 4.

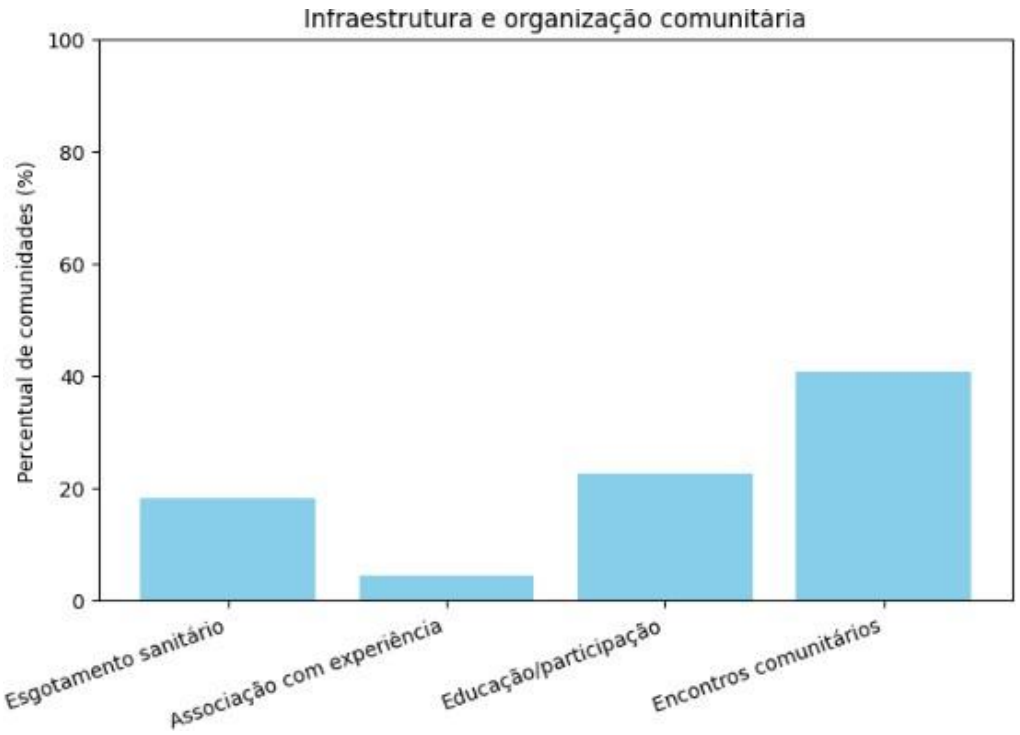


Figura 4. Percentual de comunidades rurais segundo indicadores de infraestrutura e organização comunitária.
Fonte: ProÁgua Rural, 2024.

O levantamento evidenciou que as comunidades rurais investigadas apresentam forte dependência de soluções alternativas para o acesso à água. Verificou-se que os poços tubulares e o abastecimento por caminhões-pipa constituem as formas mais recorrentes, atendendo, respectivamente, 11 e 10 comunidades (Figura 5). Ressalta-se que o uso de cisternas foi identificado em apenas uma comunidade como forma principal de abastecimento. Além disso, algumas localidades contam com a utilização da tecnologia Salta Z, destinada ao tratamento e à distribuição de água por meio de chafarizes, como observado na comunidade de Jutaí (Figura 2). Nesses casos, tanto os poços quanto os caminhões-pipa podem ser utilizados como fontes de suprimento para alimentar o sistema de tratamento e garantir a distribuição de água à população.

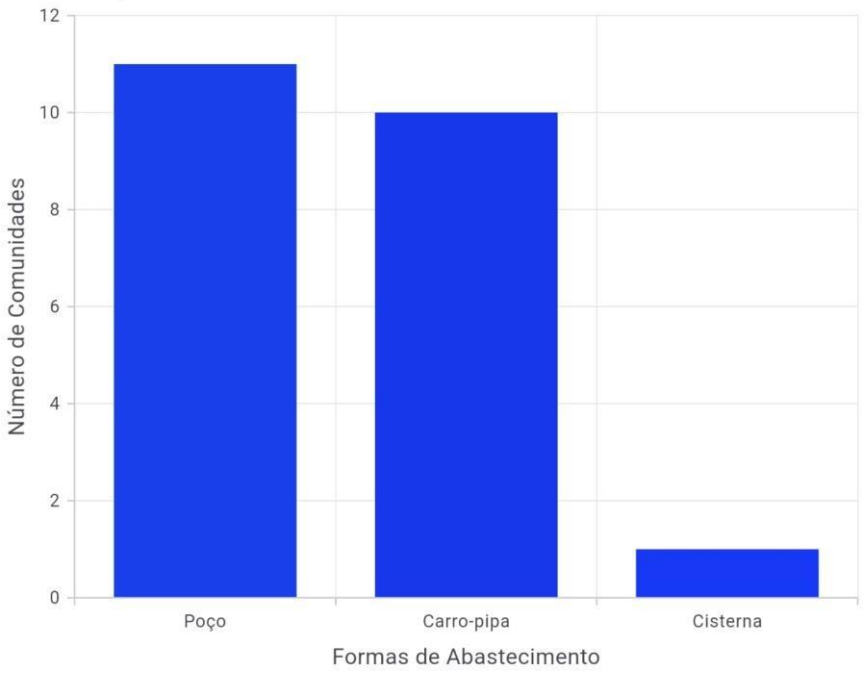


Figura 5. Relação das principais formas de abastecimento e o número de comunidades
Fonte: ProÁgua Rural, 2024.

Os resultados das análises físico-químicas realizadas nas comunidades indicaram que, embora a maioria dos parâmetros estivesse dentro dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, diversas localidades apresentaram valores acima do recomendado para condutividade elétrica, dureza, salinidade e manganês. O resultado da análise realizada no sistema Salta Z (Figura 6), da comunidade de Jutaí, exemplifica essa tendência, apresentando quatro parâmetros fora do padrão, resultado semelhante ao observado em outras comunidades avaliadas, que apresentaram no mínimo três parâmetros fora dos padrões de potabilidade.

PROÁGUA RURAL

Laudo de análises

Projeto Proágua Rural

DATA E HORA DE COLETA	LOCAL DA COLETA	ANALISTA (S)	IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRA
05/02/2024 ás 15:28	Salta Z - Jutaí	Graciele Souza; Alan Jones	202407

DATA DE EMISSÃO DE LAUDO
05/02/2024

RESULTADOS			
TIPOS DE ANÁLISES	VALOR	UNIDADE	SITUAÇÃO
pH	6,47	-	DENTRO DO PADRÃO
COR REAL	0	uH	DENTRO DO PADRÃO
CLORO RESIDUAL	0,053	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
TURBIDEZ	0,72	uT	DENTRO DO PADRÃO
CONDUTIVIDADE	1646	µS/cm	FORA DO PADRÃO
SALINIDADE	821	mg/L	FORA DO PADRÃO
DUREZA	820	mg/L	FORA DO PADRÃO
ALCALINIDADE	118	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
SULFATO	26,25	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
NITRITO (N)	0,03	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
NITRATO (N)	5,97	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
AMÔNIA (N)	0	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
FERRO	0	mg/L	DENTRO DO PADRÃO
MANGANÊS	0,63	mg/L	FORA DO PADRÃO

Legenda		
Dentro do padrão	Fora do padrão	Não realizado

Figura 6. Resultado da análise físico-química do Salta Z - Jutaí
Fonte: ProÁgua Rural, 2024.

A situação encontrada dialoga diretamente com as conclusões de Bernardino, Costa e Oliveira (2020), que destacam que a simples implantação de tecnologias de tratamento é insuficiente sem um monitoramento contínuo e rigoroso. A ausência de vigilância da qualidade da água em contextos rurais, apontada pelos autores como um desafio central, é confirmada neste estudo, onde a presença de múltiplos parâmetros fora do padrão sugere falhas na operação, na manutenção ou na adequação da tecnologia à qualidade da água local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que as comunidades rurais do Semiárido brasileiro ainda enfrentam sérios desafios relacionados ao abastecimento e à qualidade da água, como a dependência de soluções alternativas, a ausência de esgotamento sanitário em grande parte das localidades e a fragilidade das associações na gestão dos sistemas. Embora tecnologias sociais como a Salta Z tenham se mostrado relevantes para ampliar o acesso à água tratada, as análises físico-químicas demonstraram que parâmetros fora do padrão permanecem recorrentes, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e ajustes técnicos.

Nesse contexto, o fortalecimento do saneamento estruturante surge como elemento essencial para a sustentabilidade dos sistemas, uma vez que não se limita à implantação de tecnologias, mas envolve a formação de capacidades locais. Oficinas, capacitações e ações educativas são fundamentais para que as comunidades adquiram autonomia na operação, manutenção e controle da qualidade da água, assegurando, assim, maior eficiência e durabilidade das soluções adotadas.

Conclui-se, portanto, que a articulação entre tecnologias adequadas, o monitoramento contínuo da qualidade da água e da infraestrutura, e a capacitação comunitária representa a estratégia mais eficaz para enfrentar a escassez hídrica e garantir o direito à água segura nas comunidades rurais do Semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas – Brasil). 2017a. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno*. Brasília: ANA.

ANA (Agência Nacional de Águas – Brasil). 2017b. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

Bernardino, Kamila Rocha, David de Andrade Costa, and Vicente de Paulo Santos de Oliveira. 2020. "O desafio do saneamento em comunidades rurais e a importância do monitoramento da qualidade da água." *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego* 14 (2): 255–273. https://doi.org/10.19180/2177-4560.v14n22020p255-273.

ProÁgua Rural. 2025. "Página inicial." *Pro Água Rural*. Acessado 29 de setembro de 2025. https://proaguarural.com.br/.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037144

EFICÊNCIA DE HIDROCICLONE NA IRRIGAÇÃO: AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTO UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

EFICIENCIA DE HIDROCICLÓN EN LA IRRIGACIÓN: EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PRETRATAMIENTO UTILIZANDO DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

EFFICIENCY OF HYDROCYCLONE IN IRRIGATION: EVALUATION AND OPTIMIZATION OF PRETREATMENT USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Raissa Braga[1], Severino Neto[2], Rafael Silva[3].

[1]Graduação, UFCG, Campina Grande, Brasil, raissa.lopes@eq.ufcg.edu.br;
[2]Doutor, UFCG, Campina Grande, Brasil, severino.rodrigues@professor.ufcg.edu.br;
[3]Graduação, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, rafael.santoss@ufrpe.br, 0009-0006-2225-9680;

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Qualidade da água: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el abastecimiento de agua
Calidad del agua: caracterización y monitoreo de aguas para consumo humano.

Thematic Axis 03 – Technologies for water supply
water quality: characterization and monitoring of water for human consumption.

RESUMO

O trabalho discute o uso de hidrociclones como pré-filtros para o tratamento de água na agricultura, com o objetivo de remover partículas sólidas como a areia. A escassez de água e a necessidade de sua reutilização impulsionam a pesquisa de novas tecnologias de tratamento. Na agricultura, a irrigação é responsável por cerca de 68% da demanda global de água, e a qualidade da água é um fator crucial, especialmente em sistemas de irrigação localizada, que são vulneráveis à obstrução. A presença de sólidos em suspensão na água pode ser causada por processos erosivos, assoreamento de mananciais ou mesmo por concentrações elevadas de areia em águas subterrâneas. Para solucionar esses problemas, os sistemas de filtragem convencionais, como filtros de areia, tela ou discos, podem ser complementados com pré-filtros como os hidrociclones em situações de alta concentração de partículas sólidas. Hidrociclones separam sólidos de líquidos usando forças centrífugas, não têm partes móveis e possuem baixo custo operacional, aumentando a vida útil dos sistemas de irrigação. No entanto, seu uso na agricultura brasileira ainda é limitado. O estudo utilizou a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) para simular o desempenho de um ciclone na remoção de partículas de areia. A metodologia envolveu simulações via CFD, que permitiram analisar o comportamento hidrodinâmico do equipamento. O modelo de ciclone e suas dimensões foram detalhados, e a simulação utilizou equações de conservação de massa e momento para a fase contínua (água) e um balanço de forças para as partículas dispersas (areia). Os resultados mostraram que a eficiência de remoção de partículas está diretamente ligada à velocidade de injeção do fluido no ciclone. A eficiência aumentou de 95,25% na velocidade de 0,5 m/s para 100% na

velocidade de 1,5 m/s. O aumento da velocidade do fluido potencializa o impacto

das partículas nas paredes do ciclone, facilitando sua separação por diferença de densidade. A conclusão é que o controle da velocidade de injeção do fluido é crucial para o desempenho do equipamento, validando o uso da modelagem CFD como uma ferramenta confiável para analisar e prever o escoamento. O estudo reforça o potencial de hidrociclones como uma alternativa eficaz para pré-filtragem no tratamento de água, contribuindo para o manejo sustentável na agricultura.

Palavras-chave: Hidrociclone, Irrigação, Sustentabilidade, Filtragem de água, CFD (Dinámica dos Fluidos Computacional)

RESÚMEN

El trabajo discute el uso de hidrociclones como prefiltros para el tratamiento de agua en la agricultura, con el objetivo de eliminar partículas sólidas como la arena. La escasez de agua y la necesidad de su reutilización impulsan la investigación de nuevas tecnologías de tratamiento. En la agricultura, la irrigación es responsable de aproximadamente el 68% de la demanda global de agua, y la calidad del agua es un factor crucial, especialmente en sistemas de irrigación localizada que son vulnerables a la obstrucción. La presencia de sólidos en suspensión puede ser causada por procesos erosivos, el azolvamiento de fuentes de agua o altas concentraciones de arena en aguas subterráneas. Para resolver estos problemas, los sistemas de filtración convencionales pueden complementarse con prefiltros como los hidrociclones en situaciones con altas concentraciones de partículas sólidas. Los hidrociclones separan sólidos de líquidos usando fuerzas centrífugas, no tienen partes móviles y tienen un bajo costo operativo, aumentando la vida útil de los sistemas de irrigación. Sin embargo, su uso en la agricultura brasileña todavía es limitado. El estudio utilizó la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para simular el rendimiento de un ciclón en la eliminación de partículas de arena. La metodología implicó simulaciones vía CFD, que permitieron el análisis del comportamiento hidrodinámico del equipo. El modelo de ciclón y sus dimensiones fueron detallados, y la simulación utilizó ecuaciones de conservación de masa y momento para la fase continua (agua) y un balance de fuerzas para las partículas dispersas (arena). Los resultados mostraron que la eficiencia de eliminación de partículas está directamente relacionada con la velocidad de inyección del fluido en el ciclón. La eficiencia aumentó del 95,25% a una velocidad de 0,5 m/s al 100% a una velocidad de 1,5 m/s. El aumento de la velocidad del fluido potencia el impacto de las partículas contra las paredes del ciclón, facilitando su separación por diferencia de densidad. La conclusión es que el control de la velocidad de inyección del fluido es crucial para el rendimiento del equipo, validando el uso del modelado CFD como una herramienta confiable para analizar y predecir el flujo. El estudio refuerza el potencial de los hidrociclones como una alternativa eficaz para la prefiltración en el tratamiento de agua, contribuyendo a la gestión sostenible del agua en la agricultura.

Palabras clave: Hidrociclón, Irrigación, Sostenibilidad, Filtración de agua, CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)

ABSTRACT

The work discusses the use of hydrocyclones as pre-filters for water treatment in agriculture, with the aim of removing solid particles like sand. Water scarcity and the need for its reuse are driving the research into new treatment technologies. In agriculture, irrigation is

responsible for about 68% of global water demand, and water quality is a crucial factor, especially in localized irrigation systems that are vulnerable to obstruction. The presence of suspended solids can be caused by erosive processes, silting of water sources, or high concentrations of sand in groundwater. To solve these problems, conventional filtration systems can be supplemented with pre-filters like hydrocyclones in situations with high concentrations of solid particles. Hydrocyclones separate solids from liquids using centrifugal forces, have no moving parts, and have a low operational cost, increasing the lifespan of irrigation systems. However, their use in Brazilian agriculture is still limited. The study used Computational Fluid Dynamics (CFD) to simulate the performance of a cyclone in removing sand particles. The methodology involved CFD simulations, which allowed for the analysis of the equipment's hydrodynamic behavior. The cyclone model and its dimensions were detailed, and the simulation used mass and momentum conservation equations for the continuous phase (water) and a force balance for the dispersed particles (sand). The results showed that the particle removal efficiency is directly linked to the fluid's injection velocity in the cyclone. The efficiency increased from 95.25% at a velocity of 0.5 m/s to 100% at a velocity of 1.5 m/s. The increase in fluid velocity enhances the impact of particles against the cyclone walls, facilitating their separation by density difference. The conclusion is that controlling the fluid injection velocity is crucial for the equipment's performance, validating the use of CFD modeling as a reliable tool for analyzing and predicting flow. The study reinforces the potential of hydrocyclones as an effective alternative for pre-filtration in water treatment, contributing to sustainable water management in agriculture.

Keywords: Hydrocyclone, Irrigation, Sustainability, Water filtration, CFD (Computational Fluid Dynamics)

INTRODUÇÃO

A crescente escassez de recursos hídricos tem impulsionado pesquisas voltadas para novas tecnologias de tratamento e reaproveitamento da água. No setor agrícola, a irrigação representa uma das atividades que mais consome água, sendo responsável por aproximadamente 68% da demanda mundial (CHRISTOFIDIS, 2002). Entretanto, além da quantidade, a qualidade da água destinada à irrigação tem se tornado um fator limitante para a implantação e eficiência de sistemas irrigados, em especial os de irrigação localizada, cujos emissores apresentam orifícios de pequena dimensão (BERNARDO et al., 2005).

Um dos principais problemas associados ao uso da água para irrigação é a presença de sólidos em suspensão, que podem causar obstrução de tubulações e emissores, além de provocar efeitos abrasivos sobre os componentes do sistema (NAKAYAMA & BUCKS, 1986; SOCCOL, 2003). A degradação de mananciais, intensificada por processos erosivos e assoreamento, também contribui para o aumento da carga de sólidos nas águas superficiais (TUCCI, 2002). Em algumas regiões, mesmo águas subterrâneas captadas por poços apresentam elevadas concentrações de areia em função da subsidência dos solos e do

rompimento de camadas geológicas (THAME, 2000), o que compromete sua utilização direta na irrigação.

Para minimizar tais problemas, sistemas de filtragem são empregados, geralmente compostos por filtros de areia, de tela ou de discos. Contudo, em situações de elevada concentração de partículas sólidas, torna-se necessária a utilização de pré-filtros, como os hidrociclones, que atuam na separação sólido-líquido por meio de forças centrífugas (SOUZA et al., 2000). Esses equipamentos, que não possuem partes móveis e apresentam baixo custo operacional, têm se mostrado eficientes na remoção de partículas de areia e sedimentos mais densos que a água, aumentando a vida útil dos sistemas de irrigação (CABELLO, 1996; CRUZ, 2008).

Embora amplamente empregados na mineração e em setores industriais, os ciclones e hidrociclones ainda são pouco explorados na agricultura irrigada brasileira (CASTILHO & MEDRONHO, 2000; CRUZ, 2008). Nesse contexto, a utilização de ferramentas computacionais, como a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), associada à modelagem matemática, tem possibilitado análises detalhadas do comportamento hidrodinâmico, contribuindo para a otimização do desempenho desses dispositivos (WHITE, 2018; LIU et al., 2023).

Diante desse cenário, este trabalho busca avaliar a aplicação de ciclones como pré-tratamento da água para irrigação, com ênfase na remoção de partículas sólidas de areia. A partir de simulações via CFD, serão analisadas diferentes condições operacionais, com o objetivo de compreender os efeitos da velocidade de injeção sobre a eficiência de separação e fornecer subsídios para o aprimoramento de tecnologias aplicáveis ao manejo sustentável da água na agricultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo realizado por Liu et al. (2023), mostra o tipo de ciclone que é utilizado para realizar a dessalinização de águas contaminadas, na Figura 1.

Figura 1. Modelo geometrico de ciclone utilizado na simulação no CFD
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na figura 2 e representado a malha computacional gerada para a geometria do ciclone com diferentes tipos de refinamentos, para que não houvesse alterações dos resultados.

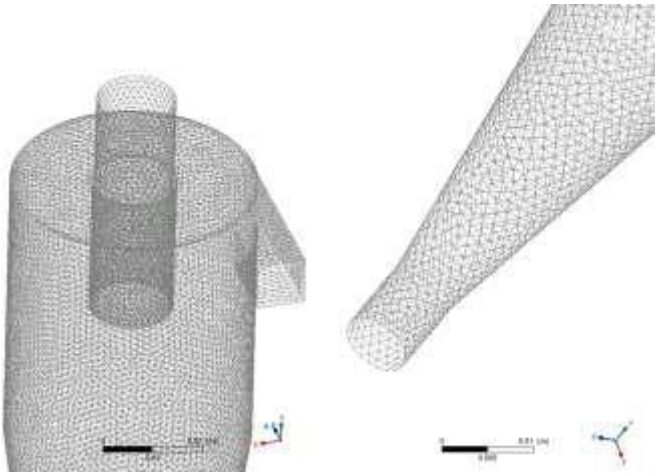


Figura 2. Nivel de detalhamento da malha utilizada na simulação do ciclone via CFD
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Para a fase de dispersão de partículas esféricas de água através de um bico de aspersor foram calculadas usando abordagem Lagrangeana. As devidas trajetórias das partículas foram calculadas e computadas de forma individual, com intervalos determinados durante o cálculo da fase liquida.

As equações (1, 2, 3 e 4) envolve a conservação de massa e de momento linear da fase continua (WHITE, 2018; BATCHELOR; 1967; YAKHOT e ORSZAG, 1986).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m \quad (1)$$

ρ = massa específica (*kg/m³*)
t = tempo (*s*)
$\vec{u}$ = vetor velocidade (*m/s*)
S_m = massa adicionada a fase contínua a partir da fase dispersa que está evaporando (gota de água) (*kg/(m³s)*).

$$\frac{\partial \rho \vec{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \{\mu_{ef} [\nabla \vec{u} + (\vec{u})^T]\} + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

p = pressão estática (*Pa)*

$\rho \vec{g}$ e $\vec{F}$ = forças normais (gravitacionais) e externas (interação com a fase dispersada) (*kg/m³*)
μ_{ef} = viscosidade efetiva (*Pa*s*), descrita por:

$$\mu_{ef} = \mu + \mu_t \quad (3)$$

μ = viscosidade dinâmica (*Pa*s*)
μ_t= viscosidade turbulenta (*Pa*s*), dada por:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

Sabe-se que
k = energia cinética turbulenta (*m²/s²*)
ε = taxa de dissipação (*m²/s³*)
C_μ= uma constante igual 0,09 (admensional).

Os valores de k e ε foram devidamente calculados usando o modelo de turbulência (RNG k-ε), que de acordo com Barbosa (2011) possibilita prever o comportamento turbulento em ciclones e hidrociclones.

Já na previsão da trajetória da partícula e determinada por meio de balanço de forças que atuam sobre as partículas pela abordagem Langrangiana. O atual balanço de forças relaciona a inercia da partícula com as forças que atuam na própria partícula, caracterizado pelas equações (5, 6, 7 e 8), (BIRD, STEWART e LIGTFOOT, 2007; WHITE, 2018; KAYS, 1966):

$$m_p \frac{d\vec{u}_p}{dt} = m_p \frac{\vec{u} - \vec{u}_p}{\tau_r} + m_p \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} \quad (5)$$

Onde

m_p= massa da partícula (*m*)
$\vec{u}$ = velocidade do fluido (*m/s*)
$\vec{u}_p$= velocidade da partícula (*m/s*)
ρ = densidade do fluido (*kg/m³*)
ρ_p = densidade da partícula (*kg/m³*)
O termo $m_p \frac{\vec{u} - \vec{u}_p}{\tau_r}$ representa à força de arraste e τ_r sendo o tempo de relaxação da partícula definido por:

$$\tau_r = \rho_p d_p^2 / 24 \quad (6)$$

$$r \quad \frac{18\mu}{C_d Re_p}$$

Vemos que

Re_p = número de Reynolds de partícula (admensional), dado por:

$$Re_p = \frac{\rho u_R d_p}{\mu} \quad (7)$$

Sabendo que
u_R = velocidade relativa (*m/s*).

C_d = coeficiente de arraste que foi determinado considerando partículas esféricas e lisas (admensional), definido por:

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re_p} + \frac{a_3}{Re_p^2} \quad (8)$$

As constantes a_1,a_2 e a_3 são aplicadas a diferentes faixas de 〖Re〗_p dadas por Morsi e Alexander (1972).

Foram injetadas as partículas de água, com vazão mássica de 1x10-20 Kg/s e diâmetro mínimo e máximo de (0.0005, 0.0002525) m respectivamente foi adotada 4 velocidades de injeção diferentes (0.5, 0.75, 1.0 e 1.5) m/s, utilizando os métodos (Scheme:Simple, Flux Type:Rhie – Chow: distance base, Pressure: PRESTO!).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelos matemáticos foram empregados em simulações computacionais fluidodinâmicas (CFD), realizadas sob condições de pressão atmosférica padrão de 101325 Pa. O fluido utilizado foi água líquida, com densidade de 998,2 kg/m³ e viscosidade dinâmica de 0,001003 kg/(m·s). Para a simulação da remoção de partículas, foi utilizada areia como material particulado, com densidade de 1800 kg/m³, considerando-se que as partículas se encontraram em estado de inércia.

A Tabela 2 apresenta a eficiência de remoção das partículas no processo de tratamento de água por meio de um ciclone, avaliando-se quatro diferentes velocidades de operação.

Tabela 2. Eficiencia da remoção de particulas de areia, variando a velocidade de aplicação de particulas de água no ciclone reproduzidos na simulação via CFD, 2025

Velocidade (m/s)	Eficiência (%)
0,5	95,25
0,75	95,77
1,0	99,25
1,5	100

Fonte: Autor(a) (2025).

As Figuras 3 e 4 apresentam um estudo gráfico das 4 da velocidade das moléculas de água injetadas no ciclone, evidenciando a relação entre essa variável e a eficiência na

remoção de partículas de areia durante o processo de tratamento de água.

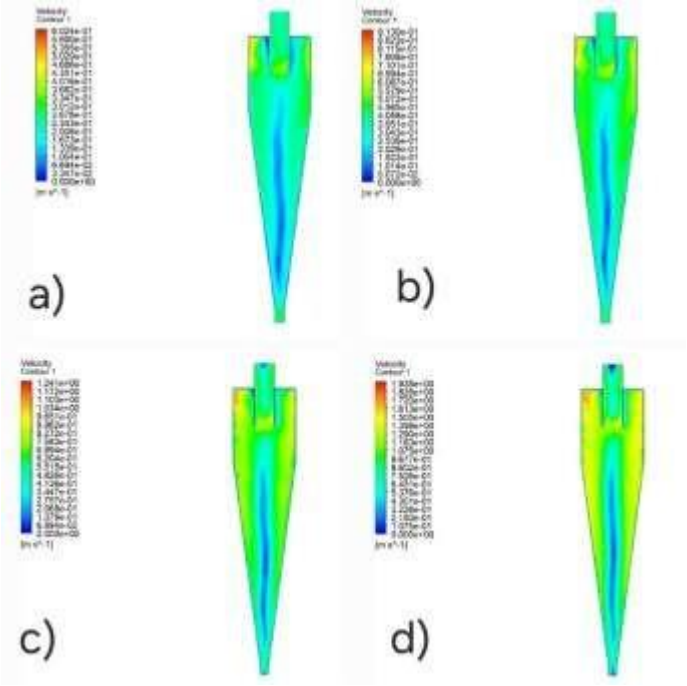


Figura 3. Grafico de Distribuição de velocidades de inserção das moleculas de água, a) 0,5 m/s, b) 0,75 m/s, c)1,0 m/s, d)1,5 m/s.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

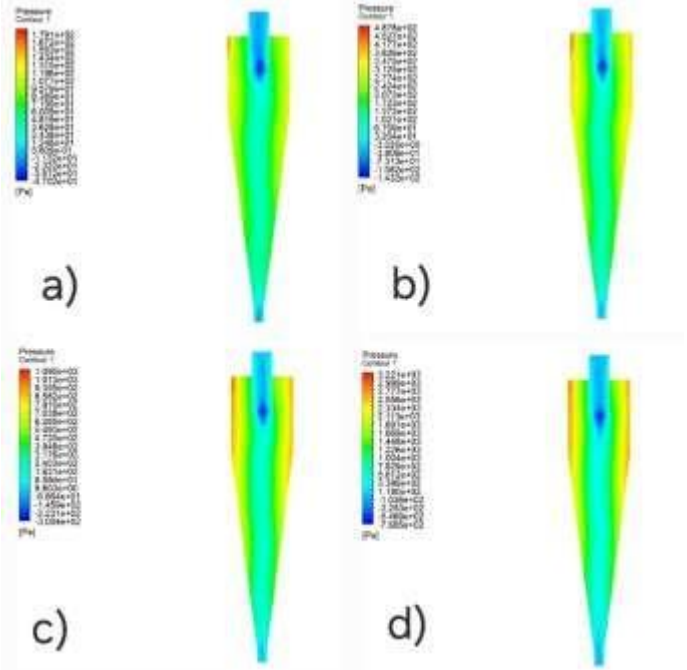


Figura 3. Grafico do campo de pressao da inserção das moleculas de água, a) 0,5 m/s, b) 0,75 m/s, c)1,0 m/s, d)1,5 m/s.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Observa-se que o aumento da velocidade do fluido influencia diretamente o comportamento hidrodinâmico no interior do ciclone, potencializando o impacto das partículas contra as paredes do equipamento e favorecendo sua separação por diferença de

densidade. Essa análise é complementar aos dados apresentados na Tabela 2, que demonstraram a eficiência de remoção de partículas em diferentes velocidades de operação, permitindo uma avaliação mais completa do desempenho do sistema sob distintas condições de escoamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que a eficiência de remoção das partículas está diretamente relacionada à velocidade de injeção do fluido no ciclone. Essa relação confirma a importância do controle operacional no desempenho do equipamento, além de validar a aplicação da modelagem CFD como ferramenta confiável para previsão e análise do escoamento. Dessa forma, este estudo reforça o potencial de utilização de ciclones como alternativa eficiente para processos de tratamento de água, especialmente em processos de pré-filtragem.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Seção opcional onde podem ser citadas agências de fomento e órgãos financiadores, assim como colaboradores ou instituições que contribuíram para a execução do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, R. M. 2011. Estudo da previsão do comportamento turbulento em ciclones e hidrociclones. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

BATCHELOR, G. K. 1967. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge: Cambridge University Press.

BERNARDO, S., A. A. Soares, e E. C. Mantovani. 2005. Manual de Irrigação. 7ª ed. Viçosa: UFV.

BIRD, R. B., W. E. Stewart, e E. N. Lightfoot. 2007. Transport Phenomena. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons.

CABELLO, F. P. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersion, exudacion. 3ª ed. Madri: Mundi-Prensa.

CASTILHO, L. R., e R. A. Medronho. 2000. "A Simple Procedure for Design and Performance Prediction of Bradley and Rietema Hydrocyclones." Minerals Engineering 13 (2): 183–91.

CHRISTOFIDIS, D. 2002. "Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos." Revista Irrigação e Tecnologia Moderna, n. 54: 46–55. Brasília: ABID.

CRUZ, O. C. da, F. G. Oliveira, P. R. N. Resende, e A. C. Barreto. 2007. "Perda de carga em reduções concêntricas para diferentes vazões." In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36., Bonito. Anais... Bonito: SBEA. 1 CD-ROM.

KAYS, W. M. 1966. Convective Heat and Mass Transfer. New York: McGraw-Hill.

NAKAYAMA, F. S., e D. A. Bucks. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production. St. Joseph: ASAE.

LIU, P., Y. Zhang, Z. Wang, et al. 2023a. "Numerical Study on the Wall Wear of Hydrocyclones and Experimental Verification." Advanced Powder Technology 34.

LIU, Y., H. Chen, X. Zhao, et al. 2023. "Application of Cyclone Technology in Desalination of Contaminated Water." Journal of Water Process Engineering 56: 103–119.

SOCCOL, O. J. 2003. Construção e avaliação de hidrociclone para pré-filtragem da água de irrigação. Tese de Doutorado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.

SOUZA, F. J., L. G. M. Vieira, J. J. R. Damasceno, e M. A. S. Barrozo. 2000. "Analysis of the Influence of the Filtering Medium on the Behavior of the Filtering Hydrocyclones." Powder Technology 107 (3): 259–67. Lausanne.

WHITE, F. M. 2018. Fluid Mechanics. 8ª ed. New York: McGraw-Hill.

THAME, A. C. M. 2000. Água: a iminência da escassez. São Paulo: SRHSO/SP.

TUCCI, C. E. M. 2002. "Gerenciamento da drenagem urbana." Revista Brasileira de Recursos Hídricos 7 (1): 5–27. Porto Alegre.

YAKHOT, V., e S. A. Orszag. 1986. "Renormalization Group Analysis of Turbulence." Journal of Scientific Computing 1 (1): 3–51.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037204

EFICIÊNCIA DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E DE POLÍMERO NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM ETA NO DISTRITO DE XUCURU - BELO JARDIM-PE

EFICIENCIA DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y POLÍMERO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA EN PTAR DEL DISTRITO DE XUCURU - BELO JARDIM-PE

EFFICIENCY OF HYDROGEN PEROXIDE AND POLYMER IN WATER TREATMENT IN WTP IN THE DISTRICT OF XUCURU - BELO JARDIM-PE

Camila Daniele Ferreira dos Santos [1], Wedja de Souza Lins[2], Silvanete Severino da Silva[3] e André Queiroz Carvalho de Araújo[4].

[1]Bacharelanda em Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, camila.daniele@ufrpe.br, 0009-0003-3601-2097;
[2]Bacharelanda em Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, wedja.lins@ufrpe.br, 0009-0009-6075-3868;
[3]Doutorado em Engenharia Agrícola , UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811 ;
[4]Licenciatura Plena em História, Técnico Química da COMPESA, Belo Jardim, Brasil, andrequeiroz@compesa.com.br, 0009-0004-5611-1153.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías de Abastecimiento de Agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo del agua para consumo humano.

RESUMO

O acesso à água potável de qualidade representa um desafio significativo em regiões do semiárido brasileiro, onde a escassez hídrica e as limitações das estações de tratamento comprometem a segurança hídrica e a saúde pública. Nesse contexto, torna-se essencial avaliar alternativas que promovam maior eficiência e sustentabilidade nos processos de clarificação da água. O objetivo deste estudo foi comparar a eficiência do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e do polímero catiônico como auxiliares no tratamento de água em uma estação do tipo manta de lodo, localizada no distrito de Xucuru, Belo Jardim – PE. A pesquisa foi conduzida segundo os protocolos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24ª ed., 2023), com monitoramento de parâmetros físico-químicos como pH, turbidez e cor aparente. Ensaios de coagulação/floculação foram realizados em Jar Test, aplicando diferentes dosagens de H_2O_2 e polímero catiônico em combinação com sulfato de alumínio, principal coagulante utilizado pela ETA. Os resultados demonstraram que a aplicação de H_2O_2, em concentrações entre 0,2 e 1,2 mg/L, favoreceu a redução de matéria orgânica e dispensou a necessidade de pré-cloração. A dosagem de 0,6 mg/L destacou-se como a mais eficiente, atingindo valores de turbidez de 0,348 NTU e cor de 7,7 uC. Já o uso do polímero catiônico (5 mg/L), combinado a 80 mg/L de sulfato de alumínio, resultou em turbidez de 0,292 NTU e cor de 6,7 uC. Conclui-

se a viabilidade técnica do emprego dessas substâncias coadjuvantes como alternativa promissora para otimizar o tratamento de água em ETAs de pequeno porte, capazes de tornar o processo mais eficiente, reduzir o uso do sulfato de alumínio, contribuir para a redução dos efeitos ambientais, assegurar a qualidade contínua da água tratada, atender à Portaria GM/MS nº 888/2021, fortalecer a proteção da saúde pública e promover um equilíbrio sustentável entre eficiência operacional e responsabilidade socioambiental no saneamento.

Palavras-chave: Saneamento rural, Tratamento de Água, Manta de Lodo, Semiárido

RESÚMEN

El acceso a agua potable de calidad representa un desafío significativo en las regiones semiáridas de Brasil, donde la escasez de agua y la limitada disponibilidad de plantas de tratamiento comprometen la seguridad hídrica y la salud pública. En este contexto, es fundamental evaluar alternativas que promuevan una mayor eficiencia y sostenibilidad en los procesos de clarificación del agua. El objetivo de este estudio fue comparar la efectividad del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y un polímero catiónico como coadyuvantes en el tratamiento del agua en una planta de tratamiento de lodos de manto de lodos ubicada en el distrito de Xucuru, en Belo Jardim, Pernambuco. La investigación se realizó de acuerdo con los protocolos de los Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales (24.ª ed., 2023), con monitoreo de parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez y color aparente. Se realizaron pruebas de coagulación/floculación mediante una prueba de jarra, aplicando diferentes dosis de H_2O_2 y polímero catiónico en combinación con sulfato de aluminio, el principal coagulante utilizado por la planta de tratamiento de aguas residuales. Los resultados demostraron que la aplicación de H_2O_2, en concentraciones entre 0,2 y 1,2 mg/L, favoreció la reducción de materia orgánica y eliminó la necesidad de precloración. La dosis de 0,6 mg/L resultó ser la más eficiente, logrando valores de turbidez de 0,348 NTU y un color de 7,7 µC. El uso del polímero catiónico (5 mg/L), combinado con 80 mg/L de sulfato de aluminio, resultó en una turbidez de 0,292 NTU y un color de 6,7 µC. Se concluye la viabilidad técnica de utilizar estas sustancias adyuvantes como una alternativa prometedora para optimizar el tratamiento de agua en plantas de tratamiento de agua de pequeña escala, capaz de hacer más eficiente el proceso, reducir el uso de sulfato de aluminio, contribuir a la reducción de los efectos ambientales, garantizar la calidad continua del agua tratada, cumplir con la Ordenanza GM/MS No. 888/2021, fortalecer la protección de la salud pública y promover un equilibrio sostenible entre la eficiencia operativa y la responsabilidad socioambiental en el saneamiento.

Palabras clave: Saneamiento rural, Tratamiento de agua, Manto de lodos, Región semiárida

ABSTRACT

Access to quality drinking water represents a significant challenge in Brazil's semiarid regions, where water scarcity and limited treatment plants compromise water security and public health. In this context, it is essential to evaluate alternatives that promote greater efficiency and sustainability in water clarification processes. The objective of this study was to compare the effectiveness of hydrogen peroxide (H_2O_2) and cationic polymer as water treatment aids in a sludge blanket treatment plant located in the Xucuru district of Belo Jardim, Pernambuco. The research was conducted according to the protocols of the Standard Methods for the

Examination of Water and Wastewater (24th ed., 2023), with monitoring of physicochemical parameters such as pH, turbidity, and apparent color. Coagulation/flocculation tests were performed using a jar test, applying different dosages of H_2O_2 and cationic polymer in combination with aluminum sulfate, the main coagulant used by the WTP. The results demonstrated that the application of H_2O_2, at concentrations between 0.2 and 1.2 mg/L, favored the reduction of organic matter and eliminated the need for pre-chlorination. The dosage of 0.6 mg/L stood out as the most efficient, achieving turbidity values of 0.348 NTU and color of 7.7 uC. The use of the cationic polymer (5 mg/L), combined with 80 mg/L of aluminum sulfate, resulted in a turbidity of 0.292 NTU and color of 6.7 uC. The technical feasibility of using these adjuvant substances as a promising alternative to optimize water treatment in small-scale WTPs is concluded, capable of making the process more efficient, reducing the use of aluminum sulfate, contributing to the reduction of environmental effects, ensuring the continuous quality of treated water, complying with Ordinance GM/MS No. 888/2021, strengthening the protection of public health and promoting a sustainable balance between operational efficiency and socio-environmental responsibility in sanitation.

Keywords: Rural sanitation, Water treatment, Sludge blanket, Semi-arid region

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável de qualidade constitui um dos maiores desafios para regiões inseridas no semiárido brasileiro, onde a escassez hídrica, aliada às limitações estruturais das estações de tratamento, impacta diretamente a segurança hídrica e a saúde pública. Nesse cenário, a adoção de técnicas de tratamento mais eficientes e sustentáveis torna-se essencial para garantir a conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que regulamenta os limites de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água destinada ao consumo humano.

Tradicionalmente, as estações de tratamento de água (ETAs) convencionais utilizam o sulfato de alumínio como coagulante principal no processo de clarificação. Embora amplamente empregado no Brasil, seu uso em dosagens elevadas pode gerar desvantagens, como aumento da produção de lodo, alteração da acidez da água e custos adicionais com correção de pH. Diante disso, pesquisas recentes têm buscado alternativas capazes de reduzir a dependência desse insumo sem comprometer a eficiência do processo. Entre as opções investigadas, destacam-se os coagulantes naturais obtidos de extratos de sementes (como moringa e mostarda), além da quitosana e de outros polímeros orgânicos que podem substituir, parcial ou totalmente, os sais metálicos convencionais.

Segundo Patrick Niquette et al. (2004), além de reduzir a toxicidade, esses insumos apresentam menor produção de lodo e custos mais acessíveis, configurando-se como

alternativas promissoras para o tratamento de água potável. Nesse mesmo sentido, estudos apontam que o uso de coagulantes orgânicos, como a quitosana, requer menores dosagens, gera menos resíduos e preserva a estabilidade do pH, sem comprometer a eficiência da clarificação (Yin 2010). Ensaios realizados por Renault et al. (2009) reforçam esse potencial ao demonstrarem que a quitosana modificada supera o desempenho de polieletrólitos comerciais, necessitando de menores dosagens para atingir a mesma eficiência.

Adicionalmente, Ahmad, Sumathi e Hameed (2006) destacam que, além da eficiência técnica, a quitosana possui baixo impacto ambiental. Por ser biodegradável e não tóxica, contribui para a redução dos riscos associados ao alumínio residual na água tratada e à formação de lodo tóxico, corroborando os benefícios ambientais de sua utilização.

Mais recentemente, Koutzaris et al. (2022) avaliaram a aplicação de agentes oxidantes, como o peróxido de hidrogênio, em sistemas combinados com sais metálicos (reações do tipo Fenton). Os resultados evidenciaram que essa abordagem potencializa a remoção de contaminantes, como o arsênio, além de melhorar a eficiência global da coagulação em comparação ao uso exclusivo de coagulantes inorgânicos. No entanto, ainda são necessários estudos mais detalhados quanto ao uso do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e polímeros catiônicos.

O peróxido de hidrogênio, por sua elevada reatividade, atua de forma eficaz na degradação de matéria orgânica e na melhoria da clarificação, excluindo a necessidade de pré-cloração e, consequentemente, a formação de subprodutos nocivos. Paralelamente, os polímeros catiônicos apresentam propriedades que favorecem a agregação e sedimentação de partículas, aumentando a eficiência do processo de coagulação-floculação e potencializando a remoção de turbidez, cor e sólidos suspensos.

Com base na necessidade de meios alternativos que possam proporcionar melhor qualidade dos padrões de água de abastecimento humano, este projeto foi desenvolvido num período de 9 meses, com o intuito de buscar essas possíveis alternativas, utilizando o uso de peróxido de hidrogênio e polímero catiônico como auxiliares no tratamento da água, visando a melhora dos aspectos da qualidade, caracterizando-os e monitorando a água de consumo humano do distrito de Xucuru, zona rural do município de Belo Jardim, estado de Pernambuco.

Assim, a aplicação de insumos alternativos em estações de pequeno porte, comuns em distritos rurais e no semiárido, configura-se como uma estratégia para otimizar o processo de tratamento e reduzir custos operacionais. Contudo, torna-se imprescindível compreender os

benefícios e limitações de cada insumo em situações reais de operação, a fim de orientar sua adoção por companhias de saneamento e gestores públicos.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo comparar a eficiência do peróxido de hidrogênio e do polímero catiônico no tratamento em uma estação de manta de lodo localizada no distrito de Xucuru, em Belo Jardim–PE, bem como identificar os benefícios e limitações associados ao uso desses produtos no processo de clarificação da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida com base nos protocolos analíticos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24ª edição, 2023), adotando-se uma abordagem quantitativa direcionada à avaliação de parâmetros físico-químicos da água tratada na ETA Xucuru, situada em Belo Jardim – PE. Os parâmetros monitorados incluíram pH, turbidez e cor aparente, determinados por meio de equipamentos específicos e devidamente calibrados, em conformidade com as recomendações normativas vigentes. Os resultados foram expressos em valores numéricos, possibilitando a análise estatística comparativa entre as diferentes condições de tratamento testadas.

A investigação caracteriza-se como de natureza experimental, uma vez que envolveu ensaios práticos para verificação da eficiência dos métodos de tratamento propostos. Complementarmente, foram integrados procedimentos de campo e revisão bibliográfica, conferindo maior robustez e consistência à análise.

As coletas de amostras de água bruta foram realizadas diretamente na Estação de Tratamento de Água (ETA) Xucuru. Os ensaios de coagulação/floculação foram conduzidos em equipamento de *JarTest*, seguindo protocolos padronizados para a determinação da dosagem ótima de coagulantes e auxiliares de coagulação. Após o tratamento, as amostras foram submetidas a análises físico-químicas, contemplando os parâmetros de interesse (pH, turbidez e cor aparente), de modo a avaliar comparativamente a eficiência dos diferentes insumos empregados.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa classifica-se como exploratória, uma vez que busca aprofundar o conhecimento sobre a aplicação de agentes auxiliares de tratamento, identificando características, padrões e relações que possam subsidiar estudos futuros.

Durante a fase de coleta de dados, observou-se que a ETA Xucuru, uma estação compacta de tratamento, utiliza predominantemente o sulfato de alumínio granulado como

coagulante. O processo segue as seguintes etapas operacionais: inicialmente, sacos de 25 kg de sulfato de alumínio são fracionados, sendo adicionados 12,5 kg por dia em uma caixa elevada com capacidade de 500 litros, onde ocorre a dissolução do coagulante por aproximadamente uma hora, até completa homogeneização. Em seguida, a solução é transferida para uma segunda caixa de 500 litros, posicionada abaixo da primeira, a fim de facilitar o processo de dosagem. A bomba dosadora, previamente calibrada, é então acionada para captar a solução da caixa inferior e realizar a aplicação precisa, conforme a vazão ajustada para o tratamento.

Além do processo de coagulação, a unidade também realiza a etapa de desinfecção por meio da preparação de solução de dicloroisocianurato de sódio, acondicionada em reservatório independente e dosada conforme a demanda operacional. Dessa forma, a associação entre os processos de coagulação e desinfecção assegura a qualidade final da água tratada e sua conformidade com os padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Área de estudo

A ETA Xucuru é uma unidade de tratamento de água pertencente à COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e teve sua inauguração em setembro de 1980, localizada no distrito de Xucuru, cidade de Belo Jardim – PE, a cerca de 183 km da capital Recife. A ETA, distinta por sua localização rural, posiciona-se geograficamente nas coordenadas 8°12’38.38’’S e 36°27’47.08’’O.

Esta unidade de tratamento é composta por um clarificador tipo manta de lodo e dois filtros rápidos de polimento, sendo o manancial tratado na ETA de nome Taioba. Esse manancial represado tem um volume de aproximadamente 298.000 m³, sendo a vazão aduzida da unidade atualmente de 2,5 L/s. A unidade abastece um total de 1.045 ligações de água ativas, garantindo o fornecimento à população atendida.

Análises físico-químicas da água bruta

Inicialmente foi coletado dados operacionais da água bruta da ETA, os quais foram observados:

- **Vazão da água bruta:** Registros diários para avaliar a variabilidade ao longo do tempo.
- **Parâmetros de qualidade da água:** Incluindo turbidez, cor e pH.

- **Composição físico-química:** Determinação dos principais compostos presentes na água bruta e tratada.
- **Eficiência atual do sistema:** Avaliação da redução de contaminantes e comparação com padrões de potabilidade estabelecidos.

Experimentos em Laboratório

Os experimentos laboratoriais foram realizados por meio de testes controlados utilizando um Jar test, permitindo a simulação dos processos de coagulação e floculação em escala reduzida.

Avaliação de Métodos Alternativos

Foram testados dois métodos alternativos para melhorar a eficiência do tratamento: peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e polímero catiônico, os quais serão descritos abaixo:

a) **Aplicação do Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2)**

A definição das concentrações de H_2O_2 testadas foi baseada nas condições da água bruta da ETA, com o objetivo de otimizar a remoção de impurezas para abastecimento. As concentrações foram estabelecidas conforme faixas comuns de testes laboratoriais, respeitando os limites das normas técnicas para tratamento de água. Com foco na redução do uso de sulfato de alumínio, as concentrações de H_2O_2 foram determinadas com base em diretrizes regulatórias, assegurando o cumprimento dos parâmetros de segurança e qualidade da água tratada.

As concentrações de peróxido de hidrogênio testadas foram 0,2 mg/L, 0,4 mg/L, 0,6 mg/L, 0,8 mg/L, 1,0 mg/L e 1,2 mg/L, aplicadas em conjunto com 80 mg/L de sulfato de alumínio. Esses valores foram definidos para garantir a segurança e a eficácia do tratamento.

b) **Uso de Polímero Catiônico**

A escolha das concentrações do polímero catiônico para os testes levou em consideração não apenas as características da água bruta da ETA, mas também a possibilidade de reduzir a dependência do sulfato de alumínio no processo de coagulação e floculação. O objetivo foi avaliar a eficiência do polímero, permitindo

uma potencial redução na dosagem do coagulante tradicional sem comprometer a remoção de impurezas.

A dosagem escolhida para o polímero catiônico foi 5 mg/L, aplicada em conjunto com concentrações variáveis de sulfato de alumínio: 60 mg/L, 70 mg/L, 80 mg/L, 90 mg/L, 100 mg/L e 110 mg/L.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios conduzidos com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e polímero catiônico demonstraram elevada eficiência na otimização do processo de tratamento de água, possibilitando a redução significativa do consumo de sulfato de alumínio sem prejuízo aos padrões de potabilidade e à qualidade final do efluente tratado.

A utilização de H_2O_2 dispensa a necessidade do uso do cloro na pré-cloração. Nas concentrações de 0,2 a 1,2 mg/L se mostrou eficiente para melhorar a etapa de coagulação, neutralizando a carga elétrica de partículas em suspensão na água, permitindo que elas se aglutinem e sedimentem, favorecendo a decomposição de matéria orgânica e outros contaminantes. A dosagem de sulfato de alumínio de 80 mg/L em cada um dos jarros, permitiu avaliar de forma mais precisa o impacto isolado do peróxido de hidrogénio. De forma geral, observou-se que concentrações intermediárias de H_2O_2 proporcionaram um bom resultado, atendendo aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde na Portaria GM/MS n° 888/2021.

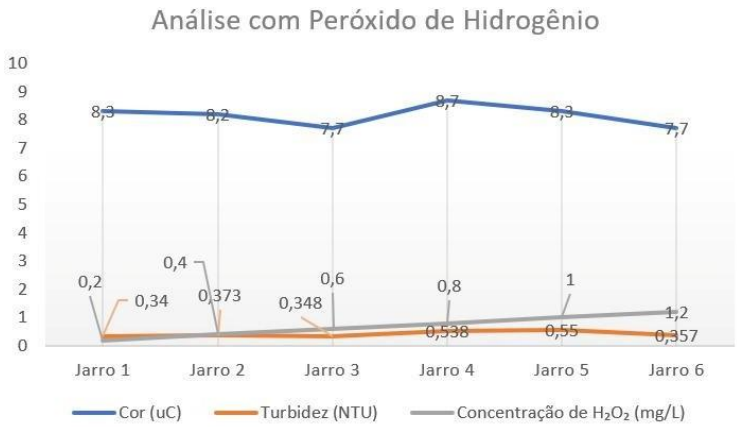


Figura 1. Imagem apresentando gráfico contendo os dados da análise utilizando peróxido de hidrogênio.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os dados apresentados no gráfico (figura 1) referem-se aos ensaios realizados com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), mantendo constante a dosagem de sulfato de alumínio (80 mg/L).

Na análise inicial realizada, os valores encontrados na água bruta (antes do jartest) foram de 167 uC de cor e 12,3 NTU de turbidez. Como pode-se observar, a concentração de 0,6 mg/L (Jarro 3) apresentou os melhores resultados, com os valores mais baixos de cor 7,7 uC e de turbidez 0,348 NTU, indicadores diretos da eficiência na remoção de impurezas.

Já a aplicação do polímero catiônico, mantendo uma dosagem de 5 mg/L em cada jarro, foi avaliada em conjunto com diferentes concentrações de sulfato de alumínio, testadas

individualmente, de forma a analisar o efeito combinado na eficácia do tratamento da água. Assim como nas análises de H_2O_2, os resultados com o uso do polímero catiônico exibiram um bom resultado, atendendo também aos padrões estabelecidos.

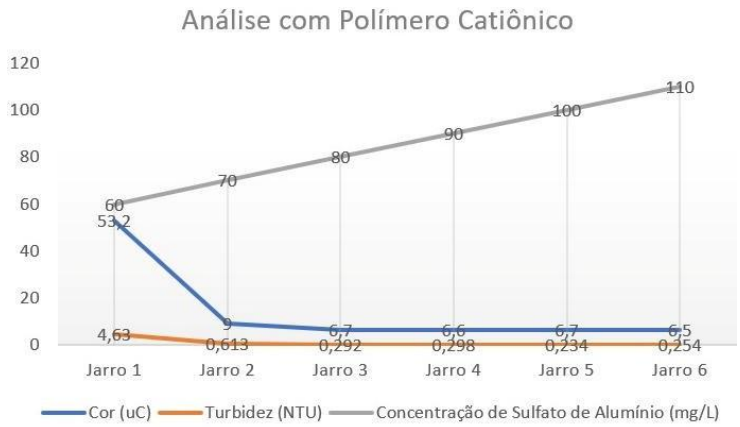


Figura 2. Imagem apresentando gráfico contendo os dados da análise utilizando polímero catiônico.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os dados apresentados no gráfico (figura 2) referem-se aos ensaios realizados com diferentes concentrações de $Al_2(SO_4)_3$, mantendo a dosagem de polímero catiônico em 5 mg/L.

Com base nos dados da figura 2, o Jarro 3, com 80 mg/L de sulfato de alumínio, apresentou um excelente desempenho, com cor de 6,7 uC e turbidez de 0,292 NTU. Embora o Jarro 5 (100 mg/L) tenha atingido o valor de turbidez ligeiramente inferior (0,234 NTU), o desempenho do Jarro 3 foi praticamente equivalente e com uma redução significativa de 20% na dosagem de coagulante, o que gera economia.

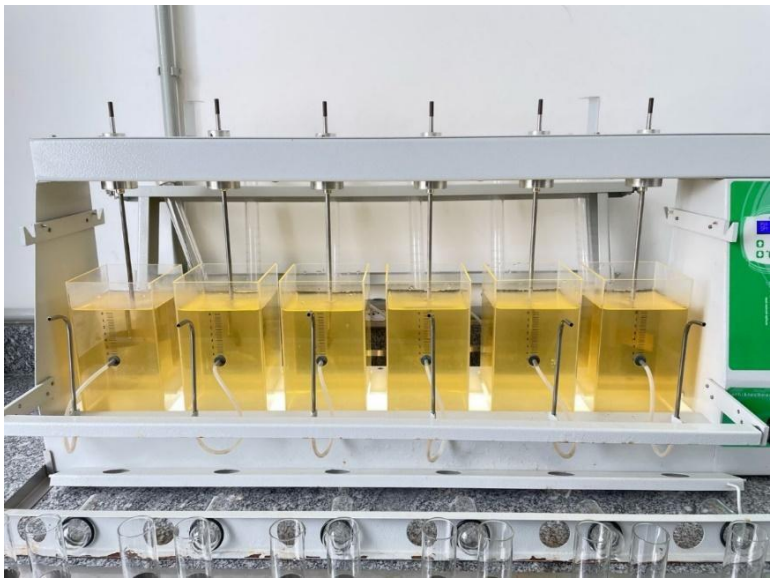


Figura 3. Foto do ensaio realizado com o aparelho de jartest em 02/04/2025 na análise utilizando peróxido de hidrogênio.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidenciou que o peróxido de hidrogênio e o polímero catiônico são alternativas viáveis como auxiliares no tratamento de água da ETA Xucuru, em Belo Jardim–PE. Ambos permitiram a redução do consumo de sulfato de alumínio, com desempenho satisfatório na melhoria da cor e da turbidez, em conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021. O peróxido de hidrogênio destacou-se na clarificação da água e na dispensa da pré-cloração, enquanto o polímero catiônico apresentou eficiência na remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. Assim, a pesquisa reforça o potencial de soluções mais eficientes e sustentáveis para o tratamento de água em regiões do semiárido pernambucano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, Abdul Latif, Sumathi Sethupathi, and Bassim H. Hameed. 2006. "Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC." Chemical Engineering Journal 118, no. 1–2 (Maio): 99-105. https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.02.001

Brasil. Ministério da Saúde. 2021. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília: Diário Oficial da União. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562.

Koutzaris, S., M. Xanthopoulou, A. Laskaridis, et al. 2022. "H_2O_2-Enhanced As(III) Removal from Natural Waters by Fe(III) Coagulation at Neutral pH Values and Comparison with the Conventional Fe(II)-H_2O_2 Fenton Process." Sustainability 14, no. 23 (dezembro): 1-17. https://doi.org/10.3390/su142316306

Lipps, W. C.; Braun-Howland, E. B.; Baxter, T. E. 2023. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24. Ed. Washington DC: APHA Press

Niquette, Patrick, Frédéric Monette, Abdelkrim Azzouz, et al. 2004. "Impacts of Substituting Aluminum-Based Coagulants in Drinking Water Treatment." Water Quality Research Journal of Canada 39, no. 3 (Julho): 303-310. https://www.academia.edu/21837195/Impacts_of_Substituting_Aluminum_Based_Coagulants_in_Drinking_Water_Treatment

Renault, F., B. Sancey, P.-M. Badot, et al. 2009. "Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach." European Polymer Journal 45, no. 5 (Maio): 1337-1348. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027

Yin, Chun-Yang. 2010. "Emerging Usage of Plant-Based Coagulants for Water and Wastewater Treatment." Process Biochemistry 45, no. 9 (Setembro): 1437-1444. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037216

ELETROCOAGULAÇÃO COM ENERGIA FOTOVOLTAICA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS TURVAS EM PEQUENAS COMUNIDADES

ELECTROCOAGULACIÓN CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA EL TRATAMIENTO DE ÁGUAS TURBIAS EN PEQUEÑAS COMUNIDADES

ELECTROCOAGULATION WITH PHOTOVOLTAIC ENERGY: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR THE TREATMENT OF TURBID WATER IN SMALL COMMUNITIES

Sarah Marcela Ribeiro Bezerra[1], Lucas Gomes Soares[2], Sávio Veríssimo dos Santos[3] e Carmem Lúcia Moreira Gadelha[4].

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, sarahmarcelaufpb@gmail.com;
[2]Engenheiro Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, lucas.gomes@academico.ufpb.br;
[3]Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, savioverissimo38@gmail.com;
[4]Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, carmem.gadelha@academico.ufpb.br

Eixo Temático 03 – Tecnologia para abastecimento de água
Modelos de tratamento e filtração simplificados para pequenas comunidades.

Eje Temático 03 – Tecnología de suministro de agua
Modelos simplificados de tratamiento y filtración para pequeñas comunidades.

Thematic Axis 03 – Water supply technology
Simplified treatment and filtration models for small communities

RESUMO

A escassez de água potável em comunidades isoladas exige soluções de tratamento descentralizadas e sustentáveis. Este estudo avaliou a eficiência do processo de eletrocoagulação (EC), alimentado por energia fotovoltaica, no tratamento de águas com elevada turbidez. Foram investigados os efeitos das variáveis operacionais: tempo de processo, condutividade, pH e espaçamento entre eletrodos de alumínio, na remoção de turbidez. Amostras de água sintética, simulando condições de rios turvos, foram tratadas em um reator de bancada. Os resultados indicaram que o tempo de eletrólise e o espaçamento entre os eletrodos foram os fatores mais influentes, alcançando-se uma eficiência de remoção de até 98,8% em condições otimizadas (espaçamento de 0,5 cm, tempo de 20 minutos e condutividade de 1000 µS/cm). O estudo demonstrou o potencial da eletrocoagulação como uma tecnologia robusta e de baixo custo, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 7 e 12, promovendo segurança hídrica e soluções de saneamento para áreas remotas.

Palavras-chave: Tratamento de Água, Eletrocoagulação, Energia Fotovoltaica, Turbidez.

RESÚMEN

La escasez de agua potable en comunidades aisladas exige soluciones de tratamiento descentralizadas y sostenibles. Este estudio evaluó la eficiencia del proceso de electrocoagulación (EC), alimentado por energía fotovoltaica, para el tratamiento de aguas con alta turbidez. Se investigaron los efectos de las variables operativas: tiempo de proceso, conductividad, pH y separación entre electrodos de aluminio, en la remoción de turbidez. Se trataron muestras de agua sintética que simulaban condiciones de ríos turbios en un reactor a escala de laboratorio. Los resultados indicaron que el tiempo de electrólisis y la separación entre electrodos fueron los factores más influyentes, alcanzando una eficiencia de remoción de hasta el 98,8% en condiciones óptimas (separación de 0,5 cm, 20 minutos de tratamiento y conductividad de 1000 µS/cm). El estudio demostró el potencial de la electrocoagulación como una tecnología robusta y de bajo costo, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, 7 y 12, promoviendo la seguridad hídrica y soluciones de saneamiento para zonas remotas.

Palabras clave: Tratamiento de Agua, Electrocoagulación, Energía Fotovoltaica, Turbidez.

ABSTRACT

The scarcity of drinking water in isolated communities demands decentralized and sustainable treatment solutions. This study evaluated the efficiency of the electrocoagulation (EC) process, powered by photovoltaic energy, for the treatment of highly turbid water. The effects of operational variables—process time, conductivity, pH, and spacing between aluminum electrodes—on turbidity removal were investigated. Synthetic water samples simulating turbid river conditions were treated in a bench-scale reactor. The results indicated that electrolysis time and electrode spacing were the most influential factors, achieving a turbidity removal efficiency of up to 98.8% under optimized conditions (0.5 cm spacing, 20 minutes of treatment, and conductivity of 1000 µS/cm). The study demonstrated the potential of electrocoagulation as a robust and low-cost technology aligned with Sustainable Development Goals (SDGs) 6, 7, and 12, promoting water security and sanitation solutions for remote areas.

Keywords: Water Treatment, Electrocoagulation, Photovoltaic Energy, Turbidity.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável é um direito humano fundamental, reconhecido pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2010 como indispensável à dignidade e ao bem-estar coletivo (Amaral, 2024). Sendo um recurso inerente à manutenção da vida, a água de qualidade adequada é crucial para a saúde pública, a segurança alimentar e o equilíbrio dos ecossistemas (López, 2015). Apesar de sua importância, a realidade global é alarmante: mais de 2 bilhões de pessoas residem em localidades com disponibilidade hídrica insuficiente (UNESCO, 2021).

Este desafio é particularmente acentuado em comunidades remotas e em países em

desenvolvimento, onde a infraestrutura de saneamento convencional se torna logisticamente complexa e economicamente inviável. A crescente pressão sobre os recursos hídricos, intensificada pela urbanização acelerada, pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental, torna imperativa a busca por tecnologias de tratamento mais eficientes, sustentáveis e adaptáveis a diferentes contextos.

No Brasil, a crise humanitária vivenciada pelas comunidades indígenas Yanomami ilustra de forma contundente a gravidade dessa problemática. Historicamente impactadas pelo garimpo ilegal e isoladas geograficamente, essas populações enfrentam severa escassez de água potável, resultando em altas taxas de desnutrição e doenças de veiculação hídrica (Alves, 2025). Este cenário evidencia a necessidade crítica de soluções tecnológicas descentralizadas e autônomas, capazes de operar em regiões sem acesso a serviços básicos. A implementação de sistemas fotovoltaicos para alimentar unidades de saúde nessas áreas demonstrou ser uma estratégia eficaz, sublinhando o potencial de energias renováveis para mitigar vulnerabilidades socioambientais.

Nesse contexto, a eletrocoagulação (EC) emerge como uma alternativa tecnológica promissora e sustentável para o tratamento de água. Trata-se de um processo eletroquímico que utiliza ânodos de sacrifício, geralmente de alumínio ou ferro, para gerar coagulantes *in situ* a partir da passagem de uma corrente contínua. Esses íons metálicos, em conjunto com as microbolhas de gás geradas pelo eletrólise, promovem a desestabilização de partículas e a remoção de contaminantes por meio de mecanismos simultâneos de coagulação, floculação e flotação (Pires Neto et al., 2022). A EC se destaca dos métodos convencionais por sua simplicidade operacional, menor consumo energético e pela redução expressiva na produção de lodo residual, consolidando-se como uma alternativa robusta e ambientalmente amigável.

A integração da eletrocoagulação com sistemas fotovoltaicos potencializa ainda mais sua aplicabilidade, criando uma solução completamente autônoma e ideal para localidades sem acesso à rede elétrica convencional (Castillo, 2025). Contudo, a eficiência do processo é altamente dependente do controle de variáveis operacionais. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo principal avaliar experimentalmente a eficiência da eletrocoagulação, com alimentação fotovoltaica, no tratamento de águas turvas. A pesquisa buscou, especificamente, compreender a influência e a interação de variáveis operacionais chave pH, condutividade, espaçamento entre os elétrodos e tempo de eletrólise sobre o desempenho do tratamento e a

remoção de turbidez.

MATERIAIS E MÉTODOS

O A pesquisa foi conduzida em três etapas: pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento, conforme o fluxograma da Figura 1.

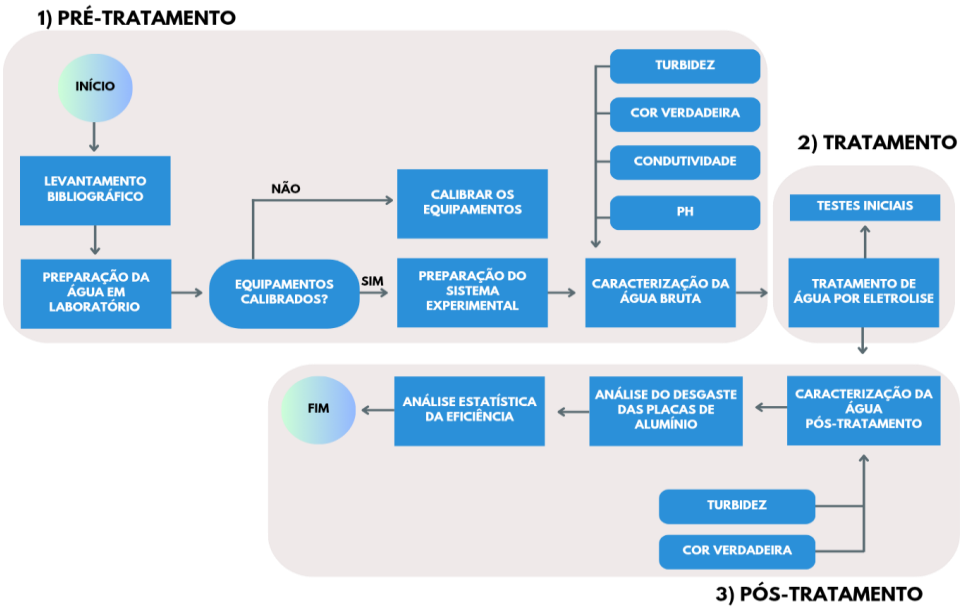


Figura 1. Fluxograma dos procedimentos metodológicos
Fonte: Elaboração própia, 2025.

Sistema Experimental

Utilizou-se um reator de vidro com volume útil de 1,5 litro, equipado com três placas de alumínio (12,09 cm x 6,5 cm) como elétrodos, posicionadas em um suporte que permitia ajustar o espaçamento. A alimentação do sistema foi fornecida por uma bateria de 12V, recarregada por um painel fotovoltaico. A tensão e a corrente foram monitoradas com multímetros digitais.

Figura 2. Reator experimental em funcionamento
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Preparação da Água e Procedimento Experimental

A água utilizada nos ensaios foi preparada em laboratório para simular um corpo hídrico com alta turbidez, garantindo a reprodutibilidade dos testes.

O delineamento experimental seguiu um planejamento fatorial completo 2^3, investigando três fatores em três níveis (inferior, central e superior):

Figura 3. Transferência da amostra a ser analisada para becker
Fonte: Elaboração própia, 2025.

- **Primeiro Planejamento:** Espaçamento (0,5; 1,0; 1,5 cm), Tempo (10, 15, 20 min) e pH (6,0; 7,5; 9,0).
- **Segundo Planejamento:** Espaçamento (0,5; 1,0; 1,5 cm), Tempo (10, 15, 20 min) e Condutividade (500, 750, 1000 µS/cm).

Foram realizados 11 ensaios para cada planejamento, com triplicata no ponto central. Após cada ensaio, uma alíquota de 100 mL da água tratada foi coletada para análise após 10 minutos de sedimentação.

Análises Físico-Químicas

Foram analisados os seguintes parâmetros antes e após o tratamento, utilizando equipamentos calibrados do Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAM/UFPB):

- **Turbidez:** Medida em turbidímetro (NTU).
- **Cor Verdadeira:** Determinada por espectrofotometria (mg Pt-Co/L).
- **pH:** Medido com pHmetro digital.
- **Condutividade Elétrica:** Aferida com condutivímetro (µS/cm).
- **Desgaste dos Elétrodos:** Calculado pela diferença de massa das placas de alumínio antes e depois dos ensaios, após secagem em estufa

A eficiência de remoção foi calculada pela Equação 1:

$$Ef.global = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{(C_{inicial})} * 100 \quad (1)$$

onde
Ef. global: Eficiência global do parâmetro desejado
$C_{inicial}$= é a concentração inicial do parâmetro antes do tratamento
C_{final}= é a concentração final do parâmetro após o tratamento

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram a forte influência das variáveis operacionais na eficiência da eletrocoagulação.

Influência do pH

No primeiro planejamento, partindo de uma turbidez inicial de 80 NTU, a eficiência de remoção variou significativamente. O ensaio 6 (espaçamento de 0,5 cm, tempo de 20 min e pH 6,0) apresentou a maior eficiência, com 90,8% de remoção, reduzindo a turbidez para 7,3 NTU. Em contrapartida, o ensaio 4 (espaçamento de 1,5 cm, tempo de 10 min e pH 9,0) resultou em um aumento da turbidez para 98 NTU, indicando que condições inadequadas podem desestabilizar os flocos formados. A Tabela 1 resume os resultados.

Tabela 1: Eficiência de remoção de turbidez (variando Espaçamento, Tempo e pH).

Ensaio	Espaçamento (cm)	Tempo (min)	pH	Turbidez Final (NTU)	Eficiência (%)
1	1,5	20	9,0	51	36,25
2	1,5	20	6,0	41	48,75
3	1,5	10	6,0	51	36,25
4	1,5	10	9,0	98	-22,5
5	0,5	20	9,0	17	78,75
6	0,5	20	6,0	7,3	90,87
7	0,5	10	6,0	13,5	83,12
8	0,5	10	9,0	15,8	80,25

Fonte: Autores (2025)

Apesar da alta remoção, nenhum ensaio deste planejamento atingiu o padrão de potabilidade para turbidez (≤ 5 NTU), conforme a Portaria GM/MS nº 888/2021.

Influência da Condutividade

No segundo planejamento, com turbidez inicial de 60 NTU, a influência da

condutividade foi mais pronunciada. O ensaio 5 (espaçamento de 0,5 cm, tempo de 20 min e condutividade de 1000 µS/cm) alcançou uma eficiência de 98,8%, reduzindo a turbidez para 0,72 NTU, valor que atende ao padrão de potabilidade. O ensaio 3, com menor tempo e maior espaçamento, teve a menor eficiência (3,33%). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Eficiência de remoção de turbidez (variando Espaçamento, Tempo e Condutividade).

Ensaio	Espaçamento (cm)	Tempo (min)	Condutividade (µS/cm)	Turbidez Final (NTU)	Eficiência (%)
1	1,5	20	1000	16,35	72,75
2	1,5	20	500	23	61,67
3	1,5	10	500	58	3,33
4	1,5	10	1000	18,2	69,67
5	0,5	20	1000	0,72	98,80
6	0,5	20	500	15,4	74,33
7	0,5	10	500	13,3	77,83
8	0,5	10	1000	12,8	78,67

Fonte: Autores (2025)

Os dados sugerem que menor espaçamento entre os elétrodos, maior tempo de eletrólise e maior condutividade favorecem a eficiência do tratamento. A condutividade, em particular, mostrou-se mais relevante que o pH para otimizar a remoção de turbidez, pois uma maior concentração de íon facilita a passagem de corrente elétrica, intensificando a geração de coagulantes.

Resultados semelhantes foram observados por Vilaça (2021) ao aplicar a eletrocoagulação em efluentes industriais de bebidas, obtendo eficiências de remoção superiores a 98% para cor verdadeira e turbidez, embora a remoção de demanda química de oxigênio (DQO) tenha alcançado valores mais modestos, próximos de 57%. Essa diferença reforça que, em matrizes com maior carga orgânica e complexidade composicional, a eletrocoagulação apresenta excelente desempenho na clarificação, mas pode exigir tratamentos complementares, como processos oxidativos ou biológicos, para redução efetiva da carga orgânica residual.

O estudo de Silva *et al.* (2023), que avaliou a eletrocoagulação associada a sistemas fotovoltaicos no tratamento de efluentes têxteis, corrobora a viabilidade da utilização de energia solar como fonte de alimentação, destacando a autonomia energética e o baixo custo

operacional do sistema. Os autores observaram remoções significativas de cor em aproximadamente 15 minutos de tratamento sob 12 V, demonstrando que a integração entre energia solar e eletrocoagulação é tecnicamente possível e ambientalmente vantajosa, especialmente em regiões com limitada infraestrutura elétrica.

Os três estudos apresentam tendências convergentes quanto às condições operacionais ideais: menores espaçamentos entre eletrodos, maiores tempos de eletrólise e maior condutividade favorecem a geração de espécies coagulantes e a formação de microbolhas, intensificando a desestabilização e flotação das partículas. No presente trabalho, tais condições resultaram nas maiores eficiências de remoção, confirmando o comportamento já descrito na literatura (Vilaça, 2021; Silva *et al.,* 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo confirmou a alta eficácia da eletrocoagulação alimentada por energia fotovoltaica para o tratamento de águas turvas, posicionando-a como uma solução viável e sustentável para o abastecimento em pequenas comunidades. As conclusões principais são: A eficiência do processo é altamente dependente das condições operacionais, sendo o espaçamento entre elétrodos e o tempo de eletrólise os fatores mais críticos. A condutividade da água teve um impacto mais significativo na remoção de turbidez do que o pH, com a maior eficiência (98,8%) sendo alcançada em 1000 µS/cm. A configuração ótima (ensaio 5 do segundo planejamento) foi capaz de reduzir a turbidez a níveis que atendem aos padrões de potabilidade, demonstrando a viabilidade técnica da aplicação.

Recomenda-se a realização de estudos futuros para avaliar outros parâmetros, como a otimização do tempo de sedimentação pós-tratamento e a análise de custos operacionais, visando a implementação prática desta tecnologia em campo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça, sabedoria e força para superar os desafios encontrados ao longo do desenvolvimento deste projeto.

À professora Carmem Lúcia Moreira Gadelha, pela orientação contínua, dedicação e inspiração. Sua orientação foi essencial para o avanço deste trabalho, sempre promovendo a reflexão crítica e a busca por soluções inovadoras.

Aos técnicos do laboratório (LABSAM), pelo apoio técnico valioso e pela

disponibilidade em compartilhar conhecimento, sem o qual a execução deste projeto não teria sido possível.

Aos colaboradores Lucas, Samara, Sávio, Wesley e Julliany, pela parceria e empenho em todas as etapas, garantindo o sucesso deste trabalho com seu trabalho árduo e dedicação. Cada contribuição foi fundamental para a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, B. D. 2025. A dinâmica predatória do capital no meio ambiente: o avanço do garimpo ilegal no Território Indígena Yanomami no Governo Bolsonaro. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Maranhão. Repositorio UFMA: http://hdl.handle.net/123456789/9613

Amaral, D. S., e H. L. P. Ferreira. 2024. "Efetividade da fruição empírica do direito à água em contextos urbanos: análise de disparidades entre as unidades federativas brasileiras, de 2013 a 2020." Em Objetivos do Desenvolvimento Sustentável nas políticas e práticas socioambientais, editado por H. S. Ferreira et al., 89–112. Curitiba: CEPEDIS.https://www.epublicacoes.uerj.br/rdc/article/download/75172/53709/339402

Castillo, J., Y. Moreira, e C. Banchón. 2025. "Electrocoagulation of domestic wastewater: Systematic review of operational effects." Research, Society and Development 14 (5): e2814548700.

López, A. M. 2015. La importancia del agua en nuestro planeta. Dissertação de Mestrado, Universidade de Jaén. http://hdl.handle.net/10953.1/2374

Pires Neto, E. L., et al. 2022. "Treatment of synthetic textile effluent by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes." Research, Society and Development 11 (16): e05111638384.

Bezerra, Cícero W. B., e Francisco Fernandes S. Cruz. 2024. "Aplicação da Eletrocoagulação Fotovoltaica para o Tratamento de Efluentes Têxteis." Trabalho apresentado no *4º Encontro Nacional de Química e Sustentabilidade (ENQUS)*, Teresina - PI, 5 a 7 de junho de 2024. Universidade Federal do Maranhão. https://www.abq.org.br/enquis/trabalhos/133/A133T25383-1715458943.pdf

UNESCO. 2021. Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por

Vilaça, M. C. R. 2021. Avaliação da eficiência do tratamento de efluente industrial de bebidas por eletrocoagulação alimentada por energia solar. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de da Paraíba. Repositório Institucional da UFPB. https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/34558

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037230

ESTUDO DO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA COM FOCO NO ATENDIMENTO DE PEQUENAS COMUNIDADES.

ESTUDIO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUA CON ENFOQUE EN LA ATENCIÓN DE PEQUEÑAS COMUNIDADES.

STUDY OF THE ELECTROCOAGULATION PROCESS FOR WATER TREATMENT WITH A FOCUS ON SERVING SMALL COMMUNITIES.

Wesley Devison Melo Xavier[1], Sávio Veríssimo dos Santos[2], Luiz Eduardo do Nascimento Chaves da Silva[3] e Carmem Lúcia Moreira Gadelha[4].

[1]Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, wesley.devison@academico.ufpb.br;
[2] Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, savioverissimo38@gmail.com;
[3]Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil, duduchaves417@gmail.com;
[4]Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Brasil, carmem.gadelha@academico.ufpb.br.

Eixo Temático 03 – Tecnologia para abastecimento de água
Modelos de tratamento e filtração simplificados para pequenas comunidades.

Eje Temático 03 – Tecnología de suministro de agua
Modelos simplificados de tratamiento y filtración para pequeñas comunidades.

Thematic Axis 03 – Water supply technology
Simplified treatment and filtration models for small communities

RESUMO

Este estudo teve como objetivo otimizar o processo de eletrocoagulação (EC) para o tratamento de águas com elevada turbidez, utilizando um sistema fotovoltaico autônomo como fonte de energia. A pesquisa foi realizada em um sistema eletrolítico de bancada (com fonte de alimentação fotovoltaica) em funcionamento no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal da Paraíba – LABSAM/UFPB. Foi conduzida em duas etapas sequenciais de planejamento fatorial (2^3), visando identificar as variáveis mais influentes no processo e determinar as condições operacionais ótimas. Na primeira etapa, investigou-se o impacto do espaçamento entre elétrodos, tempo de eletrólise e pH do meio, concluindo-se que o pH, na faixa de 6 a 9, não apresentou efeito principal estatisticamente significativo. Na segunda etapa, o pH foi substituído pela condutividade elétrica. Os resultados demonstraram que o tempo de eletrólise, a condutividade e o espaçamento entre elétrodos são os fatores-chave para a maximização da remoção de turbidez. A análise estatística, por meio do Gráfico de Pareto, confirmou a significância desses fatores e indicou a ausência de interações complexas, simplificando a otimização. O estudo validou a viabilidade do uso de energia solar para alimentar o sistema, reforçando seu potencial para aplicações descentralizadas e sustentáveis em pequenas comunidades.

Palavras-chave: Eletrocoagulação, Tratamento de Água, Energia Fotovoltaica.

RESÚMEN

Este estudio tuvo como objetivo optimizar el proceso de electrocoagulación (EC) para el tratamiento de aguas con elevada turbidez, utilizando un sistema fotovoltaico autónomo como fuente de energía. La investigación se realizó en un sistema electrolítico de laboratorio en funcionamiento en el Laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Universidad Federal de Paraíba – LABSAM/UFPB. Se llevó a cabo en dos etapas secuenciales de planificación factorial (2^3), con el objetivo de identificar las variables más influyentes en el proceso y determinar las condiciones operativas óptimas. En la primera etapa, se investigó el impacto del espaciamiento entre electrodos, el tiempo de electrólisis y el pH del medio, concluyéndose que el pH, en el rango de 6 a 9, no presentó un efecto principal estadísticamente significativo. En la segunda etapa, el pH fue sustituido por la conductividad eléctrica. Los resultados demostraron que el tiempo de electrólisis, la conductividad y el espaciamiento entre electrodos son los factores clave para maximizar la eliminación de turbidez. El análisis estadístico, mediante el Gráfico de Pareto, confirmó la significancia de estos factores e indicó la ausencia de interacciones complexas, simplificando la optimización. El estudio validó la viabilidad del uso de energía solar para alimentar el sistema, reforzando su potencial para aplicaciones descentralizadas y sostenibles en pequeñas comunidades.

Palabras clave: Electrocoagulación, Tratamiento de Aguas, Energía Fotovoltaica

ABSTRACT

This study aimed to optimize the electrocoagulation (EC) process for treating high turbidity water, using an autonomous photovoltaic system as a power source. The research was conducted in a bench-scale electrolytic system (with a photovoltaic power supply) operating at the Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal da Paraíba – LABSAM/UFPB– LABSAM/UFPB. It was carried out in two sequential stages of factorial design (2^3), aiming to identify the most influential variables in the process and determine the optimal operating conditions. In the first stage, the impact of the spacing between electrodes, electrolysis time, and pH of the medium was investigated, concluding that pH, in the range of 6 to 9, did not show a statistically significant main effect. In the second stage, pH was replaced by electrical conductivity. The results demonstrated that electrolysis time, conductivity, and the spacing between electrodes are the key factors for maximizing turbidity removal. The statistical analysis, by means of the Pareto Chart, confirmed the significance of these factors and indicated the absence of complex interactions, simplifying the optimization. The study validated the feasibility of using solar energy to power the system, reinforcing its potential for decentralized and sustainable applications in small communities.

Keywords: Electrocoagulation, Water Treatment, Photovoltaic Energy

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água potável e a progressiva contaminação dos corpos hídricos representam um dos maiores desafios globais. A busca por tecnologias de tratamento

eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis é imperativa. Métodos convencionais, embora estabelecidos, frequentemente envolvem o uso intensivo de produtos químicos e geram grandes volumes de lodo, cujo descarte constitui um problema ambiental (CHEN, 2004).

Neste cenário, a eletrocoagulação (EC) surge como uma alternativa promissora. O processo gera agentes coagulantes in situ através da oxidação de um ânodo de sacrifício, eliminando a necessidade de adição de químicos. Suas vantagens incluem simplicidade operacional, menor tempo de tratamento, menor produção de lodo e alta eficiência na remoção de poluentes como cor, turbidez e metais pesados (MOLLAH et al., 2004).

Contudo, o consumo de energia elétrica pode limitar a viabilidade da EC, especialmente em comunidades remotas. Este estudo aborda essa lacuna ao propor o uso de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentar o reator de EC, alinhando a tecnologia aos princípios do desenvolvimento sustentável.

O objetivo geral deste trabalho foi otimizar o processo de eletrocoagulação para o tratamento de águas turvas e coloridas, utilizando um sistema fotovoltaico como fonte de energia, visando maximizar a remoção dos parâmetros cor e turbidez e minimizar o residual de alumínio na água tratada. Para isso, foi empregue um planejamento fatorial de experimentos para avaliar o impacto de variáveis como espaçamento entre elétrodos, tempo de eletrólise, pH e condutividade, a fim de determinar as condições operacionais que maximizam a eficiência do tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aparato Experimental

O estudo foi conduzido em um sistema eletrolítico de bancada no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFPB. O sistema é composto por um reator de vidro operado em bateladas, com placas de alumínio como elétrodos. A energia foi fornecida por uma bateria estacionária de 12V, mantida por um painel fotovoltaico. Multímetros digitais foram usados para monitorar a corrente e a tensão. Os parâmetros de qualidade da água foram medidos com os equipamentos listados na Tabela 1.

Tabela 1: Equipamentos utilizados na medição dos parâmetros

Variável	Equipamento
Alumínio e cor verdadeira	Espectrofotômetro
Condutividade	Condutivímetro
Turbidez	Turbidímetro
pH	Phmetro

Fonte: Autor (2025)

Procedimento Experimental

Amostras de água foram preparadas em laboratório para simular características de turbidez elevada. Os parâmetros de pH e condutividade foram ajustados conforme os níveis definidos no planejamento experimental. O sistema de EC foi operado de acordo com as combinações de tempo e espaçamento entre elétrodos para cada ensaio. Após o tempo de reação, a amostra tratada decantou por 10 minutos antes da medição dos parâmetros de turbidez e cor.

Planejamento de Experimentos e Análise Estatística

Para otimizar o processo, foram realizados dois planejamentos fatoriais completos do tipo 2^3, com três pontos centrais, totalizando 11 experimentos em cada etapa. O planejamento fatorial permite avaliar o efeito de múltiplos fatores e suas interações simultaneamente (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001). A análise estatística dos dados, incluindo o cálculo dos efeitos principais e a construção do Gráfico de Pareto, foi realizada com uma rotina computacional em Python, utilizando bibliotecas como pyDOE2, pandas e numpy. O Gráfico de Pareto foi usado para identificar os efeitos estatisticamente significativos, com um nível de confiança de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiro Planejamento Fatorial: Influência do pH

O primeiro planejamento investigou a influência do Espaçamento (E), Tempo (T) e pH. A amostra inicial possuía 80 NTU de turbidez, pH 7 e condutividade de 877 µS/cm. As variáveis e níveis estudados estão na Tabela 2.

Tabela 2: Variáveis e níveis do primeiro planejamento 2^3

Variável	Unidade	Nível inferior (-)	Nível médio (0)	Nível Inferior (-)
Espaçamento	cm	0,5	1,0	1,5
Tempo	min	10	15	20
pH	-	6	7,5	9

Fonte: Autores (2025)

O Gráfico de Pareto (Figura 1) revelou que o Espaçamento (E) e o Tempo (T) foram estatisticamente significativos, assim como a interação entre Espaçamento e pH (ETpH). Notavelmente, o efeito principal do pH não foi significativo, indicando que, na faixa de 6 a 9, sua influência isolada na remoção de turbidez é limitada. Essa faixa corresponde à zona de menor solubilidade do hidróxido de alumínio, o que explica a baixa variação na eficiência (GRAEPIN et al., 2020).

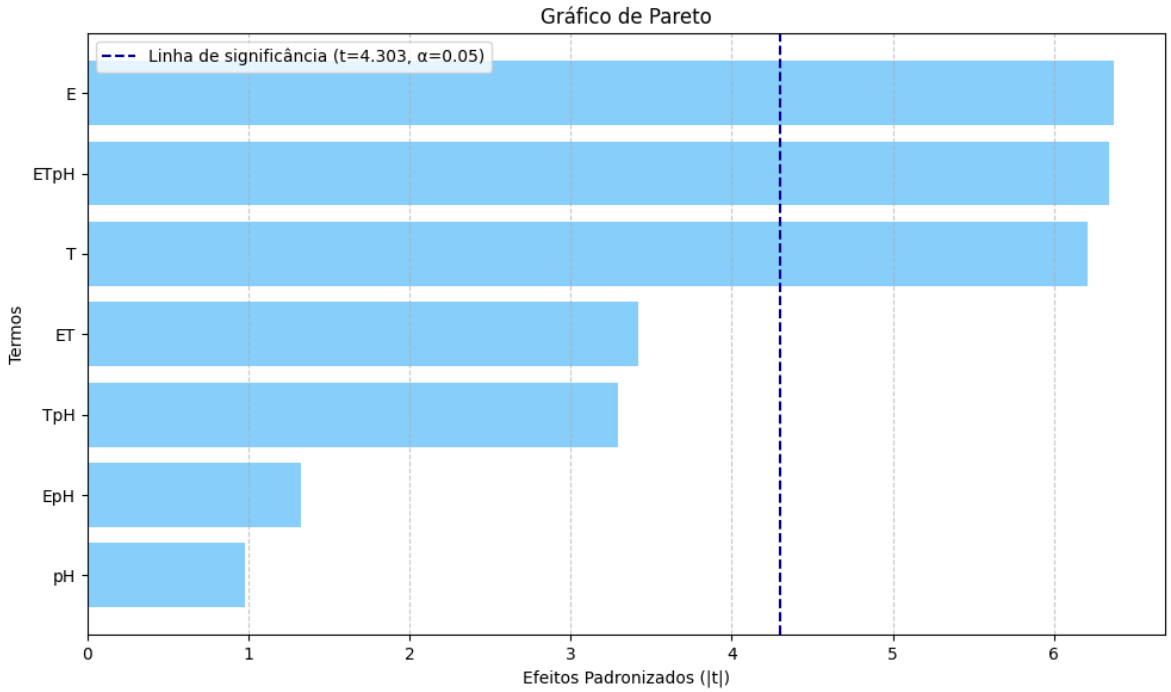


Figura 1. Gráfico de Pareto do primeiro planejamento.
Fonte: Elaboração própia, 2025.

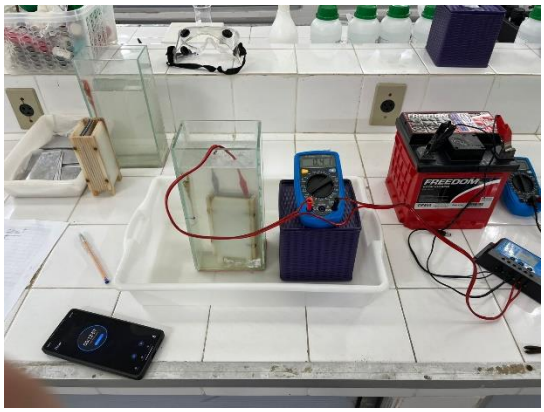


Figura 2. Sistema com bateria e multímetro
Fonte: Elaboração própia, 2025.

Com base nesse resultado, o pH foi fixado em 7,5 e substituído pela condutividade elétrica no planejamento seguinte.

Segundo Planejamento Fatorial: Influência da Condutividade

O segundo planejamento avaliou o Espaçamento (E), Tempo (T) e Condutividade (C). A amostra inicial possuía 60 NTU de turbidez e pH fixado em 7,5. As variáveis e níveis estão na Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis e níveis do primeiro planejamento 2^3

Variável	Unidade	Nível inferior (-)	Nível médio (0)	Nível Inferior (-)
Espaçamento	cm	0,5	1,0	1,5
Tempo	min	10	15	20
Condutividade	µS/cm	500	750	1000

Fonte: Autores (2025)

A análise de Pareto (Figura 2) mostrou que os três fatores principais — Tempo (T), Condutividade (C) e Espaçamento (E) — são estatisticamente significativos, confirmando a relevância da condutividade no processo.

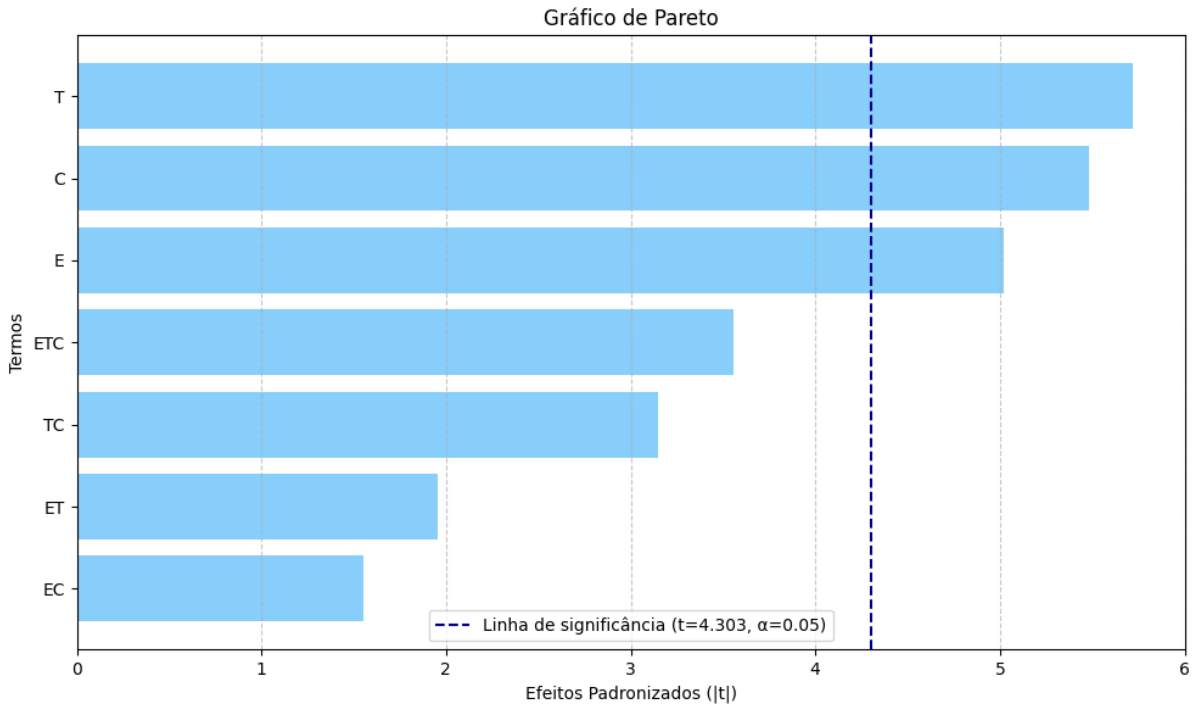


Figura 3. Gráfico de Pareto do segundo planejamento
Fonte: Elaboração própia, 2025.

Figura 4. Bateria estacionária e placas fotovoltaicas
Fonte: Elaboração própia, 2025.

O tempo de eletrólise e a condutividade apresentaram os maiores efeitos positivos, indicando que seu aumento favorece a remoção de turbidez. Isso ocorre porque ambos contribuem para uma maior geração do agente coagulante, conforme a Lei de Faraday. O espaçamento também teve um efeito positivo significativo. A ausência de interações significativas simplifica a otimização, permitindo um ajuste mais independente dos fatores. A ordem de significância (Tempo > Condutividade > Espaçamento) aponta o tempo de reação

como o fator mais crítico para a otimização do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a aplicação bem-sucedida da metodologia de planejamento fatorial para otimizar o processo de eletrocoagulação alimentado por energia fotovoltaica. Os resultados confirmaram que o tempo de eletrólise, a condutividade elétrica e o espaçamento entre elétrodos são as variáveis-chave para o controle da remoção de turbidez, enquanto o pH, na faixa de 6 a 9, não se mostrou um fator principal significativo.

A otimização do processo requer um balanço entre os fatores: um tempo de eletrólise suficiente para a coagulação eficaz sem excesso de dosagem, e uma condutividade que permita uma corrente eficiente com consumo energético minimizado. A validação do sistema fotovoltaico reforça o potencial da eletrocoagulação como uma solução de tratamento de água descentralizada, sustentável e autônoma, ideal para pequenas comunidades.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) para modelar matematicamente o processo e identificar o ponto ótimo de operação com maior precisão, além da realização de uma análise do lodo gerado e um estudo de viabilidade econômica detalhado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradece-se a Deus, fonte de toda sabedoria e força, pela saúde, fé e determinação que sustentaram a realização deste projeto. Agradece-se a Universidade Federal da Paraíba – UFPB e à Professora Carmem Moreira Gadelha, pela orientação, dedicação e paciência ao longo dessa jornada, sempre incentivando a busca pela excelência e pelo conhecimento. Aos técnicos do laboratório (LABSAM), um agradecimento especial pelo apoio técnico e expertise, que foram fundamentais para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho. Sem o suporte de todos, muitas etapas não teriam sido possíveis. Por fim, agradece-se às colaboradores como o engenheiro ambiental Lucas Gomes Soares, e as alunas graduandas de engenharia ambiental Samara, Sarah e Julliany, cujos esforços, dedicação e contribuição tornaram essa realização possível. Cada um desempenhou um papel essencial, e toda a equipe é imensamente grata pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros Neto, Benício de, Íeda Spacino Scarminio, e Roy E. Bruns. 2001. Como Fazer Experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2ª ed. Campinas: Editora da Unicamp.

Chen, G. 2004. "Electrochemical technologies in wastewater treatment." Separation and Purification Technology 38 (1): 11–41.

Graepin, C., et al. 2020. "Electrocoagulation-flotation: a novel proposal for Latin-American water treatment facilities." Desalination and Water Treatment 202: 241–250.

Holt, P. K., G. W. Barton, e C. A. Mitchell. 2005. "The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology." Chemosphere 59 (3): 355–367.

Mollah, M. Y. A., et al. 2004. "Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation." Journal of Hazardous Materials 114 (1-3): 199–210.

Vicente, J. C. R. 2019. "Aplicação do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluente proveniente de indústria de refrigerante utilizando eletrodo de alumínio." Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037251

GERADOR DE ÁGUA ATMOSFÉRICO E CONTROLE DE QUALIDADE

GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICA Y CONTROL DE CALIDAD

ATMOSPHERIC WATER GENERATOR AND QUALITY CONTROL

Alex Carvalho[1], Ryqueli Carvalho[2], Monalisa Pereira[3] e Aysla Pereira[4].

[1]Técnico, IFPB - PI, Princesa Isabel, Brasil, monalisa.pereira@academico,ifpb.edu.br, 0009-0004-6620-6076;
[2]Técnico, IFPB - PI, Princesa Isabel, Brasil, ryqueli.carvalho@academico.ifpb.edu.br, 0009-0007-3896-4330;
[3]Técnico, IFPB - PI, Princesa Isabel, Brasil, aysla.lawanne@academico.ifpb.edu.br, 0009-0004-7009-5399;
[4]Técnico, IFPB - PI, Princesa Isabel, Brasil, alex.kaue@academico.ifpb.edu.br, 0009-0000-1059-885X;

Eixo 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural.

Eje 03 – Tecnologías de Abastecimiento de Agua
Soluciones alternativas de abastecimiento de agua en zonas rurales.

Axis 03 – Water Supply Technologies
Alternative water supply solutions in rural areas.

RESUMO

A escassez de água potável em áreas rurais do Brasil, especialmente nas regiões semiáridas, constitui um grave desafio social e ambiental, onde muitas comunidades recorrem a fontes não tratadas, elevando o risco de problemas de saúde. Diante desta problemática, o presente projeto teve como objetivo geral o desenvolvimento de um gerador de água atmosférico inteligente, equipado com sensores para monitoramento da qualidade hídrica, visando oferecer uma solução sustentável, acessível e voltada à saúde pública para atender às necessidades de comunidades rurais, principalmente do sertão nordestino. O marco teórico que sustentou o estudo baseia-se em dois conceitos principais: o Efeito Peltier, que utiliza uma pastilha termoelétrica para resfriar uma superfície e condensar a umidade do ar em água utilizável, e a medição de condutividade elétrica da água por meio de um sensor, que indica a presença de sais ou impurezas iônicas. A metodologia foi dividida na construção do protótipo gerador, utilizando a pastilha Peltier, dissipadores e coolers, e na montagem do sistema de controle de qualidade com um microcontrolador Arduino, o sensor de condutividade e um display LCD para visualização dos dados gerados a partir do monitoramento da água gerada. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade do sistema, que se mostrou funcional ao produzir gotas de água por condensação e ao realizar uma verificação primária de sua pureza de forma consistente. Como principal contribuição, o projeto apresenta uma solução de baixo custo que promove a segurança hídrica para atividades cotidianas como higiene e limpeza, facilitando sua adoção em comunidades carentes. Contudo, o sistema possui limitações, como a quantidade de água gerada, que depende da umidade relativa do ar e é mais adequada para pequena escala, e o fato de o sensor de condutividade não detectar contaminantes microbiológicos ou químicos orgânicos, sendo desta forma, recomendável uma análise mais minuciosa em laboratório ou um tratamento de desinfecção adicional para o consumo humano direto.

Palavras-chave: Gerador de água atmosférico, Saneamento básico, Efeito Peltier, Qualidade da água, Arduino

RESÚMEN

La escasez de agua potable en las zonas rurales de Brasil, especialmente en las regiones semiáridas, plantea un grave desafío social y ambiental, ya que muchas comunidades recurren a fuentes sin tratar, lo que aumenta el riesgo de problemas de salud. Ante este problema, el objetivo general de este proyecto fue desarrollar un generador de agua atmosférico inteligente equipado con sensores para monitorear la calidad del agua. Esta solución busca ofrecer una solución sostenible, asequible y centrada en la salud pública para satisfacer las necesidades de las comunidades rurales, especialmente en el interior del noreste. El marco teórico que sustenta el estudio se basa en dos conceptos principales: el Efecto Peltier, que utiliza una pastilla termoeléctrica para enfriar una superficie y condensar la humedad del aire en agua utilizable, y la medición de la conductividad eléctrica del agua mediante un sensor, que indica la presencia de sales o impurezas iónicas. La metodología consistió en construir el prototipo del generador utilizando una oblea Peltier, disipadores y refrigeradores, y ensamblar el sistema de control de calidad con un microcontrolador Arduino, un sensor de conductividad y una pantalla LCD para visualizar los datos generados por el monitoreo del agua generada. Los resultados demostraron la viabilidad del sistema, que demostró su funcionalidad al producir gotas de agua por condensación y realizar un control primario constante de su pureza. La principal contribución del proyecto reside en proporcionar una solución económica que promueve la seguridad hídrica para actividades cotidianas como la higiene y la limpieza, facilitando su adopción en comunidades desfavorecidas. Sin embargo, el sistema presenta limitaciones, como la cantidad de agua generada, que depende de la humedad relativa y es ideal para uso a pequeña escala. El sensor de conductividad tampoco detecta contaminantes químicos orgánicos ni microbiológicos, por lo que se recomienda un análisis de laboratorio más exhaustivo o un tratamiento de desinfección adicional para el consumo humano directo.

Palabras clave: Generador de agua atmosférica, Saneamiento básico, Efecto Peltier, Calidad del agua, Arduino

ABSTRACT

The scarcity of drinking water in rural areas of Brazil, especially in semiarid regions, poses a serious social and environmental challenge, with many communities resorting to untreated sources, increasing the risk of health problems. Faced with this problem, this project's overall objective was to develop a smart atmospheric water generator equipped with sensors for monitoring water quality. This solution aims to offer a sustainable, affordable, and public health-focused solution to meet the needs of rural communities, particularly in the Northeastern backlands. The theoretical framework underlying the study is based on two main concepts: the Peltier Effect, which uses a thermoelectric pellet to cool a surface and condense air moisture into usable water, and the measurement of water's electrical conductivity using a sensor, which indicates the presence of salts or ionic impurities. The methodology consisted of building the generator prototype using a Peltier wafer, heatsinks, and coolers, and assembling the quality control system with an Arduino microcontroller, a

conductivity sensor, and an LCD display to visualize the data generated by monitoring the generated water. The results demonstrated the viability of the system, which proved functional by producing water droplets through condensation and consistently performing a primary check of its purity. The project's main contribution is that it provides a low-cost solution that promotes water security for everyday activities such as hygiene and cleaning, facilitating its adoption in underserved communities. However, the system has limitations, such as the amount of water generated, which depends on relative humidity and is best suited for small-scale use. The conductivity sensor also fails to detect microbiological or organic chemical contaminants, thus recommending more thorough laboratory analysis or additional disinfection treatment for direct human consumption.

Keywords: Atmospheric water generator, Basic sanitation, Peltier effect, Water quality, Arduino

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A crise hídrica é uma realidade global que afeta o Brasil de forma particularmente severa, sobretudo nas regiões semiáridas, onde a irregularidade das chuvas e os longos períodos de estiagem comprometem o acesso à água potável. Essa condição de vulnerabilidade, agravada por mudanças climáticas, impõem desafios significativos à saúde pública e ao desenvolvimento socioeconômico de inúmeras comunidades rurais. A recorrência de eventos climáticos extremos tem intensificado os debates sobre a necessidade de buscar soluções inovadoras para garantir a segurança hídrica (Marengo et al. 2015). Nesse cenário, tecnologias que exploram fontes de água não convencionais, como a umidade atmosférica, surgem como alternativas promissoras e descentralizadas.

Uma das tecnologias mais estudadas para este fim é a geração de água atmosférica (Atmospheric Water Generation - AWG), que consiste em sistemas capazes de extrair vapor de água do ar e condensá-lo, transformando-o em água líquida. Wahlgren (2001) destaca que existem diversos métodos para alcançar essa condensação, sendo o resfriamento por compressão de vapor e o uso de pastilhas termoelétricas (Efeito Peltier) alguns dos mais comuns. A abordagem via Efeito Peltier, em particular, apresenta vantagens como a ausência de partes móveis complexas e a modularidade, tornando-se viável para a construção de protótipos de baixo custo e pequena escala, ideais para aplicações localizadas.

Para explorar essa potencialidade, o presente projeto foi desenvolvido no Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Princesa Isabel, como parte das atividades do curso de Informática no Laboratório MAKER. A experiência teve início em agosto de 2025, com a

finalização do levantamento dos dados e experimento em outubro, mas com a finalização do projeto em dezembro de 2025. O projeto tem como objetivo central o desenvolvimento de um gerador de água atmosférico inteligente, dotado de sensores de monitoramento da qualidade da água, para analisar a possibilidade de atendimento das necessidades hídricas em áreas rurais. A importância desta experiência reside na sua capacidade de oferecer uma solução sustentável e acessível, que visa promover a segurança hídrica e a melhoria da qualidade de vida em comunidades vulneráveis.

O diferencial e a relevância do projeto para a área temática se consolidam na integração de duas frentes tecnológicas: a geração de água e o seu controle de qualidade em tempo real. Enquanto a geração aborda diretamente o problema da escassez, a incorporação de um sistema de monitoramento de baixo custo, baseado na plataforma Arduino, atende a uma necessidade crítica de garantir que a água obtida seja segura para o consumo.

A aplicação de sistemas embarcados para análise de parâmetros da água, como a condutividade, é uma tendência que democratiza o acesso a ferramentas de saneamento(Gomes et al. 2019). Portanto, a experiência não apenas valida um conceito tecnológico, mas também contribui com um modelo de solução integrada, de baixo custo e alto impacto social para enfrentar um dos maiores desafios do século XXI.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Primeiramente, a sonda de medição deve ser preparada para o uso, conforme Figura 1. Ela pode ser parcialmente submersa para realizar as leituras, sendo resistente à corrosão. No entanto, não deve ser utilizada em líquidos muito ácidos, básicos ou de alta temperatura.

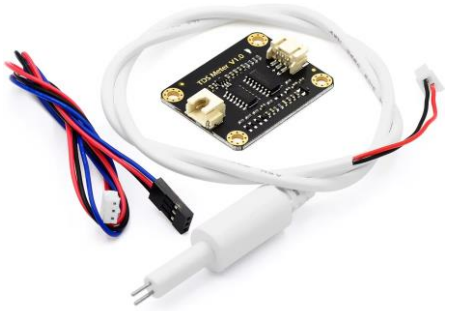


Figura 1. Sonda de medição e módulo eletrônico
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em seguida, foi seguindo o esquema de montagem conforme a Figura 2, onde o módulo eletrônico é configurado. Ele é responsável por gerar e condicionar o sinal proveniente da sonda e fornece uma saída analógica, que deve ser conectada a uma das entradas analógicas do Arduino. Caso necessário, o potenciômetro do módulo pode ser ajustado para calibração fina.

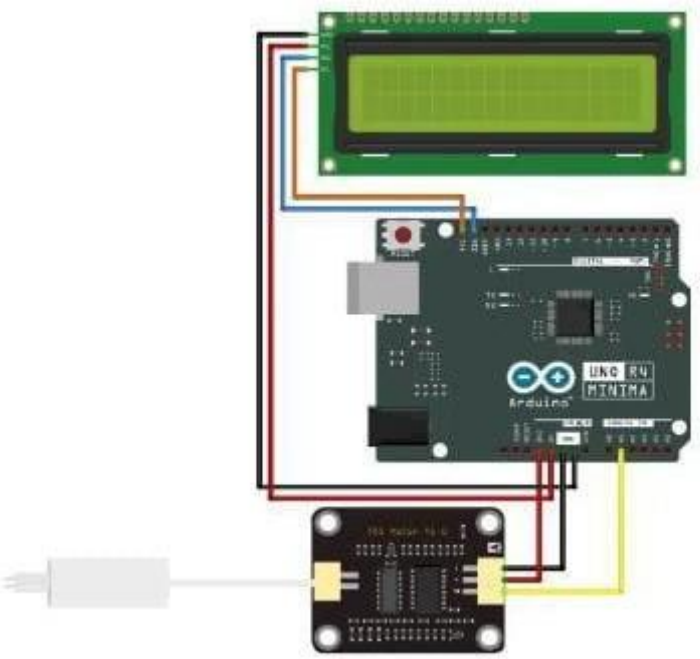


Figura 2. Esquema de montagem do módulo eletrônico

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na etapa seguinte, procedeu-se à integração com o Arduino. A saída analógica do módulo é conectada à porta analógica correspondente, permitindo que o Arduino seja programado para interpretar os valores de condutividade obtidos.

Posteriormente, realizou-se a instalação do display LCD 16×2 com interface I2C. Esse componente será utilizado para exibir em tempo real as informações coletadas pelo sensor, e sua interface simplifica a conexão, pois utiliza apenas dois pinos digitais do Arduino.

O sistema opera em uma faixa de medição de 0 a 1000 ppm, adequada para análises comuns de condutividade da água, conforme Tabela 1. Após a finalização da montagem e a verificação das conexões, o conjunto estará pronto para realizar as leituras e apresentá-las no display em tempo real.

Tabela 1. Condutividade da água

TDS (ppm)	Qualidade da água	Observação
0 - 50	Água extremamente pura	Usada em laboratório, indústria ou osmose reversa
51 - 150	Água muito limpa	Ideal para consumo humano aquários sensíveis
151 - 300	Água potável	Dentro dos padrões de potabilidade
301 - 500	Aceitável	Potável, mas pode conter mais sais e minerais
>501	Água imprópria	Não é recomendada para consumo

Fonte: Adaptado de Guse (2023, 45).

Para a produção do gerador de água atmosférico, primeiramente aplicamos a pasta térmica em uma das superfícies de contato de dissipador e no Peltier, juntamos o Peltier e o dissipador de calor com a pasta térmica, aplicamos mais uma camada de pasta sobre o Peltier para aplicarmos um dissipador retangular, formando um "Sanduíche". Fios de alimentação são descascados para facilitar na soldagem dos fios a um conector Barrel Plug. Após isso usamos dois elásticos para prender todos os componentes e deixar os componentes mais unidos. Após isso o dispositivo está pronto para ser conectado em alguma fonte de energia

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados com o gerador de água atmosférica em pequena escala demonstraram que o sistema funciona de maneira eficiente dentro das suas limitações estruturais, sendo capaz de transformar a umidade do ar em água utilizável. Ainda que a produção seja reduzida, especialmente devido ao tamanho compacto do protótipo e à dependência das condições ambientais, o experimento comprovou a viabilidade da tecnologia e sua capacidade de operar de forma contínua.

Em locais com umidade relativa acima de 60% e temperaturas médias entre 25 °C e 30 °C, o equipamento conseguiu coletar pequenas quantidades de água, suficientes para evidenciar o potencial do processo de condensação atmosférica. Em regiões mais secas, a produção diminuiu, mas ainda assim o protótipo manteve seu funcionamento, mostrando adaptabilidade ao ambiente.

Entre os benefícios observados, destaca-se o fato de que o sistema não depende de mananciais ou redes de abastecimento, extraindo água diretamente da atmosfera — recurso disponível em praticamente todos os lugares. Além disso, trata-se de uma tecnologia sustentável, que pode ser combinada com fontes de energia limpa, como a solar ou a eólica,

reduzindo custos de operação e impactos ambientais.

De forma geral, conclui-se que o protótipo, mesmo em pequena escala, evidencia o potencial da captação atmosférica como alternativa viável para suprir necessidades hídricas em locais de difícil acesso a água potável. Em versões ampliadas, a tecnologia pode fornecer volumes significativos de água, suficientes para atender demandas domésticas e até comunitárias, representando uma solução inovadora e promissora para regiões com escassez hídrica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do gerador de água atmosférico inteligente demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável para minimizar os impactos da escassez hídrica em regiões semiáridas. A utilização do Efeito Peltier para condensação da umidade do ar, associada ao monitoramento da qualidade da água por meio de sensores de condutividade, comprovou a possibilidade de oferecer uma solução de baixo custo e aplicável em comunidades rurais. Embora a produção de água dependa das condições ambientais e o sistema de análise não substitua exames laboratoriais, o protótipo representa um importante passo na busca por tecnologias acessíveis que promovam a segurança hídrica e a melhoria da qualidade de vida. Assim, o projeto reforça a relevância da inovação tecnológica como ferramenta para enfrentar os desafios da crise hídrica e ampliar o acesso à água potável em áreas vulneráveis.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Agradecemos ao Campus Princesa Isabel pelo apoio na realização do projeto, ao Núcleo de Inovação, Tecnologia e Ensino de Ciências - NITEC, a disponibilização do espaço MAKER e aos professores colaboradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gomes, J. P., et al. 2019. “Monitoramento de baixo custo da qualidade da água em tempo real usando a plataforma Arduino.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23 (2): 143–149..

Guse, R. "Meça a qualidade da água com sensor de condutividade." *MakerHero*. Acesso em 14 de outubro de 2025. https://www.makerhero.com/blog/meca-a-qualidade-da-agua-com-sensor-de-condutivi

dade/?srsltid=AfmBOoqf2BZe8hKltTXfMVjCHaR241Z167t-WbgGlctFvaQ9dCXvZt-J.

Marengo, José A., Roger R. Torres, e Lincoln M. Alves. 2015. "A seca e a crise hídrica de 2010–15 no sudeste do Brasil." *Revista USP*, no. 106 (Dezembro): 31–44.

Wahlgren, R. V. 2001. "Atmospheric Water Vapour Processor Designs for Potable Water Production: A Review". *Laramie*, Wyo.: University of Wyoming.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037266

INSTABILIDADE ENERGÉTICA COMO GARGALO PARA O ACESSO À ÁGUA NO ALTO RIO SOLIMÕES - AM: UMA ANÁLISE A PARTIR DAS IMPLEMENTAÇÕES DO PROJETO ÁGUA BOA

ENERGY INSTABILITY AS A BOTTLENECK TO WATER ACCESS IN THE UPPER SOLIMÕES REGION, AMAZONAS: AN ANALYSIS BASED ON THE IMPLEMENTATION OF THE ÁGUA BOA PROJECT

INESTABILIDAD ENERGÉTICA COMO CUELLO DE BOTELLA PARA EL ACCESO AL AGUA EN EL ALTO RÍO SOLIMÕES - AM: UN ANÁLISIS A PARTIR DE LAS IMPLEMENTACIONES DEL PROYECTO ÁGUA BOA

Camila Fuziel Silva[1], Paulo Ricarde Fernades Diógenes[2], Van Damme Menezes da Silva[3] y Erik Fabiano Luiz Maciel[4].

[1]Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Companhia de Saneamento do Amazonas - COSAMA, Manaus-AM, Brasil, gersar@cosama.am.gov.br.com, https://orcid.org/0009-0003-0074-8481;
[2]Engenheiro Civil, Fundo das Nações Unidas para a Infância - UNICEF, Manaus-AM, Brasil, pafernandes@unicef.org, https://orcid.org/0009-0008-5761-2397;
[3]Engenherio Civil, Companhia de Saneamento do Amazonas - COSAMA, Manaus-AM, Brasil, diop@cosama.am.gov.br, nº de ORCID;
[4]Mestre em Engenharia de Produção, Companhia de Saneamento do Amazonas - COSAMA, Manaus-AM, Brasil, supeng@cosama.am.gov.br, nº de ORCID.

RESUMO

O Projeto Água Boa é uma iniciativa do Governo do Estado do Amazonas com o objetivo de garantir o acesso contínuo à água potável para populações em situação de vulnerabilidade socioambiental, especialmente em comunidades ribeirinhas e indígenas da região amazônica. Este relato de experiência apresenta as ações desenvolvidas nas comunidades indígenas de Tauaru, da etnia Kokama, e Novo Porto Lima, da etnia Tikuna, ambas localizadas no Alto Rio Solimões, onde foram implantadas Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água (SAC) baseadas na tecnologia social SALTA-z. O sistema oferece tratamento completo da água (coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção), possui baixo custo operacional, manutenção simplificada e é adaptado à realidade local. Um dos principais desafios enfrentados é a instabilidade no fornecimento de energia elétrica, fator crítico que compromete tanto a instalação quanto a operação contínua dos sistemas. A instabilidade energética compromete a sustentabilidade do sistema, gera custos elevados com manutenção e aumenta o risco de contaminação hídrica devido à interrupção do tratamento. A experiência demonstra que, em contextos amazônicos, o acesso à água potável e segura não depende apenas da existência de recursos hídricos, mas da integração entre soluções de saneamento, segurança energética e gestão comunitária. A adoção de tecnologias apropriadas, combinada com a participação ativa das comunidades e o apoio institucional, é essencial para a efetivação do direito humano à água. O Projeto Água Boa evidencia a necessidade de políticas públicas intersetoriais e territorialmente sensíveis, que respondam de forma eficaz às particularidades socioambientais da Amazônia Profunda.

Palavras-chave: Amazônia Profuda**,** Comunidades Indígenas Ribeirinhas, Saneamento Rural

RESÚMEN

El Proyecto Agua Boa es una iniciativa del Gobierno del Estado de Amazonas cuyo objetivo es garantizar el acceso continuo a agua potable para poblaciones en situación de vulnerabilidad socioambiental, especialmente en comunidades ribereñas e indígenas de la región amazónica. Este relato de experiencia presenta las acciones desarrolladas en las comunidades indígenas de Tauaru, del pueblo Kokama, y Novo Porto Lima, del pueblo Tikuna, ambas ubicadas en el Alto Río Solimões, donde se implementaron Soluciones Alternativas Colectivas de Abastecimiento de Agua (SAC) basadas en la tecnología social SALTA-z. El sistema ofrece tratamiento completo del agua (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección), con bajo costo operativo, mantenimiento simplificado y adaptación a la realidad local. Uno de los principales desafíos enfrentados es la inestabilidad en el suministro de energía eléctrica, un factor crítico que compromete tanto la instalación como la operación continua de los sistemas. La inestabilidad energética afecta la sostenibilidad del sistema, genera altos costos de mantenimiento y aumenta el riesgo de contaminación hídrica debido a la interrupción del tratamiento. La experiencia demuestra que, en contextos amazónicos, el acceso a agua potable y segura no depende únicamente de la existencia de recursos hídricos, sino de la integración entre soluciones de agua y saneamiento, seguridad energética y gestión comunitaria. La adopción de tecnologías apropiadas, combinada con la participación activa de las comunidades y el apoyo institucional, es esencial para la efectividad del derecho humano al agua. El Proyecto Agua Boa evidencia la necesidad de políticas públicas intersectoriales y territorialmente sensibles, que respondan de forma eficaz a las particularidades socioambientales de la Amazonía Profunda.

Palabras clave: Amazonía Profunda, Comunidades Indígenas Ribereñas, Agua y Saneamiento Rural

ABSTRACT

The Água Boa Project is an initiative of the Government of the State of Amazonas aimed at ensuring continuous access to safe drinking water for populations in situations of socio-environmental vulnerability, especially in riverine and Indigenous communities of the Amazon region. This experience report presents the actions developed in the Indigenous communities of Tauaru (Kokama people) and Novo Porto Lima (Tikuna people), both located in the Upper Solimões River, where Collective Alternative Water Supply Solutions (SAC) based on the social technology SALTA-z were implemented. The system provides complete water treatment (coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection), with low operating costs, simplified maintenance, and adaptation to local conditions. One of the main challenges faced is the instability of electricity supply, a critical factor that affects both the installation and continuous operation of the systems. Energy instability compromises the sustainability of the system, generates high maintenance costs, and increases the risk of water contamination due to treatment interruptions. The experience demonstrates that, in Amazonian contexts, access to safe drinking water depends not only on the availability of water resources but also on the integration of water and sanitation solutions, energy security, and community management. The adoption of appropriate technologies, combined with active community participation and institutional support, is essential for the realization of the human right to water. The Água Boa Project highlights the need for intersectoral and territorially sensitive public policies that effectively respond to the socio-environmental particularities of the Deep Amazon.

Keywords: Deep Amazon, Indigenous Riverine Communities, Rural Water and Sanitation

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O acesso à água potável é um direito humano (ONU, 2010) fundamental e um dos principais desafios enfrentados por comunidades isoladas da Amazônia brasileira. No Alto Rio Solimões, a provisão de serviços essenciais como o abastecimento de água esbarra em uma série de obstáculos estruturais, sendo a instabilidade energética um dos mais críticos.

A calha hidrográfica do Alto Rio Solimões é uma sub-região localizada no extremo oeste do estado do Amazonas, situada no tríplice fronteira entre Brasil, Colômbia e Peru. Abrange, entre outros, os municípios de Tabatinga e Benjamin Constant, que são os focos do presente relato de experiência.

O Alto Solimões é caracterizado por uma população majoritariamente ribeirinha e indígena, pertencente a diversas etnias, entre as quais se destacam os Ticuna e os Kokama. Essas comunidades vivem em contextos de acesso geográfico limitado, com grandes desafios relacionados ao fornecimento de energia elétrica, infraestrutura de saneamento básico e logística para implementação e manutenção de serviços públicos (Lopes, 2022).

A realidade amazônica expõe uma dicotomia: apesar da abundância de recursos hídricos superficiais, a disponibilidade de água potável ainda é um grande desafio (Bordalo, 2017). Em outras palavras, tão complexo quanto enfrentar a escassez hídrica é lidar com a abundância de água sem qualidade para consumo humano. Embora a região concentre vastos volumes de água, a maior parte não se encontra em condições adequadas para uso direto, sendo necessário realizar tratamento e adotar uma gestão eficiente para garantir o acesso seguro à água.

Neste contexto, o saneamento rural, especialmente em áreas ribeirinhas e indígenas, representa um dos maiores desafios da política pública na região amazônica. As dificuldades logísticas associadas à distância, ao regime das águas e à infraestrutura de transporte, agravam ainda mais esse panorama, impactando diretamente a viabilidade de soluções convencionais de abastecimento de água e exigindo abordagens adaptadas ao território e à cultura local.

Outro fator que contribui para os desafios no abastecimento de água potável no Alto Solimões é a instabilidade energética, especialmente em áreas geograficamente isoladas. Essas localidades, muitas vezes atendidas por programas como o *Luz para Todos* ou por geradores a diesel, enfrentam interrupções frequentes no fornecimento de energia, o que compromete diretamente o funcionamento dos sistemas de abastecimento.

As alternativas baseadas em fontes renováveis, como a energia solar, ainda são pouco

exploradas nessas comunidades, principalmente devido ao alto custo de implantação e à limitação de suporte técnico local. Como resultado, sistemas autônomos de abastecimento, que dependem de energia elétrica para operar bombas, unidades de tratamento e distribuição, tornam-se vulneráveis e ineficientes diante da fragilidade da infraestrutura energética disponível.

Diante do cenário de desafios e vulnerabilidade hídrica que afeta diversas comunidades no estado do Amazonas, o Projeto Água Boa é uma iniciativa do Governo do Estado em parceria com o Fundo das Nações Unidas para a Infância – UNICEF. O projeto visa garantir o acesso à água potável, segura e contínua para populações em situação de risco socioambiental, especialmente em áreas rurais, indígenas e ribeirinhas.

Idealizado com foco na efetivação do direito humano à água, o Projeto Água Boa promove a implementação de Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água para Consumo Humano (SAC), adaptadas às condições geográficas, culturais e ambientais de cada localidade.

Este relato de experiência tem como objetivo apresentar os desafios enfrentados para o pleno funcionamento do Projeto Água Boa, com ênfase na instabilidade energética como um dos principais gargalos para o acesso à água nas comunidades rurais, ribeirinhas e indígenas do Alto Rio Solimões (AM). A análise baseia-se nas experiências vivenciadas nas comunidades indígenas Taurau, da etnia Kokama, e Novo Porto Lima, da etnia Tikuna, onde foram implantadas Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água para Consumo Humano (SAC).

O relato busca evidenciar as ações desenvolvidas para a instalação de sistemas adaptados às condições locais, bem como os esforços realizados para garantir seu pleno funcionamento, mesmo diante das limitações de infraestrutura, especialmente no que se refere à oferta irregular de energia elétrica.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A fase inicial do Projeto Água Boa consiste na realização de um diagnóstico técnico-social integrado, com o objetivo de identificar, caracterizar e priorizar comunidades em situação de vulnerabilidade hídrica no estado do Amazonas. Essa etapa estruturante é conduzida por uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais das áreas de engenharia civil, geologia, ciências sociais e gestão ambiental, articulando conhecimentos técnicos e

saberes locais.

Como principal ferramenta desse processo, aplica-se o Checklist de Pré-Implementação, um instrumento padronizado destinado à coleta sistemática de informações primárias nas comunidades-alvo. O checklist permite levantar dados geográficos, demográficos, logísticos, infraestruturais, energéticos e hidráulicos, com foco na compreensão do contexto local e na avaliação preliminar da viabilidade técnica das Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água para Consumo Humano (SAC).

Baseados na tecnologia social SALTA-z, os sistemas SAC são adaptados para pequenas comunidades, com tratamento completo da água (coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção), componentes modulares, manutenção simplificada e baixo custo operacional. A implementação inclui capacitação técnica, educação ambiental e participação ativa das comunidades, garantindo apropriação local e continuidade dos serviços. O modelo se destaca como referência em saneamento rural, superando desafios logísticos e promovendo o acesso seguro à água potável em territórios historicamente excluídos.

A experiência de implementação das Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água (SAC) ocorreu nas comunidades indígenas Taurau, da etnia Kokama, e Novo Porto Lima, da etnia Tikuna, localizadas na região do Alto Rio Solimões (AM). Ambas em contextos de alta vulnerabilidade hídrica, associados à dificuldade de acesso logístico e à limitação na infraestrutura energética local. Nessas comunidades, o fornecimento de energia elétrica ainda é intermitente, o que compromete a operação contínua dos sistemas instalados pelo Projeto Água Boa e gera paradas temporárias no abastecimento de água tratada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comunidade Indigena Kakama de Tauaru, Município de Tabatinga - AM

A Comunidade Tauraru composta majoritariamente por indígenas da etnia Kokama, situada no município de Tabatinga – AM, recebeu implantação do Projeto Água Boa em setembro de 2023, beneficiando cerda de 116 famílias e aproximadamente 581 pessoas. Embora o sistema seja abastecido por capitação superficial do Paraná da Saudade, no período de vazante ou seca do Rio Solimões essa forma de captação é restringida, logo, sistema passa a ser atendido pelo poço comunitário que abastece a escola existente na comunidade.

Paraná, no contexto geográfico e regional da Amazônia é um termo usado para se referir

a um “braço” de rio, geralmente mais estreito e secundário, que se separa do leito principal e depois retorna a ele ou deságua em outro ponto. Pode também se referir a canais naturais entre ilhas fluviais ou a caminhos alternativos das águas em áreas de várzea (Guerra e Guerra, 2015).

Embora o sistema na comunidade indígena Kokama de Taurau ofereça a possibilidade de captação por duas formas distintas, o funcionamento pleno de ambas depende da oferta contínua de energia elétrica para alimentar as bombas que impulsionam a água para o tratamento. No entanto, essa condição nem sempre é atendida. O Agente Indígena de Saneamento – AISAN, responsável pela operação do sistema na comunidade, registra frequentemente quedas de energia e interrupções que, em alguns casos, chegam a durar até 15 dias. Um exemplo recente ocorreu em agosto de 2025, quando a comunidade ficou sem fornecimento elétrico durante todo o período, tornando o sistema completamente inoperante.

Além da queima de componentes elétricos e da interrupção do tratamento de água, a instabilidade no fornecimento de energia causa paradas frequentes do sistema, comprometendo o abastecimento contínuo de água potável para as comunidades. Também provoca danos mecânicos às bombas e equipamentos devido às partidas e paradas abruptas, o que resulta em aumento dos custos com manutenção e reparos, já que os componentes sofrem maior desgaste.

Essa situação representa um risco para a saúde da população, pois a interrupção do tratamento aumenta a exposição a doenças de veiculação hídrica (Aquino, 2021) Além disso, gera perda de confiança da comunidade no sistema, dificultando a gestão participativa e o engajamento local. A instabilidade energética afeta ainda a sustentabilidade operacional do projeto, tornando mais difícil o planejamento e a realização de manutenções preventivas. Em alguns casos, a dependência de fontes energéticas externas, como geradores, torna-se necessária, o que implica custos maiores e menor sustentabilidade ambiental.

O Projeto Água Boa instalado na Comunidade Kokama de Tauru (Figura 1) está em fase de implantação de um Plano de Segurança da Água – PSA. Esses planos representam instrumentos altamente eficazes para a garantia da qualidade da água, pois adotam uma abordagem abrangente, que considera todas as etapas do fornecimento desde a captação até o ponto de consumo, incluindo eficiência energética para o pleno funcionamento do sistema.

Esse trabalho vem sendo desenvolvido por meio de uma parceria entre o Fundo das Nações Unidas para a Infância – UNICEF, a Secretaria Especial de Saúde Indígena – SESAI, por meio do Distrito Sanitário Especial Indígena – DSEI Alto Rio Solimões, a Companhia de

Saneamento do Amazonas – COSAMA e a Universidade Federal de Viçosa – UFV. O foco dessa colaboração é a adaptação da metodologia dos PSA à realidade dos territórios indígenas na Amazônia, respeitando suas particularidades socioculturais e ambientais (Bastos et. al., 2025).

A: Monitoramento de qualidade da água	**B:** Manutenção dos dispositivos elétricos

Figura 1 A e B. Projeto Água Boa implantado na Comunidade Kokama de Tauaru
Fonte: Fuziel Silva, 2025.

Conforme Bastos et al. (2025), o desenvolvimento do Plano de Segurança da Água (PSA) de Tauaru segue a abordagem metodológica recomendada pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023), estruturada em três eixos principais: avaliação do sistema, incluindo a descrição da estrutura de abastecimento, identificação e priorização de perigos, análise de riscos e verificação das medidas de controle existentes; monitoramento, com a definição de limites críticos, procedimentos de acompanhamento e ações preventivas e corretivas; e gestão, voltada à implementação de protocolos operacionais para situações rotineiras e emergenciais, bem como à validação e verificação contínua do plano.

Adicionalmente, o PSA incorpora a eficiência energética como diretriz transversal. No plano de ação do PSA de Tauaru, estão previstas medidas específicas para mitigar os impactos das interrupções no fornecimento de energia, que podem ocorrer devido a eventos adversos, como quedas de árvores, acidentes ou falhas na rede elétrica, bem como em decorrência da política de racionamento da concessionária. Para minimizar os riscos associados a esses eventos, será providenciada a aquisição de bombas de reserva, garantindo a substituição imediata em caso de queima dos equipamentos causada por quedas de energia. Além disso, está prevista a instalação de um kit de bombeamento movido à energia solar, com capacidade

para alimentar todas as bombas do sistema, promovendo maior autonomia e sustentabilidade energética.

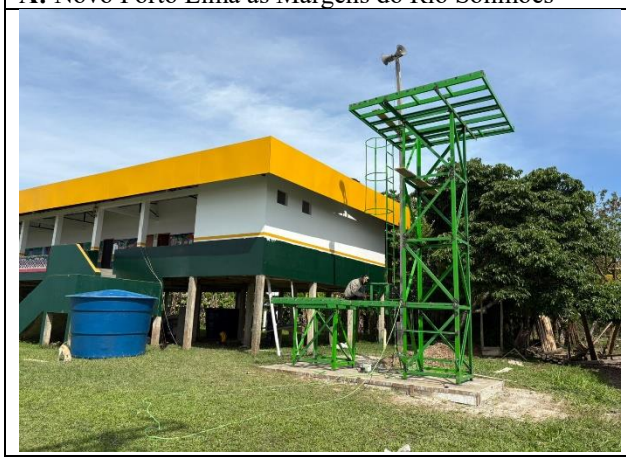
Em relação ao racionamento imposto pela concessionária, será solicitado o Plano de Contingência para períodos de seca, visando prever antecipadamente as interrupções no fornecimento de energia na aldeia e assegurar uma reservação adequada para esses momentos críticos. Paralelamente, será elaborado em conjunto com a comunidade um plano de ação interno específico para os períodos de racionamento de energia e água, fortalecendo a capacidade local de resposta e gerenciamento dos recursos disponíveis.

Comunidade Indigena Nono Porto Lima, Município de Benjamin Constant – AM

A implantação do Projeto Água Boa na Comunidade Indígena Novo Porto Lima, no município de Benjamin Constant – AM (Figura 2 A, B, C, D, E e F), evidencia que, embora os aspectos técnicos e estruturais do sistema de abastecimento tenham sido bem planejados e executados, a instabilidade no fornecimento de energia elétrica se configurou como um dos principais gargalos para a efetivação do direito à água na região do Alto Rio Solimões.

A: Novo Porto Lima às Margens do Rio Solimões

B: Escola Indígena Comunitária



C: Soldagem da estrutura metálica	**D:** Estrutura completamente soldada e finalizada
E: Instalação das caixas e sistemas de filtragem	**F:** Projeto Água Boa instalado e em funcionamento

Figura 2 A, B, C, D, E e F. Projeto Água Boa implantado na Comunidade Novo Porto Lima
Fonte: Fuziel Silva, 2025.

A comunidade, composta majoritariamente por indígenas da etnia Tikuna, foi beneficiada com a instalação de um sistema de captação superficial diretamente do Rio Solimões. Com cerca de 70 famílias e aproximadamente 340 pessoas, o sistema foi desenhado para atender às variações sazonais do Rio Solimões, permitindo a ampliação da linha de sucção até 200 metros durante o período de vazante. No entanto, a eficiência e a continuidade do abastecimento dependem diretamente do funcionamento de bombas elétricas e equipamentos que, por sua vez, exigem fornecimento estável de energia.

Durante o processo de instalação do sistema, diversas interrupções no fornecimento de energia elétrica impactaram o andamento das atividades. Em uma das etapas críticas da obra, a soldagem das estruturas metálicas, a queda de energia por três dias consecutivos inviabilizou o uso dos equipamentos. Mesmo após o restabelecimento parcial da rede, apenas uma fase estava ativa, o que impediu o funcionamento das máquinas de solda trifásicas. Como estratégia de mitigação, foi necessário adaptar equipamentos para operar com tensão reduzida (110V), o que limitou a produtividade e estendeu o cronograma da obra.

Esse cenário não é pontual. A instabilidade energética é uma realidade frequente nas comunidades ribeirinhas e indígenas do Alto Solimões. Essa limitação técnica compromete tanto a instalação quanto a operação contínua dos sistemas de abastecimento de água, tornando

a energia um fator estrutural diretamente ligado ao acesso à água segura. Em contextos onde o racionamento é aplicado pela concessionária ou há falhas recorrentes na rede, as comunidades permanecem vulneráveis, mesmo com sistemas tecnicamente funcionais.

Além disso, a atuação conjunta entre as equipes técnicas, lideranças comunitárias e instituições parceiras (como a COSAMA, SESAI/DSEI e UNICEF) foi fundamental para o avanço das atividades e para a superação dos desafios encontrados. O envolvimento do AISAN local e a capacitação para operação do sistema foram aspectos-chave para a sustentabilidade da iniciativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As experiências vivenciadas nas comunidades indígenas de Novo Porto Lima e Tauaru reforçam a importância de se pensar os sistemas de abastecimento de água de forma integrada à segurança energética, especialmente em territórios isolados como aqueles localizados na Amazônia Profunda, frequentemente sujeitos a interrupções no fornecimento de energia elétrica. A adoção de soluções alternativas, como os sistemas de bombeamento movidos à energia solar, mostra-se não apenas tecnicamente viável, mas também essencial para garantir a autonomia, a continuidade dos serviços e a resiliência das comunidades frente às limitações da infraestrutura elétrica convencional.

Esses aprendizados evidenciam a necessidade de abordagens intersetoriais e adaptadas à realidade amazônica, que considerem simultaneamente os desafios do saneamento, da energia e da gestão comunitária para a efetivação do direito humano à água. Tais abordagens devem estar fundamentadas no respeito às especificidades culturais e territoriais das populações indígenas e ribeirinhas, valorizando seus saberes e promovendo sua participação ativa nos processos decisórios.

A eletrificação rural em comunidades da Amazônia Profunda é, sem dúvida, um desafio multidimensional que envolve questões técnicas, logísticas, ambientais e sociais. No entanto, trata-se também de uma grande oportunidade de transformação. O acesso estável e sustentável à energia elétrica tem impactos profundos e abrangentes sobre diversos aspectos da vida comunitária: melhora o abastecimento e tratamento de água, contribui para a redução de doenças relacionadas à falta de infraestrutura básica, fortalece a economia local e eleva o bem-estar das populações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino, S.F.D.; Brandt, E.M.F.; silva, S.Q. *Poluentes Associados aos Rios Urbanos. In: Reúso de Água Potável como Estratégia para Escassez*. Editores: CAETANO, P. S.; MANCUSO et al. Santana de Parnaíba – SP: Manole, 2021.

Guerra, A. T. 1924-1968. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 11ª ed. -Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

Lopes, Elizângela. 2022. *Identidade, política e relações interétnicas entre indígenas Kokama e Ticuna na região do Alto Solimões - AM*. Anuário do Instituto de Natureza e Cultura – ANINC, 5(1). Universidade do Estado do Amazonas.

Organização das Nações Unidas. 2010. *Resolução adotada pela Assembleia Geral em 28 de julho de 2010: O direito humano à água e ao saneamento (A/RES/64/292)*. Assembleia Geral das Nações Unidas.

Santana, Alexandre Levi Monteiro, Paulo Ricarde Fernandes Diógenes, Shalimar Luísa Martins Lima, and Núbia Maria Gonzaga da Silva. 2023. *"Puxirum da Energia – Fortalecendo Direitos e o Acesso à Energia na RDS do Tupé." In* 2° Encontro de Tecnologia Social da Amazônia: Artigos. Relato Técnico Eixo 4: Interfaces entre Tecnologia Social e Políticas Públicas. Manaus, AM: [s.n.].

Bordalo, C. A. *O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira.* Geousp – Espaço e Tempo (Online), v. 21, n. 1, p. 120–137, abr. 2017. ISSN 2179-0892.

Bastos, R. K. X.; Oliveira, T. J. J.; Diógenes, P. R. F.; Francisco, A. R.; Souza, S. L. O. *Planos de Segurança da Água em Aldeias Indígenas – reflexões a partir de experiência na Aldeia Tauaru, Alto Rio Solimões.* In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – FITABES, 33., 2025, Brasília – DF. Anais... [S.l.]: ABES, 2025. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/33cbesa/993_tema_i.pdf

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037283

MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS APLICADOS NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA DO RESERVATÓRIO PEDRO MOURA, EM BELO JARDIM–PE

MÉTODOS ESTADÍSTICOS MULTIVARIANTES APLICADOS EN EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA DEL EMBALSE DE PEDRO MOURA, EN BELO JARDIM, PE

MULTIVARIATE STATISTICAL METHODS APPLIED IN THE ANALYSIS OF RAW WATER QUALITY FROM THE PEDRO MOURA RESERVOIR, IN BELO JARDIM, PE

Silvanete Severino da Silva[1], Tereza Amélia Lopes Cizenando Guedes Rocha[2], Jorge Manuel G. P. Isidoro[3], Rafael Oliveira Batista[4]

[1]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/UABJ), Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;
[2]Doutoranda em Manejo de Solo e Água pela UFERSA, Docente do IFPA, Campus Parauapebas-PA, Brasil, Tereza.Cizenando@ifpa.edu.br, 0000-0003-2926-4109;
[3]Doutorado em Engenharia Civil, Professor Coordenador no Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, Investigador do Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Faro, Portugal, jisidoro@ualg.pt, 0000-0002-6901-5652;
[4]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Brasil, rafaelbatista@ufersa.edu.br, 0000-0002-3083-6808[4].

Eixo Temático III – Tecnologias para Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

RESUMO

A gestão da qualidade da água (QA) para abastecimento público é um desafio central em regiões semiáridas, devido à escassez hídrica e à irregularidade pluvial. Objetivou-se com este estudo avaliar a QA bruta do reservatório Pedro Moura, em Belo Jardim, Penambuco, Brasil, utilizando métodos estatísticos multivariados para identificar os principais fatores que influenciam sua dinâmica temporal e fornecer subsídios técnicos para a gestão hídrica sustentável. A pesquisa utilizou dados secundários de monitoramento da água bruta, abrangendo cinco anos (2020–2024), e incluiu análises de parâmetros físico-químicos, nutrientes, metais e cianobactérias. A análise estatística envolveu a Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* - PCA) e Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*), permitindo avaliar a variabilidade temporal e identificar grupos de anos com perfis limnológicos semelhantes. A PCA foi eficaz na redução da dimensionalidade, com os três primeiros componentes explicando 93,95% da variância. O Componente 1, evidenciando o gradiente entre mineralização e aporte de metais e matéria orgânica, enquanto os Componentes 2 e 3 destacaram a influência do pH, nutrientes e fluoreto. A análise de agrupamento revelou dois clusters distintos, refletindo a influência dos regimes de precipitação pluvial sobre a QA. Os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da gestão adaptativa para garantir a sustentabilidade do abastecimento público em condições de variabilidade climática do semiárido pernambucano.

Palavras-chave: Recursos hídricos, saneamento básico, semiárido pernambucano.

RESÚMEN
La gestión de la calidad del agua (QA) para el abastecimiento público es un reto fundamental en las regiones semiáridas, debido a la escasez de agua y a la irregularidad de las precipitaciones. El objetivo de este estudio fue evaluar la QA bruta del embalse Pedro Moura, en Belo Jardim, Pernambuco, Brasil, utilizando métodos estadísticos multivariados para identificar los principales factores que influyen en su dinámica temporal y proporcionar subsidios técnicos para la gestión sostenible del agua. La investigación utilizó datos secundarios de monitoreo del agua bruta, que abarcaron cinco años (2020-2024), e incluyó análisis de parámetros físico-químicos, nutrientes, metales y cianobacterias. El análisis estadístico incluyó el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis de conglomerados, lo que permitió evaluar la variabilidad temporal e identificar grupos de años con perfiles limnológicos similares. El PCA fue eficaz en la reducción de la dimensionalidad, ya que los tres primeros componentes explicaron el 93,95 % de la varianza. El componente 1 puso de manifiesto el gradiente entre la mineralización y el aporte de metales y materia orgánica, mientras que los componentes 2 y 3 destacaron la influencia del pH, los nutrientes y el fluoruro. El análisis de agrupamiento reveló dos clústeres distintos, lo que refleja la influencia de los regímenes de precipitaciones sobre la calidad del agua. Los resultados refuerzan la importancia del monitoreo continuo y la gestión adaptativa para garantizar la sostenibilidad del abastecimiento público en condiciones de variabilidad climática del semiárido de Pernambuco.
Palabras clave: Recursos hídricos, saneamiento básico, región semiárida de Pernambuco.

ABSTRACT
Water quality (WQ) management for public supply is a key challenge in semi-arid regions due to water scarcity and irregular rainfall. The objective of this study was to evaluate the raw WQ of the Pedro Moura reservoir in Belo Jardim, Pernambuco, Brazil, using multivariate statistical methods to identify the main factors that influence its temporal dynamics and provide technical support for sustainable water management. The research used secondary raw water monitoring data covering five years (2020–2024) and included analyses of physical-chemical parameters, nutrients, metals, and cyanobacteria. The statistical analysis involved Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis, allowing the evaluation of temporal variability and the identification of groups of years with similar limnological profiles. PCA was effective in reducing dimensionality, with the first three components explaining 93.95% of the variance. Component 1 highlighted the gradient between mineralization and the input of metals and organic matter, while Components 2 and 3 highlighted the influence of pH, nutrients, and fluoride. Cluster analysis revealed two distinct clusters, reflecting the influence of rainfall regimes on water quality. The results reinforce the importance of continuous monitoring and adaptive management to ensure the sustainability of public water supply under conditions of climate variability in the Pernambuco semi-arid region.
Keywords: Water resources, basic sanitation, Pernambuco semiarid region.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água (QA) para abastecimento público é uma preocupação central, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada e irregular. O reservatório Pedro Moura, em Belo Jardim, Pernambuco, constitui uma importante fonte

regional, mas sua água bruta sofre influências antrópicas e naturais, decorrentes do lançamento de efluentes, alteração ao uso do solo, fenômenos de eutrofização e também de um regime hidrológico com elevada variabilidade, podendo comprometer o tratamento da água e a sustentabilidade do abastecimento.

Estudos sobre QA realizados nas regiões semiáridas do Brasil têm evidenciado a ocorrência de salinização secundária e seus impactos no solo, bem como avalições da QA de rios em municípios no Estado da Bahia, onde à pressão antrópica sobre os mananciais que intensifica processos de salinização, eutrofização e mobilização de metais (Pessoa; Orrico; Lordêlo, 2018; Saraiva Filho e Bonilla, 2022). Trabalhos de autores brasileiros que adotam técnicas estatísticas multivariadas demonstram a eficácia de abordagens como PCA e análise de agrupamentos na avaliação da QA. Por exemplo, na Bacia do Baixo Acaraú (Ceará), a PCA identificou quatro componentes responsáveis por 82,1% da variância da qualidade superficial (Silva et al., 2007). Da mesma forma, em microbacias do semiárido potiguar, PCA e análise fatorial revelaram os principais atributos que determinam a aptidão das águas para irrigação (Oliveira Júnior et al., 2021). Essas evidências reforçam o valor metodológico da estatística multivariada para ajudar a decifrar os processos que afetam mananciais em regiões áridas e semiáridas.

Nesse contexto, objetivou-se com presente estudo avaliar a QA bruta do reservatório Pedro Moura, em Belo Jardim–PE, por meio da aplicação de métodos estatísticos multivariados, buscando identificar os principais fatores que influenciam sua dinâmica temporal e fornecer subsídios técnicos para a gestão hídrica sustentável no semiárido pernambucano.

2. METODOLOGIA

O estudo é observacional, retrospectivo e quantitativo, com delineamento analítico-descritivo, utilizando dados secundários de monitoramento da água bruta do reservatório Pedro Moura, em Belo Jardim–PE. A cidade, com 79.507 habitantes (IBGE, 2022), é abastecida parcialmente por esse reservatório, que integra a Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, uma das mais importantes de Pernambuco, com 3.447 km² de área e 320 km de extensão.

Os dados de QA foram fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), abrangendo uma série temporal de cinco anos, de 2020 a 2024. As análises laboratoriais que deram origem a esses dados seguiram os procedimentos padronizados

descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2023).

As análises de qualidade da água (QA) contemplaram parâmetros organolépticos e físico-químicos (pH, turbidez, cor aparente e condutividade), íons majoritários (alcalinidade, cálcio, magnésio, cloretos e sulfatos), nutrientes (amónia, nitrito, nitrato e fósforo) e micropoluentes inorgânicos (fluoreto). Como parâmetro biológico, foi analisado o total de cianobactérias. Esses parâmetros foram selecionados por sua relevância no diagnóstico da QA bruta, abrangendo desde indicadores básicos de potabilidade até contaminantes específicos que podem comprometer a eficiência dos processos de tratamento e a segurança do abastecimento. A utilização de métodos padronizados garante confiabilidade, rastreabilidade e comparabilidade dos resultados, possibilitando uma avaliação consistente do manancial estudado.

Foram avaliados os parâmetros metais (alumínio, bário, boro, cobre, ferro, manganês e zinco) monitorados no reservatório, cuja presença pode estar associada a processos geogênicos, ou a fontes antrópicas, como atividades agrícolas e descargas industriais.

As amostras foram submetidas à digestão ácida nítrica (SM 3030), seguida da determinação elementar por ICP-OES (SM 3120) ou ICP-MS (SM 3125), técnicas de alta sensibilidade para quantificação multielementar. Em alguns casos, o ferro total também foi analisado por espectrofotometria com fenantrolina (SM 3500-Fe B).

Os resultados foram expressos em µg/L ou mg/L, com os respectivos limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) documentados para assegurar a confiabilidade e a rastreabilidade dos dados obtidos. Para a avaliação da comunidade de cianobactérias, os gêneros foram identificados e quantificados seguindo o método de contagem de fitoplâncton descrito no Standard Methods (SM 10200).

As amostras foram inicialmente preservadas com lugol acético e, em seguida, submetidas à sedimentação em câmara de Utermöhl por um período de 10 a 24 horas. A contagem das células foi realizada em microscopia invertida com aumento mínimo de 400×. O total de cianobactérias foi calculado pela somatória das densidades de todos os gêneros identificados e quantificados.

Foram analisadas 22 variáveis em um intervalo de 5 anos (2020-2024). Os dados foram submetidos à análise de agrupamento, realizando análise de classificação utilizando a distância euclidiana, como coeficiente de similaridade, e o algoritmo *Ward's method*, como método de

agrupamento, para observação da correlação entre as variáveis estudadas. Em seguida, os dados foram então analisados por PCA, sendo mantidos apenas três dos quatro componentes com autovalores > 1 e variância acumulada ≥ 70% (Rencher; Christensen, 2012). Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa Statistica® 14 (StatSoft, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da PCA ao conjunto de dados do reservatório demonstrou-se eficaz para sintetizar a variabilidade observada, já que os dois primeiros componentes explicaram 77,35% da variância total em relação a PCA 1-2 (Figura 1A). Esse valor está em consonância com outros estudos brasileiros que utilizaram PCA em análises de QA, nos quais geralmente os dois ou três primeiros componentes explicam entre 60% e 85% da variância (Souza et al., 2020). Estudo semelhante também foi realizado no reservatório Tanque Grande, no município de Guarulhos-SP, em que cinco componentes responsáveis por aproximadamente 76–82% da variância permitiram identificar os parâmetros mais influentes em períodos seco e chuvoso (Ikejiri, 2017). Assim, confirma-se a adequação da técnica para reduzir a dimensionalidade e destacar os fatores determinantes na QA do sistema aquático analisado.

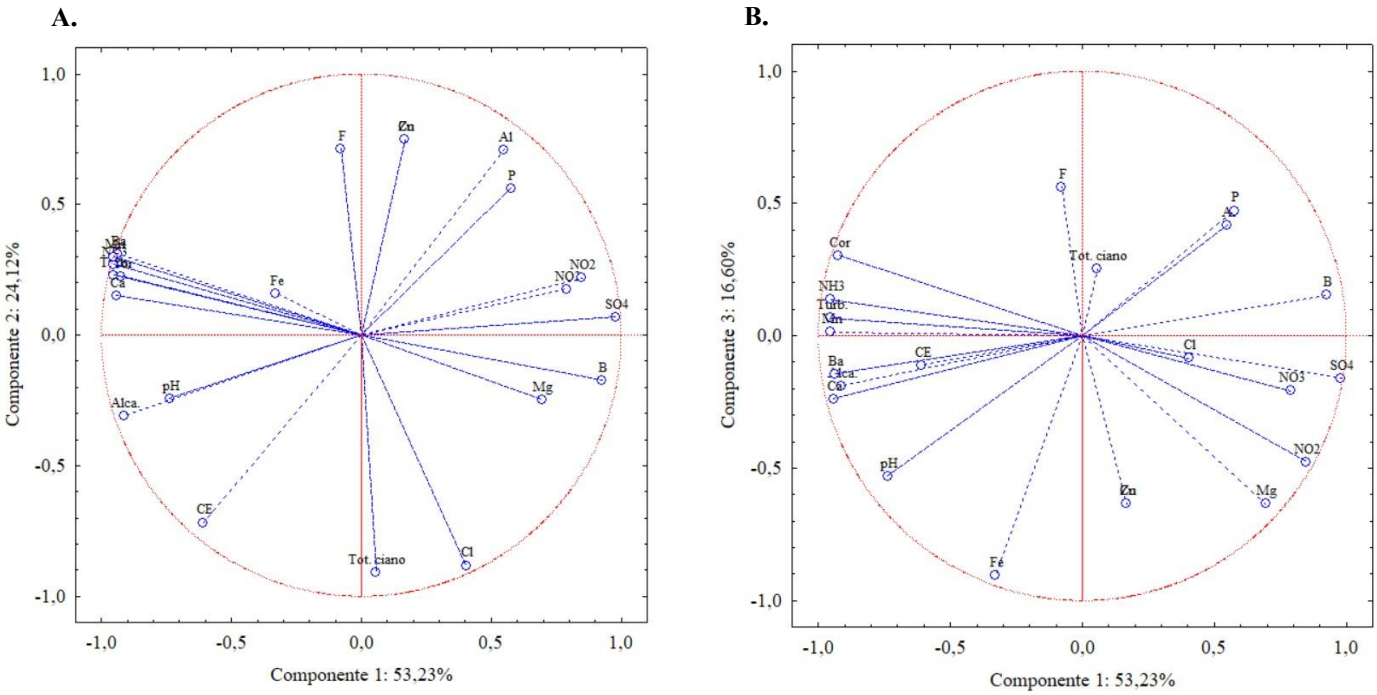


Figura 1 – Análise de Componentes Principais (PCA): PCA 1-2 (A); e PCA 1-3 (B).

Nota: Alca. – alcalinidade; Al^{3+} – alumínio; Ba – bário; B – boro; Ca^{2+} - Cálcio; Cl^{-} - Cloreto; Cu^{2+} - Cobre; CE - Condutividade elétrica; Cor – cor aparente; Fe^{+} - Ferro; F^{-} – fluoreto; P - Fósforo; Mg^{2+} - Magnésio; Mn^{+} -

Manganês; NH_3 – amônia; NO_3^- – nitrato; NO_2^- – nitrito; pH - Potencial hidrogeniônico; SO_4^{2-} – sulfato; Tot. ciano – total de cianobactérias; Turb. – turbidez; Zn^{2+}- Zinco.
Fonte: Autoria própria (2025).

O Componente 1 (PC1), responsável por 53,23% da variância, evidenciou um gradiente claro entre variáveis de mineralização e salinidade (SO_4, NO_2^-, B, Mg^{2+}, Cl^- e NO_3^-) e variáveis associadas a condições redutoras, aporte de metais e matéria orgânica (Ba, Turbidez, Mn^+, Ca^{2+}, NH_3, Cor e Alcalinidade). Esse padrão sugere que a principal variação da QA está relacionada à interação entre processos de mineralização geogênica, como dissolução de minerais e evapoconcentração típicos de regiões semiáridas, e processos de mobilização redutora, que favorecem a liberação de metais e aumentam a carga orgânica. Resultados semelhantes foram observados por Hammoumi et al. (2024) em águas superficiais do Canal de Nador, Marrocos, onde a PCA destacou que o componente principal agrupou variáveis relacionadas tanto à mineralização natural quanto à presença de metais e nutrientes associados a processos redutores e poluição difusa. Tal convergência reforça que a PCA é eficiente para identificar gradientes hidrogeoquímicos que refletem a interação entre processos geogênicos e de mobilização redutora, permitindo compreender a dinâmica da QA em diferentes contextos geográficos e climáticos.

O Componente 2 (PC2), que explicou 24,12% da variância, apresentou correlações positivas com F^-, Zn^{2+}, Al^{3+} e P e negativas com pH, CE e cianobactérias totais, apontando para um fator limnológico distinto relacionado à dinâmica de nutrientes e ao balanço ácido-básico. A literatura confirma a relevância do fósforo como nutriente-chave no desencadeamento de florações de cianobactérias, cuja abundância também depende de condições físico-químicas, como condutividade e pH (Zhang et al., 2024). A correlação negativa com cianobactérias sugere que, no reservatório estudado, o equilíbrio entre nutrientes e acidez desempenha papel crucial na regulação da comunidade fitoplanctônica.

Por sua vez, o Componente 3 (PC3), responsável por 16,60% da variância, com 69,83 do total (Figura 1B), mostrou correlação positiva com F^- e negativa com Fe^+ e pH, indicando um processo independente que pode estar associado à mobilização diferencial de elementos-traço e à solubilidade influenciada por variações de pH. Estudos apontam que a especiação de metais como ferro está fortemente condicionada ao regime redox e ao pH, podendo gerar variações significativas mesmo em escalas locais (Zhu et al., 2018).

Já a análise de agrupamento hierárquica foi utilizada como ferramenta estatística para avaliar a similaridade temporal da QA no reservatório Pedro Moura, resultando na formação de dois agrupamentos distintos (Figura 2). O primeiro *cluster* (Grupo I) reuniu os anos de 2020, 2021 e 2024, enquanto o segundo *cluster* (Grupo II) foi composto por 2022 e 2023. Essa segregação temporal evidencia a influência de diferentes regimes hidrológicos sobre os processos limnológicos do reservatório, destacando a interação entre variabilidade climática e QA (Wang et al., 2024), conforme apontado em estudos semelhantes em regiões semiáridas (Oliveira Júnior et al., 2022).

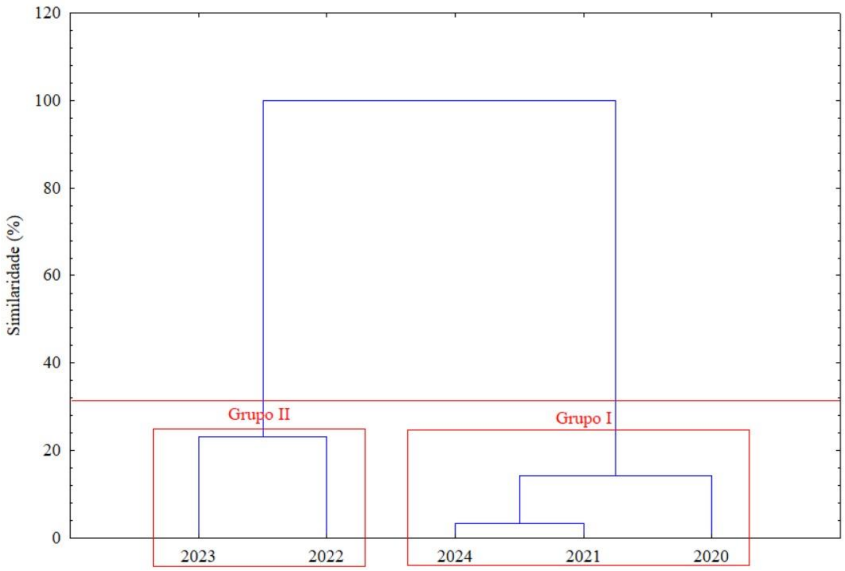


Figura 2 - Dendrograma obtido pela análise de agrupamento.
Fonte: Autoria própria (2025).

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca, onde se insere o reservatório, está localizada no Sertão Pernambucano, no município de Arcoverde, a cerca de 95 km de Belo Jardim. Essa região, marcada por transição climática, apresenta elevada variabilidade hidrológica e forte sensibilidade aos ciclos de precipitação pluvial. Durante o período analisado, as médias pluviométricas registradas em Belo Jardim foram: 2020 (484 mm), 2021 (680 mm), 2022 (723 mm), 2023 (693,4 mm) e 2024 (652,8 mm), evidenciando que quatro dos cinco anos avaliados superaram a média histórica da região (< 600 mm) (APAC, 2025). Isso sugere que os achados podem refletir padrões de QA sob condições climáticas alteradas, um aspecto crítico para o planejamento da gestão hídrica no semiárido, face às mudanças climáticas.

Em relação ao Grupo II (2022 e 2023), a coesão observada entre os dois anos mais chuvosos do período (723 mm e 693,4 mm, respectivamente) sugere que a QA foi fortemente influenciada por eventos de precipitação pluvial extrema. A pluviosidade excepcional pode ter provocado um aporte expressivo de material alóctone por meio do escoamento superficial, incluindo sedimentos, nutrientes e matéria orgânica, resultando em alterações nos parâmetros de turbidez, condutividade e concentração de compostos dissolvidos. A semelhança entre os perfis de 2022 e 2023 indica a persistência de impactos limnológicos prolongados, como modificações na circulação da coluna d'água e o favorecimento de determinados grupos de organismos. Esses resultados vão ao encontro do que foi reportado por Almeida (2021) e Pereira et al. (2021), os quais destacaram que a ocorrência de eventos pluviométricos intensos em regiões semiáridas intensifica o aporte de sedimentos e nutrientes aos reservatórios, promovendo alterações significativas na QA e evidenciando o papel central da precipitação pluvial na configuração das características limnológicas.

Por outro lado, o Grupo I (2020, 2021 e 2024) refletiu condições de QA associadas a contextos de precipitação pluvial mista. A formação desse agrupamento, que inclui um ano seco (2020) e anos relativamente úmidos (2021 e 2024), evidencia que o volume total de chuvas, por si só, não constitui o fator exclusivo na determinação da QA. A similaridade entre esses anos sugere que o reservatório apresenta um perfil limnológico mais próximo de suas condições médias de operação, no qual as respostas a períodos de estiagem (484 mm em 2020) ou de pluviosidade moderada (652,8 mm em 2024) são menos pronunciadas do que aquelas provocadas por eventos extremos. Nesse sentido, os resultados corroboram as considerações de Moreira et al. (2023), ao reforçarem que a magnitude da precipitação pluvial exerce papel central na configuração da QA, mas seus efeitos são modulados pelo contexto hidrológico e pela resiliência do sistema aquático.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da QA do Reservatório Pedro Moura ao longo de cinco anos demonstrou que as suas condições limnológicas são governadas por uma complexa, mas compreensível, interação de fatores ambientais.

A PCA se mostrou uma ferramenta essencial, revelando que a variabilidade da QA é regida por múltiplos processos independentes. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, o Componente 1, responsável por mais da metade da variância, descreveu um claro

gradiente entre a mineralização e o aporte de metais e matéria orgânica. Além disso, os Componentes 2 e 3 revelaram a influência de fatores secundários cruciais, como a dinâmica do pH e a concentração de fluoreto e de determinados nutrientes. A expressiva variância acumulada pelos três primeiros componentes (93,95%) confirma que esses processos são os principais determinantes da QA no reservatório. Em complemento, a análise de agrupamento evidenciou que a QA não é uniforme ao longo do tempo, mas varia em resposta direta aos ciclos climáticos da região do Semiárido. A formação de grupos distintos entre os anos reflete a resposta do reservatório a diferentes regimes de precipitação pluvial, seja em anos de seca ou de eventos pluviométricos extremos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. G. de. *Impactos da eutrofização na disponibilidade hídrica de reservatórios no semiárido brasileiro*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62456. Acesso em: 7 set. 2025.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. Dados pluviométricos do estado de Pernambuco: média anual de precipitação. Recife: APAC, 2025. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br. Acesso em: 7 set. 2025.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24. ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF, 2023.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA. Dados de monitoramento de água bruta do Reservatório Pedro Moura (Belo Jardim–PE), 2020–2024. Dados internos cedidos pela instituição. Recife: COMPESA, [s.d.].

HAMMOUMI, D.; AL-AIZARI, H. S.; ALARAIDH, I. A.; OKLA, M. K.; ASSAL, M. E.; AL-AIZARI, A. R.; MOSHAB, M. S.; CHAKIRI, S.; BEJJAJI, Z. Seasonal variations and assessment of surface water quality using Water Quality Index (WQI) and Principal Component Analysis (PCA): a case study. *Sustainability*, v. 16, n. 13, p. 5644, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16135644.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Demográfico 2022: População e Domicílios – Primeiros Resultados. Belo Jardim (PE)*. Disponível em: <ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Populacao_e_domicilios_Primeiros_resultados/Resultados_da_2a_apuracao_20231027/POP2022_Municipios_Primeiros_Resultados_20231222.pdf>. Acesso em: 7 set. 2025.

IKEJIRI, M. S. *Aplicação da análise de componentes principais na avaliação da qualidade da água do reservatório Tanque Grande, Guarulhos – SP*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) – Universidade Brasil, São Paulo, SP, 2017. Disponível em: https://repositorioacademico.universidadebrasil.edu.br/items/31ce26d4-53d4-4f35-b747-4c63cf89a313/full. Acesso em: 7 set. 2025.

MOREIRA, C. V. M.; COSTA, M. R. A. da; BECKER, V. *Impacts of extreme precipitation events in water quality: a scientometric analysis in global scale = Impactos de eventos extremos de precipitação na*

qualidade da água: uma análise cienciométrica em escala global. *Acta Limnol. Bras. (Online)*, v. 35, e17, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X0223. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X0223. Acesso em: 7 set. 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. N.; LIMA, V. L. A.; LIMA, V. G. S.; OLIVEIRA, A. M. Multivariate statistics applied to irrigation water quality data of watershed in the semiarid region of Brazil. *Revista Caatinga*, v. 34, n. 2, p. 432–443, 2021. Disponível em: https://bibliotecasemiaridos.ufv.br/handle/123456789/3066. Acesso em: 7 set. 2025.

PEREIRA, E. C. B.; LOPES, F. B.; ALMEIDA, A. M. M. D.; ANDRADE, E. M. D.; LOPES, J. F. B. Sedimentos e nutrientes aportados a um reservatório de pequeno porte no Semiárido tropical. *Revista Ciência Agronômica*, v. 52, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rca/a/WsJTf3hQbFrstwbjnvnqbws/abstract/?lang=pt. Acesso em: 7 set. 2025.

PESSOA, J. O.; ORRICO, S. R. M.; LORDÊLO, M. S. Qualidade da água de rios em cidades do Estado da Bahia. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 23, n. 4, jul-ago. 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-41522018166513.

RENCHER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. *Methods of multivariate analysis*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

SARAIVA FILHO, D. E.; BONILLA, O. H. Salinização secundária no semiárido e seus impactos no solo, na agricultura e cultivo das plantas: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 8, e49011831298, 2022.

SILVA, E. B.; MOURA, A. D. S.; CAVALCANTE, A. L. G.; BEZERRA, F. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, p. 722–729, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/eagri/a/tF5D7Q4vqZRwh8NQnkbmLyn/. Acesso em: 7 set. 2025.

SOUZA, A. T.; CARNEIRO, L. A. T. X.; SILVA JÚNIOR, O. P.; CARVALHO, S. L.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Assessment of water quality using principal component analysis: a case study of the Marrecas stream basin in Brazil. *Environmental Technology*, v. 41, n. 5, p. 1–12, 2020. DOI: <10.1080/09593330.2020.1754922>.

STATSOFT. *Statistica® 14: data analysis software system*. Tulsa: StatSoft, Inc., 2020. Disponível em: https://www.statsoft.com. Acesso em: 7 set. 2025.

WANG, H.; LI, Y.; LI, Y.; LIU, H.; WANG, W.; ZHANG, P.; FOHRER, N.; LI, B.-L.; ZHANG, Y. Phytoplankton communities' response to thermal stratification and changing environmental conditions in a deep-water reservoir: stochastic and deterministic processes. *Sustainability*, v. 16, n. 7, p. 3058, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16073058.

ZHANG, W. et al. The eutrophication-related index of drinking water sources based on the oxidation-reduction potential. *Bioresources*, v. 19, n. 3, p. 4941–4959, 2024. Disponível em: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/the-eutrophication-related-index-of-drinking-water-sources-based-on-the-oxidation-reduction-potential/. Acesso em: 7 set. 2025.

ZHU, Y.; HU, X.; PAN, D.; HAN, H.; LIN, M.; LU, Y.; WANG, C.; ZHU, R. Speciation determination of iron and its spatial and seasonal distribution in coastal river. *Scientific Reports*, v. 8, n. 2576, 2018. DOI: <10.1038/s41598-018-20991-0>.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037425

MONITORAMENTO DO TEOR DE CLORO RESIDUAL LIVRE DA ÁGUA QUE ABASTECE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO.

MONITOREO DEL CONTENIDO DE CLORO RESIDUAL LIBRE DEL AGUA QUE ABASTECE A UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA

MONITORING OF THE FREE RESIDUAL CHLORINE CONTENT IN THE WATER SUPPLYING AN EDUCATIONAL INSTITUTION.

Isabelle Maria Diniz Pereira[1], Iarley Souza Bezarra [2],Livia Vitória Dantas Domigos[3] e Francisca Adriana Fernandes [4].

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE, Juazeiro do Norte,Brasil, diniz.isabelle07@aluno.ifce.edu.br,0009-0007-00,54-3127;
[2]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE, Brasil, iarley.souza62@aluno.ifce.edu.br, 0009-0009-2702-2633;
[3]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, vitoria.dantas08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0007-1959-8136;
[4]Mestre,Técnica em Laboratório,IFCE,Juazeiro do Norte-CE, Brasil, adriana.fernandes@ifce.edu.br, 0000-0003-2411-411X;

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el abastecimiento de agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo de aguas para consumo humano.

RESUMO

O presente estudo apresenta a experiência de monitoramento do teor de cloro residual livre (CRL) na água tratada por meio de dispositivo clorador de pastilha, instalado no sistema de abastecimento de uma instituição de ensino localizada em Juazeiro do Norte, Ceará. O objetivo foi avaliar se os teores de cloro residual livre (CRL), obtidos a partir do dispositivo clorador de pastilha instalado no sistema de abastecimento da instituição de ensino, atendem aos limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, assegurando a eficácia da desinfecção e a qualidade da água para consumo humano. A instituição é abastecida por uma Solução Alternativa Coletiva (SAC), com captação em poço profundo e tratamento por cloração simples com pastilhas de ácido tricloroisocianúrico, utilizando um clorador adaptado do modelo da EMBRAPA. O monitoramento foi realizado diariamente, entre novembro de 2024 a março de 2025, em três pontos distintos: saída do tratamento (cisternas), início de rede e ponta de rede. As análises seguiram metodologia baseada no uso de espectrofotômetro e curva de calibração. Os resultados indicaram que o teor de CRL na cisterna variou entre 0,00 e 1,8 mg/L, com média de 0,36 mg/L, valor inferior ao mínimo recomendado de 0,5 mg/L. Já o início e a ponta de rede apresentaram médias de 0,38 mg/L e 0,46 mg/L, respectivamente, atendendo ao mínimo exigido de 0,2 mg/L para pontos de consumo. O comportamento observado demonstra que a rede de distribuição, por ser curta, mantém níveis mais constantes de cloro nos pontos finais, enquanto a baixa concentração na cisterna pode estar relacionada à dissolução parcial das pastilhas ou à metodologia de coleta

pouco representativa. Entre os desafios enfrentados, destacam-se a necessidade de ajustes na dosagem de cloro, a reposição regular das pastilhas e a adequação do ponto de coleta na saída da cisterna. Os resultados parciais apontam que, apesar das oscilações no CRL na cisterna, a qualidade da água nos pontos de consumo atendeu à legislação vigente, reforçando a importância do monitoramento contínuo. Recomenda-se a instalação de um registro para coleta na saída da cisterna, manutenção periódica do sistema e regulagem dos registros para melhor controle da dosagem. A experiência demonstra a viabilidade do uso de dispositivos de cloração simples e de baixo custo para assegurar a potabilidade da água em sistemas alternativos.

Palavras-chave: Cloro residual livre, solução alternativa coletiva, desinfecção, potabilidade, monitoramento

RESÚMEN

El presente estudio presenta la experiencia de monitoreo del contenido de cloro residual libre (CRL) en el agua tratada mediante un dispositivo clorador de pastilla, instalado en el sistema de abastecimiento de una institución educativa ubicada en Juazeiro do Norte, Ceará. El objetivo fue evaluar si los niveles de cloro residual libre (CRL), obtenidos a partir del dispositivo clorador de pastilla instalado en el sistema de abastecimiento de la institución educativa, cumplen con los límites establecidos por la Portaria nº 888/2021 del Ministerio de Salud de Brasil, asegurando la eficacia de la desinfección y la calidad del agua para el consumo humano. La institución es abastecida por una Solución Alternativa Colectiva (SAC), con captación en pozo profundo y tratamiento mediante cloración simple con pastillas de ácido tricloroisocianúrico, utilizando un clorador adaptado del modelo de EMBRAPA. El monitoreo se realizó diariamente, entre noviembre de 2024 y marzo de 2025, en tres puntos distintos: salida del tratamiento (cisternas), inicio de red y extremo de red. Los análisis siguieron una metodología basada en el uso de espectrofotómetro y curva de calibración. Los resultados indicaron que el nivel de CRL en la cisterna varió entre 0,00 y 1,8 mg/L, con un promedio de 0,36 mg/L, valor inferior al mínimo recomendado de 0,5 mg/L. En cambio, el inicio y el extremo de red presentaron promedios de 0,38 mg/L y 0,46 mg/L, respectivamente, cumpliendo con el mínimo exigido de 0,2 mg/L para puntos de consumo. El comportamiento observado demuestra que la red de distribución, al ser corta, mantiene niveles más constantes de cloro en los puntos finales, mientras que la baja concentración en la cisterna puede estar relacionada con la disolución parcial de las pastillas o con una metodología de muestreo poco representativa. Entre los desafíos enfrentados, se destacan la necesidad de ajustes en la dosificación de cloro, la reposición regular de las pastillas y la adecuación del punto de muestreo en la salida de la cisterna. Los resultados parciales señalan que, a pesar de las oscilaciones del CRL en la cisterna, la calidad del agua en los puntos de consumo cumplió con la legislación vigente, reforzando la importancia del monitoreo continuo. Se recomienda la instalación de una válvula de muestreo en la salida de la cisterna, el mantenimiento periódico del sistema y la regulación de las válvulas para un mejor control de la dosificación. La experiencia demuestra la viabilidad del uso de dispositivos de cloración simples y de bajo costo para asegurar la potabilidad del agua en sistemas alternativos.

Palabras clave: Cloro residual libre, solución alternativa colectiva, desinfección, potabilidad, monitoreo

ABSTRACT

This study presents the monitoring experience of free residual chlorine (FRC) levels in treated water using a tablet chlorinator device installed in the water supply system of an educational institution located in Juazeiro do Norte, Ceará, Brazil. The objective was to evaluate whether the levels of free residual chlorine (FRC), obtained from the tablet chlorinator device installed in the institution's supply system, comply with the limits established by Ordinance No. 888/2021 of the Brazilian Ministry of Health, thus ensuring the effectiveness of disinfection and the quality of water for human consumption. The institution is supplied by a Collective Alternative Solution (SAC), with water drawn from a deep well and treated through simple chlorination using trichloroisocyanuric acid tablets, with a chlorinator adapted from the EMBRAPA model. Monitoring was carried out daily, from November 2024 to March 2025, at three different points: treatment outlet (cisterns), network entry, and network endpoint. Analyses followed a methodology based on spectrophotometer use and calibration curve. Results indicated that FRC levels in the cistern ranged between 0.00 and 1.8 mg/L, with an average of 0.36 mg/L, below the recommended minimum of 0.5 mg/L. On the other hand, the network entry and endpoint showed averages of 0.38 mg/L and 0.46 mg/L, respectively, meeting the minimum requirement of 0.2 mg/L for consumption points. The observed behavior demonstrates that the distribution network, being short, maintains more stable chlorine levels at the final points, while the low concentration in the cistern may be related to partial dissolution of the tablets or to a sampling methodology that was not fully representative. Among the challenges faced, the need for dosage adjustments, regular tablet replacement, and adequacy of the sampling point at the cistern outlet stand out. Partial results indicate that, despite oscillations in FRC at the cistern, water quality at consumption points complied with current legislation, reinforcing the importance of continuous monitoring. It is recommended to install a sampling valve at the cistern outlet, carry out periodic system maintenance, and adjust the valves for better dosage control. The experience demonstrates the feasibility of using simple and low-cost chlorination devices to ensure water potability in alternative supply systems.

Keywords: Free residual chlorine, collective alternative solution, disinfection, potability, monitoring

INTRODUÇÃO

Embora exista uma legislação específica para o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, muitos sistemas de abastecimento coletivo ainda funcionam sem nenhum tratamento, ou até mesmo com tratamento, mas sem o controle do teor de desinfetante, implicando em prejuízos à saúde da população consumidora pela falta ou excesso de desinfetante.

Existem diferentes modalidades de abastecimento de água para consumo humano: o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), com rede de distribuição, a Solução Alternativa

Coletiva (SAC), sem rede de distribuição, e a Solução Alternativa Individual (SAI), destinada a uma única residência (Brasil, 2021). A SAC, utilizada em pequenas comunidades, empresas e instituições de ensino, é mais viável economicamente e permite abastecimento próprio, especialmente em locais afastados do SAA convencional (Furtado, 2021).

O tratamento da água para consumo humano tem como finalidade tornar a água bruta própria para o consumo humano, atendendo aos padrões de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde na Portaria de Potabilidade. Os padrões de qualidade da água possuem aspectos de ordem sanitária (organismos patogênicos e substâncias químicas que representam riscos à saúde) e organolépticos (por exemplo, cor, gosto e odor que podem causar rejeição ao consumo), (Dalssasso; Guedes, 2018). Com relação aos organismos patogênicos, inúmeros tipos podem ser encontrados na água por transmissão fecal-oral, tais como: Bactérias (Escherichia coli, Salmonellatyphii, víbrio cholerae, Yersinia enterocolitica), Vírus (Hepatipe A, Enterovírus , Rotavírus) e Protozoários (Entamoebahystolitica, Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum).

A desinfecção é uma operação unitária obrigatória nos sistemas de abastecimento de água para consumo humano, com a função de inativar os microrganismos patogênicos, evitando seu crescimento na rede de distribuição, podendo ser realizada por intermédio de agentes físicos ou químicos (Brasil, 2014). Dentre os agentes químicos, o cloro ou produtos à base de cloro são os agentes desinfetantes mais empregados, por serem de custo razoável, fácil disponibilidade, capacidade oxidante da matéria orgânica e inorgânica, efeito residual, ação germicida e sobretudo pela eficiência. De acordo com Libânio (2010) apud Brasil (2014), devido ao seu alto poder de oxidação, o cloro, também atua no controle de sabor e odor, na prevenção do crescimento de algas, remoção de ferro e manganês, remoção de cor e controle de biofilmes em tubulações.

A reação de compostos clorados com a água forma ácido hipocloroso e íon hipoclorito, cuja proporção depende do pH: valores ácidos favorecem o ácido hipocloroso, mais eficaz na desinfecção, enquanto pH acima de 7,5 favorece o hipoclorito. Esses dois compostos constituem o cloro residual livre, sendo recomendado manter o pH abaixo de 7 para maximizar a ação germicida. Em águas com compostos amoniacais, podem formar-se cloraminas, conhecidas como cloro residual combinado (Brasil, 2014).

A Portaria Nº 888 do Ministério da Saúde estabelece que toda água fornecida coletivamente, obrigatoriamente, deve passar por processo de desinfecção. No entanto, essa

não é uma realidade em muitos sistemas, principalmente se a água for oriunda de manancial subterrâneo, onde se espera uma qualidade maior da água bruta.

Como exemplo, tem-se a água do poço que abastece uma instituição de ensino, na qual, um estudo realizado pela instituição, através do Núcleo de Gestão Ambiental (NUGA), constatou que a água bruta, apesar de se encontrar dentro dos limites estabelecidos pela legislação quanto aos padrões de potabilidade, nos pontos de consumo (bebedouros e torneiras), houve contaminação microbiológica por Escherichia coli. Para solucionar esse problema, os pesquisadores do setor Recursos Hídricos do NUGA, implantaram um dispositivo de cloração de baixo custo e fácil instalação, sendo uma adaptação do modelo desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Nesse contexto, esta pesquisa vem trazer os resultados parciais do monitoramento do teor de cloro residual livre realizado nesta instituição de ensino, através do dispositivo clorador, visto ser essencial para o controle de dosagem de cloro necessária para atender à demanda de cloro requerida e assim garantir um residual de cloro que atenda aos padrões estabelecidos em legislação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O trabalho está sendo desenvolvido no município de Juazeiro do Norte, região sul do Estado do Ceará, o qual possui uma área de 248,832 Km² e população estimada de 286.120 habitantes, no último censo (IBGE, 2022). A área de estudo é uma instituição de ensino onde, atualmente, atende um público interno diário de aproximadamente 1.900 pessoas, incluindo alunos, servidores e terceirizados.

A instituição possui uma Solução Alternativa Coletiva (SAC) de abastecimento de água, operando com uma bomba submersa em poço profundo, a qual bombeia água para duas cisternas com volumes de 41m³ cada, de onde a água é bombeada para dois reservatórios elevados, neste ponto a água é distribuída por gravidade para diversos pontos da instituição, para diversos fins: consumo humano (restaurantes e bebedouros), manutenção de laboratórios (destiladores), descarga de vasos sanitários, limpeza em geral, piscina e irrigação dos jardins. A Figura 1 mostra uma vista aérea da área de estudo.

Figura 1. Vista aérea da área de estudo.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tratamento da água

A água da SAC é tratada com Cloro em pastilha, utilizando um dispositivo simples de cloração instalado logo após o poço, um modelo adaptado da Embrapa, fabricado em PVC, pelos pesquisadores do Núcleo de Gestão Ambiental (NUGA) do IFCE campus Juazeiro do Norte. A Figura 2 mostra a vista frontal do Clorador.

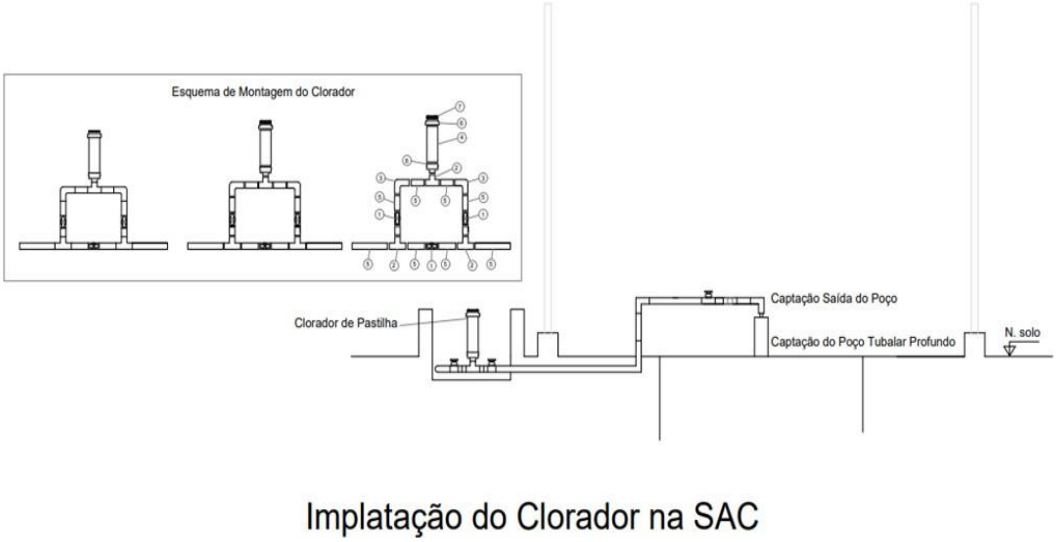


Figura 2. Vista frontal do clorador instalado na SAC.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Funcionamento do Clorador

O clorador de pastilha é composto por um conjunto de peças de cano e registros que tem o objetivo de forçar a passagem da água por um depósito de pastilhas de cloro. Ao passar pelo clorador, a água entra em contato com a pastilha de cloro e, em seguida, vai para um reservatório. Ao fechar um pouco o registro da rede principal, parte desta água é forçada a passar pela rede lateral, que possui o depósito de pastilhas de cloro. Os dois registros que existem nesta rede lateral servem para dosar a quantidade de cloro na água, de acordo com o uso em cada local (EMBRAPA, 2014). A Figura 3 mostra o dispositivo de cloração que foi instalado na SAC da instituição.

Figura 3. Clorador de Pastilha, modelo adaptado da Embrapa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Uso de Cloro em Pastilha

Estão sendo utilizadas Pastilhas de 20g de Ácido Tricloroisocianúrico, com teor de 58% de cloro ativo, o qual dissolve lentamente proporcionando cloração contínua por meio do clorador. As duas cisternas da SAC somam um volume de 82m³, portanto, a quantidade de pastilhas utilizadas no clorador, inicialmente, foi de 8 pastilhas, seguindo as especificações do fabricante da Pastilha, o qual diz que cada pastilha de cloro de 20g trata 10m³ de água. A reposição da pastilha de cloro no clorador está sendo feita conforme as medições de cloro na saída do tratamento e pontos de consumo, bem como após a dissolução total das pastilhas, o que leva um tempo aproximado de 7 dias.

Monitoramento do teor do Cloro Residual Livre (CRL)

Como medida de controle e prevenção, o monitoramento do CRL está sendo realizado, diariamente, em três pontos: Saída do tratamento (cisternas), início de rede e ponta de rede. Controle da manutenção mínima do teor de cloro de 0,5mg/L (cisternas) e 0,2mg/L (pontos de consumo), exigido pela legislação vigente.O padrão de potabilidade para o CRL deve ser a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição e nos pontos de consumo, conforme legislação vigente.Os resultados das medições de cloro estão sendo registrados em ficha de controle;

Procedimentos Analíticos

O método utilizado para a quantificação do teor de cloro residual livre é o descrito por Vieira et al. (2024), por meio do equipamento espectrofotométrico e curva de calibração e reagente ortotolidina.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos das análises diárias do CRL nos três pontos de amostragem (cisterna, início de rede e ponta de rede) estão apresentados na Tabela 1 e na figura 4, em um gráfico no formato box-plot. Esse gráfico sintetiza a variação, a mediana e a dispersão dos dados referentes ao período de cinco meses de monitoramento, totalizando 37 amostras em cada ponto, permitindo visualizar a variabilidade do CRL e a comparação entre os locais avaliados.

Tabela 1. Análise do Cloro com (Máximo,Mínimo, Média e Desvio Padrão) , 2025

Pontos Amostrais	Máximo	Mínimo	Médio	Desvio Padrão
Saída da Cisterna	1,8	0,0	0,36	0,45
Ínicio de Rede	1,38	0,0	0,38	0,34
Ponta de Rede	1,56	0,3	0,46	0,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

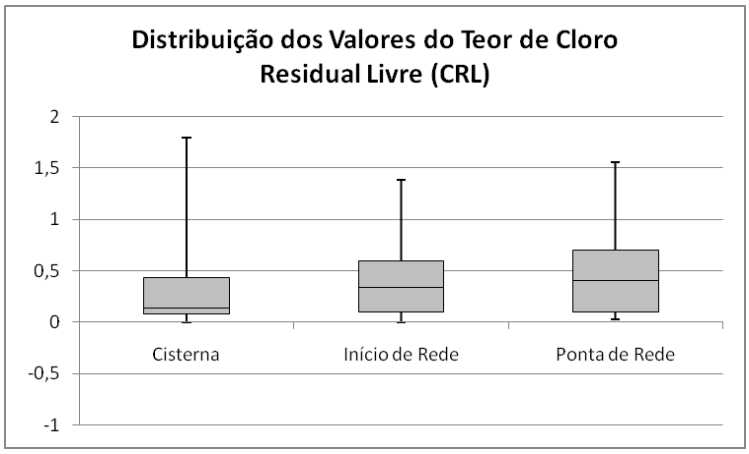


Figura 4. Gráfico (Box-plot) da distribuição dos dados do teor de CRL nos pontos de amostragem.
Fonte: Elaboração própria, 2025

O teor de CRL na cisterna variou entre 0,00 e 1,8 mg/L, com valor médio de 0,36 mg/L, muito abaixo do mínimo recomendado pela legislação na saída do tratamento. Isso pode ser atribuído a fatores como a dissolução parcial da pastilha de cloro, ou ainda pelo motivo do ponto de coleta da amostra, na cisterna, não acontecer de forma adequada, uma vez que não tem registro de saída da água, a amostra é coletada na superfície da cisterna, tornando uma amostra pouco representativa. O início da rede de distribuição apresentou variação entre 0,00 a 1,38 mg/L, com valor médio de 0,38 mg/L, valores similares aos obtidos na ponta de rede, variando de 0,03 a 1,56 e média de 0,46 mg/L. Por se tratar de um sistema sem rede de distribuição extensa, esse comportamento do teor de cloro com pouco consumo na rede de distribuição pode ser esperado, pois a distância entre o tratamento até o final da distribuição é tão pequena que não dá tempo de haver consumo considerável de cloro.

Análise dos resultados

Nos cinco meses de monitoramento, foram realizadas quatorze reposições de cloro em pastilhas, a saber nos dias 05, 08 e 27 de novembro, 02, 09 e 17 de dezembro , 22, 22 e 27 de janeiro, 24 e 27 de fevereiro, 10, 03 e 17 de março. As reposições variaram entre 8 a 13 pastilhas de 20g por vez. No gráfico da Figura 4, analisando o comportamento do CRL, observa-se maiores valores no teor de CRL no dia posterior a cada reposição, o que é esperado visto à maior quantidade de pastilhas de cloro, no clorador, em dissolução com a água. Observa-se também que o teor de CRL na cisterna é bem inferior em comparação ao teor de CRL no início e ponta de rede. Os pontos de consumo por estarem em uma rede de distribuição pequena, se presume que a permanência de cloro residual livre, bem como a formação dos derivados de cloro, se houver, sejam mais constantes, podendo ser mantido um residual de cloro por mais tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento mostra algumas inconsistências no teor CRL, principalmente no ponto da cisterna. Embora as concentrações de cloro na saída da cisterna estejam, na maioria das coletas, abaixo do valor mínimo de 0,5 mg/L, os valores nos pontos da rede indicaram

maior constância nos teores de CRL atendendo ao mínimo de 0,2 mg/L, conforme a legislação vigente. Para garantir um melhor desempenho na desinfecção da água com o cloro em pastilha, é recomendável que a dosagem de cloro seja ajustada para garantir níveis constantes de CRL na cisterna, bem como, deve ser instalado um registro para coleta de água na saída da cisterna. A realização de manutenção regular no sistema de cloração, incluindo a reposição de pastilhas, a regulagem da vazão para controlar a dosagem de cloro através dos registros do clorador, é crucial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Fundação Nacional de Saúde. 2014. *Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades: utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa.* Brasília: Ministério da Saúde.

Brasil. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministério. 2021. *Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021.* Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, 24 maio 2021, Seção 1, edição 96, p. 69. Disponível em: https://portal.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-31-8461562. Acesso em 05 ago. 2022.

Brasil. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde (org.). 2007. *Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água.* Brasília, DF: Ministério da Saúde.

Dalsasso, Ramon Lucas, e Tiago Lemos Guedes. *Manual de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água por filtração em margem*. Tubarão, SC: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 2018.

Embrapa. 2014. *Como Montar e Usar o Clorador de Pastilhas em Residências Rurais: cartilhas adaptadas ao letramento do produtor.* Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Furtado, Rafaela Alves. 2021. *Avaliação da Solução Alternativa Coletiva de Abastecimento de Água do IFCE Campus Juazeiro do Norte.* Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFCE Campus Juazeiro do Norte, Ceará.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Brasileiro de 2022. Juazeiro do Norte-Ceará*. Juazeiro do Norte, CE: IBGE, 2025. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama. Acesso em 15 de setembro de 2025.

Libânio, Marcelo. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. 3. ed. rev. e aum. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

Vieira, C. B. G., M. R. P. de Lima, Y. T. C. Santos, J. A. S. de Araújo, and F. A. F. Simões. 2024. "Proposta de Adaptação de Metodologia de Quantificação de Cloro Residual para análises em águas de abastecimento." In *Anais do I Congresso de Tecnologia e Sustentabilidade Ambiental (I CONTESA)*, UFCG Campus Pombal–Paraíba.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037459

MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA BRUTA NO RESERVATÓRIO PEDRO MOURA, BELO JARDIM–PE

MONITOREO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA BRUTA EN EL EMBALSE PEDRO MOURA, BELO JARDIM–PE

MONITORING OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF RAW WATER IN THE PEDRO MOURA RESERVOIR, BELO JARDIM–PE

Maria de Jesus Delmontes Neta[1], Maria Letícia da Silva[2], Gabriel Xavier de Holanda Cavalcanti[3] e Silvanete Severino da Silva[4].

[1]Bacharelanda em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, jesus.delmondes@ufrpe.br, 0009-0001-3575-8466;
[2]Bacharelanda em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil,leticia.silva2@ufrpe.br, 0009-0008-1365-8633;
[3]Bacharelando em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil,gabriel.xaviercavalcanti@ufrpe.br, 0009-0007-1019-5306;
[4]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811.

Eixo Temático III – Tecnologias para Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático III – Tecnologías de Abastecimiento de Agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo del agua para consumo humano.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a qualidade da água bruta do Reservatório Pedro Moura, em Belo Jardim–PE, por meio do monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos e metais totais, visando avaliar sua adequação aos padrões de potabilidade e subsidiar ações de gestão hídrica. Trata-se de um estudo observacional, retrospectivo e quantitativo, com abordagem analítico-descritiva, baseado em dados secundários fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), referentes ao período de 2020 a 2023. As análises foram realizadas segundo protocolos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24ª ed., 2023), contemplando indicadores físico-químicos (pH, turbidez, condutividade, cor aparente, alcalinidade, dureza, íons majoritários e nutrientes) e metais totais (Al, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, entre outros). Os resultados demonstraram conformidade para a maioria dos parâmetros, entretanto, foram identificadas não conformidades críticas: cor aparente persistentemente elevada, altos teores de cloretos, condutividade crescente, alumínio acima do limite em 2020–2021, ferro elevado em 2020 e manganês progressivamente acima do padrão a partir de 2021. Tais achados indicam pressões ambientais e potenciais aportes antrópicos, comprometendo a potabilidade e a eficiência do tratamento. Conclui-se que, embora a água do reservatório apresenta condições aceitáveis para diversos parâmetros, a água bruta não atende integralmente aos

padrões de potabilidade, sendo essencial o monitoramento e tratamento sistemático e ações de gestão voltadas à segurança hídrica regional.

Palavras-chave: Recursos hídricos, abastecimento de água, padrões de potabilidade

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar la calidad del agua bruta del Embalse Pedro Moura, en Belo Jardim–PE, mediante el monitoreo continuo de parámetros físico-químicos y metales totales, con el fin de evaluar su adecuación a los estándares de potabilidad y apoyar acciones de gestión hídrica. Se trata de un estudio observacional, retrospectivo y cuantitativo, con enfoque analítico-descriptivo, basado en datos secundarios proporcionados por la Compañía Pernambucana de Saneamiento (Compesa), correspondientes al período de 2020 a 2023. Los análisis se realizaron según protocolos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24ª ed., 2023), abarcando indicadores físico-químicos (pH, turbidez, conductividad, color aparente, alcalinidad, dureza, iones mayoritarios y nutrientes) y metales totales (Al, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, entre otros). Los resultados demostraron conformidad para la mayoría de los parámetros; sin embargo, se identificaron no conformidades críticas: color aparente persistentemente elevado, altos niveles de cloruros, conductividad creciente, aluminio por encima del límite en 2020–2021, hierro elevado en 2020 y manganeso progresivamente por encima del estándar a partir de 2021. Tales hallazgos indican presiones ambientales y posibles aportes antrópicos, comprometiendo la potabilidad y la eficiencia del tratamiento. Se concluye que, aunque el agua del embalse presenta condiciones aceptables para diversos parámetros, el agua bruta no cumple integralmente con los estándares de potabilidad, siendo esencial el monitoreo y tratamiento sistemático y acciones de gestión orientadas a la seguridad hídrica regional.

Palabras clave: Recursos hídricos, Abastecimiento de agua, Normas de potabilidad

ABSTRACT

This study aimed to analyze the quality of raw water from the Pedro Moura Reservoir, in Belo Jardim–PE, through continuous monitoring of physicochemical parameters and total metals, in order to assess its compliance with drinking water standards and to support water management actions. It is an observational, retrospective, and quantitative study with an analytical-descriptive approach, based on secondary data provided by the Pernambuco Water and Sanitation Company (Compesa), covering the period from 2020 to 2023. The analyses were conducted according to the protocols of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24th ed., 2023), encompassing physicochemical indicators (pH, turbidity, conductivity, apparent color, alkalinity, hardness, major ions, and nutrients) and total metals (Al, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, among others). The results showed compliance for most parameters; however, critical non-conformities were identified: persistently high apparent color, elevated chloride levels, increasing conductivity, aluminum above the limit in 2020–2021, high iron concentrations in 2020, and manganese progressively exceeding the standard from 2021 onwards. These findings indicate environmental pressures and potential anthropogenic inputs, compromising potability and treatment efficiency. It is concluded that, although the reservoir water presents acceptable conditions for several parameters, the raw water does not fully comply with drinking water standards, making systematic monitoring, treatment, and management actions essential to ensure regional water security.

Keywords: Water resources,Water supply, Potability standards

INTRODUÇÃO

A qualidade da água destinada ao abastecimento público constitui uma das principais preocupações no âmbito da gestão de recursos hídricos, segundo Aja e Marinho (2021, p. 1) ”O acesso à água em quantidade e qualidade suficientes, compatíveis com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação é um direito humano fundamental.” sobretudo em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada e fortemente condicionada à sazonalidade das chuvas. O monitoramento contínuo de mananciais de abastecimento é fundamental para identificar variações nos parâmetros físico-químicos, compreender a dinâmica do corpo hídrico e adotar medidas preventivas que garantam a segurança da água para consumo humano. O que reforça a necessidade de um programa rigoroso de vigilância e controle da qualidade da água (Brasil, 2024).

Assim sendo, o reservatório Pedro Moura, localizado no município de Belo Jardim–PE, representa uma importante fonte de abastecimento regional (Rosa et al., 2024). Por se tratar de um manancial de água bruta, sua qualidade está sujeita a interferências antrópicas e naturais, como o lançamento de efluentes, o uso e ocupação do solo em seu entorno, além de processos de eutrofização e variações hidrológicas típicas da região semiárida. Tais fatores podem comprometer a eficiência do tratamento convencional e a segurança hídrica local.

Nesse contexto, a avaliação sistemática de parâmetros físico-químicos, tanto orgânicos quanto inorgânicos, torna-se uma ferramenta indispensável. Parâmetros como pH, turbidez, cor, sólidos suspensos e concentrações de nutrientes permitem diagnosticar o estado de conservação do reservatório, identificar tendências de degradação e embasar decisões de manejo. Além disso, esse tipo de monitoramento auxilia no cumprimento da Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os padrões de potabilidade da água no Brasil.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar a qualidade da água bruta do reservatório Pedro Moura, em Belo Jardim–PE, por meio da análise de parâmetros físico-químicos orgânicos e inorgânicos, visando avaliar sua adequação aos padrões de potabilidade e subsidiar ações de gestão e segurança hídrica.

METODOLOGIA

1. Natureza do estudo e delineamento

Trata-se de estudo observacional, retrospectivo e quantitativo, com abordagem analítico-descritiva**.** Foram utilizados dados secundários de monitoramento de água bruta do Reservatório Pedro Moura (Belo Jardim–PE)**,** cedidos pela COMPESA, abrangendo séries temporais anuais de 2020, 2021, 2022 e 2023. As determinações laboratoriais seguiram procedimentos padronizados do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 24ª ed., 2023).

2. Área de estudo e fonte de dados

Os dados referem-se a amostragens de água bruta em pontos de monitoramento do reservatório definidos operacionalmente pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Para cada campanha, constam resultados laboratoriais dos parâmetros listados adiante. Metadados fornecidos (datas, ponto, método e limites de detecção) foram utilizados para controle de qualidade e rastreabilidade.

3. Parâmetros e métodos analíticos

3.1. Parâmetros físico-químicos inorgânicos e organolépticos

O Quadro 1 apresenta os principais parâmetros físico-químicos monitorados, os métodos analíticos empregados e suas respectivas referências segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24ª edição, 2023). Foram contempladas análises de qualidade da água relacionadas às características organolépticas (pH, turbidez, cor aparente e condutividade), aos íons majoritários (alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos), nutrientes nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato), micropoluentes inorgânicos (fluoreto e bromato) e à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5).

Esses parâmetros foram selecionados por sua relevância no diagnóstico da qualidade da água bruta, abrangendo desde indicadores básicos de potabilidade até contaminantes específicos que podem comprometer a eficiência dos processos de tratamento e a segurança do abastecimento. A utilização de métodos padronizados garante confiabilidade, rastreabilidade e comparabilidade dos resultados, possibilitando uma avaliação consistente do manancial estudado.

Quadro 1 – Parâmetros analisados, métodos e referências normativas (Standard Methods, 24ª ed., 2023)

Parâmetro	Método de Análise	Referência (SM)
pH	Potenciometria com eletrodo combinado; calibração diária	4500-H^+ B
Condutividade	Condutivímetro com célula termocompensada	2510 B
Turbidez	Nefelometria (NTU), com verificação usando padrões formazina	2130 B
Cor aparente	Espectrofotometria após filtração quando aplicável	2120 B
Alcalinidade total / Carbonatos / Bicarbonatos	Titrimetria com H_2SO_4 padronizado e indicadores adequados	2320 B
Dureza total / Cálcio total / Magnésio total	Titrimetria com EDTA; frações obtidas por complexação seletiva	2340 C
Cloreto	Argentometria ou potenciometria com eletrodo íon-seletivo	4500-Cl^- B
Sulfato	Turbidimetria ou cromatografia iônica	4500-SO_4^{2-} E / 4110
Amônia ($N–NH_3/NH_4^+$)	Método fenato/indofenol ou eletrodo íon-seletivo	4500-NH_3
Nitrito ($N–NO_2^-$)	Diazotização	4500-NO_2^- B
Nitrato ($N–NO_3^-$)	UV 220/275 nm (com correção de interferentes) ou redução em Cd	4500-NO_3^- B / E
Fluoreto	Eletrodo íon-seletivo com TISAB	4500-F^- D
Bromato	Cromatografia iônica com detecção pós-coluna (quando disponível)	4110

Fonte: Autoria própria (2025).

3.2. Metais totais

O Quadro 2 reúne os parâmetros referentes aos metais totais monitorados no reservatório, cuja presença pode estar associada tanto a processos geogênicos quanto a fontes antrópicas, como atividades agrícolas e descargas industriais. As amostras foram submetidas à digestão em meio ácido nítrico (SM 3030), seguida da determinação elementar por ICP-OES (SM 3120) ou ICP-MS (SM 3125), técnicas de elevada sensibilidade para quantificação multielementar. O ferro total, em alguns casos, também pôde ser analisado por espectrofotometria com fenantrolina (SM 3500-Fe B). Os resultados foram expressos em µg/L ou mg/L, com limites de quantificação (LQ) e detecção (LD) devidamente documentados, garantindo confiabilidade e rastreabilidade aos dados obtidos.

Quadro 2 – Determinação de metais totais na água bruta do Reservatório Pedro Moura, Belo Jardim-PE.

Parâmetro	Método de Análise	Referência (SM)
Alumínio	Digestão com HNO_3 (SM 3030) + ICP-OES (SM 3120) ou ICP-MS (SM 3125)	3030; 3120; 3125
Bário	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Berílio	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Cádmio	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Chumbo	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Cobalto	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Cobre	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Cromo (total)	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Ferro total	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS ou espectrofotometria por fenantrrolina (quando indicado)	3030; 3120; 3125; 3500-Fe B
Lítio	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125
Manganês	Digestão com HNO_3 + ICP-OES/ICP-MS	3030; 3120; 3125

Fonte: Autoria própria (2025).

A qualidade da água foi avaliada ao longo de quatro anos, com foco na identificação de não conformidades em relação aos valores de referência estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que regulamenta os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos parâmetros físico-químicos e inorgânicos ao longo do período de 2020 a 2023 permitiu avaliar a qualidade da água frente aos valores de referência estabelecidos na legislação vigente (Quadro 3). O pH manteve-se estável durante todo o período, variando entre 7,6 e 8,0, valores que se encontram dentro da faixa aceitável (6,0–9,0), evidenciando um equilíbrio do meio sem riscos de acidificação ou alcalinização excessiva. A condutividade elétrica, por sua vez, apresentou um aumento progressivo e bastante expressivo, passando de 179,0 µS/cm em 2020 para 2124,0 µS/cm em 2023. Apesar de não existir valor de referência normativo específico para este parâmetro, tal elevação pode indicar acúmulo de sais dissolvidos e maior mineralização da água, o que sugere alterações significativas na composição iônica do corpo hídrico.

Em relação a Turbidez, observou-se variação entre 2 e 4 unidades nefelométricas (uT), permanecendo sempre abaixo do limite máximo permitido (< 5 uT), o que demonstra adequada transparência da água e baixo risco de interferência em processos de desinfecção.

Entretanto, o parâmetro de Cor aparente apresentou valores bastante elevados, variando entre 55,0 e 88,0 unidades Hazen, ultrapassando significativamente o valor de referência (< 15 UH). Este resultado indica a presença de substâncias dissolvidas e em suspensão, possivelmente associadas à matéria orgânica, íons metálicos ou compostos húmicos, configurando não conformidade de caráter crítico para o consumo humano.

Com relação aos compostos nitrogenados, a Amônia oscilou entre <0,01 e 0,51 mg/L, mantendo-se dentro do limite (< 1,5 mg/L), o que indica baixa ocorrência de processos de contaminação por matéria orgânica recente. O Nitrato variou de 0,087 a 0,447 mg/L, também em conformidade com o padrão estabelecido (< 10 mg/L), evidenciando ausência de risco significativo de contaminação por efluentes agrícolas ou esgotos. O Nitrito, parâmetro mais sensível e indicador de poluição recente, apresentou valores consistentemente muito baixos (< 0,001 mg/L) até 2022, com leve aumento em 2023 (0,074 mg/L), mas ainda dentro do limite permitido (< 1 mg/L), não representando risco sanitário. O Bromato foi detectado apenas em 2020, em concentração < 0,001 mg/L, permanecendo em conformidade com o valor de referência (< 0,01 mg/L).

A Alcalinidade Total variou de 110,0 a 162,9 mg/L, apresentando tendência de elevação, embora não exista valor de referência normativo específico. Essa característica está diretamente associada à capacidade tamponante da água e pode influenciar a estabilidade do pH. A Dureza Total foi determinada apenas até 2021, com valores de 450 a 478 mg/L, sempre inferiores ao limite de 500 mg/L, mantendo-se dentro do padrão aceitável, ainda que próximos ao valor máximo, o que sugere elevada concentração de sais de cálcio e magnésio.

Os resultados de Cloretos evidenciam uma não conformidade grave, com valores persistentemente elevados, variando entre 480,048 e 608,390 mg/L, muito acima do valor de referência de 250 mg/L. Este resultado aponta para intrusão salina, contaminação antrópica ou aporte natural de sais, comprometendo a qualidade da água para o consumo humano. Em contraste, o Sulfato apresentou valores reduzidos (34,713 a 56,818 mg/L), bastante inferiores ao limite máximo (< 250 mg/L), não representando risco sanitário ou organoléptico.

Por fim, o Fluoreto apresentou concentrações baixas e estáveis, variando entre 0,157 e 0,364 mg/L, sempre abaixo do limite de 1,5 mg/L, não configurando risco de fluorose dental ou outros efeitos adversos à saúde.

Quadro 3 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e inorgânicos da água no período de 2020 a 2023 em comparação com os valores de referência.

Ensaio	Resultado				Valor de Referência	Descrição
	2020	2021	2022	2023		
pH	7,6	7,7	8,0	7,8	6,0 ~ 9,0	Permaneceu dentro do padrão
Condutividade	179,0	1582,0	1942,0	2124,0	-	Não possui valor de Referência
Turbidez	2	2	3	4	≤ 5	Permaneceu dentro do padrão
Cor Aparente	66,0	55,0	58,0	88,0	≤ 15	Fora do Padrão e muito acima do valor de Referência
Amônia	0,12	< 0,01	0,12	0,51	≤ 1,5	Permaneceu dentro do padrão
Nitrato	0,300	0,250	0,447	0,087	≤ 10	Permaneceu dentro do padrão
Bromato	< 0,001	-	-	-	≤ 0,01	Permaneceu dentro do padrão
Alcalinidade Total	110,00	126,50	162,90	145,60	-	Não possui valor de Referência
Dureza total	450	478			≤ 500	Permaneceu dentro do padrão
Cloreto	480,048	498,343	608,390	599,056	≤ 250	Fora do Padrão e muito acima do valor de Referência
Sulfato	56,818	51,897	51,300	34,713	≤ 250	Permaneceu dentro do padrão e muito abaixo do valor de Referência
Nitrito	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,074	≤ 1	Permaneceu dentro do padrão
Fluoreto	0,364	0,157	0,201	0,232	≤ 1,5	Permaneceu dentro do padrão

Fonte: Autoria própria (2025).

De forma geral, os resultados demonstram que, embora a maioria dos parâmetros avaliados tenha permanecido dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos, destacam-se duas não conformidades críticas: a cor aparente e os teores de cloretos, ambos significativamente acima dos valores de referência. Essas condições comprometem tanto a aceitação organoléptica da água quanto a sua qualidade para consumo humano, evidenciando a necessidade de medidas corretivas e monitoramento contínuo. Além disso, a elevação acentuada da condutividade elétrica ao longo dos anos reforça a importância de estudos complementares para identificar as fontes de sais dissolvidos e avaliar seu impacto sobre o sistema hídrico monitorado.

No Quadro 4, apresenta-se os onze metais pesados analisados durante os quatro anos de monitoramento. Em relação ao Alumínio registou valores elevados em 2020 (0,748 mg/L) e 2021 (0,229 mg/L), ultrapassando o valor máximo permitido de 0,2 mg/L, provavelmente por causa do período de estiagem das chuvas. Nos anos subsequentes (2022 e 2023), as concentrações reduziram-se expressivamente (0,038 e 0,053 mg/L, respectivamente), retornando a níveis compatíveis com o padrão de potabilidade. Essa variação pode estar

associada a processos de ressuspensão de sedimentos ou ao aporte de partículas coloidais ricas em alumínio, frequentemente vinculadas à matéria orgânica e a descargas pontuais.

Quadro 4 – Resultados em relação aos metais totais na água bruta do Reservatório Pedro Moura, Belo Jardim-PE.

Ensaio	Resultado				Valor de Referência	Descrição
	2020	2021	2022	2023		
Alumínio	0,748	0,229	0,038	0,053	≤ 0,2	Fora do padrão
Bário	0,083	0,105	0,106	0,107	≤ 0,7	Permaneceu dentro do padrão
Berílio	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	-	Não possui valor de Referência
Cádmio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	≤ 0,005	Permaneceu dentro do padrão
Chumbo	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	≤ 0,01	Permaneceu dentro do padrão
Cobalto	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	Não possui valor de Referência
Cobre	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	≤ 2	Permaneceu dentro do padrão
Cromo	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	≤ 0,05	Permaneceu dentro do padrão
Ferro	1,363	<0,1	<0,1	0,124	≤ 0,3	Permaneceu dentro do padrão
Lítio	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	Não possui valor de Referência
Manganês	0,027	0,143	0,142	0,357	≤ 0,1	Fora do padrão

Fonte: Autoria própria (2025).

O ferro apresentou uma anomalia em 2020, atingindo 1,363 mg/L, valor significativamente acima do limite de 0,3 mg/L. Nos anos seguintes, as concentrações foram inferiores a 0,1 mg/L em 2021 e 2022, e apenas ligeiramente acima do limite de detecção em 2023 (0,124 mg/L), caracterizando uma redução acentuada em relação ao primeiro período. Este comportamento sugere um evento pontual, possivelmente decorrente de condições redox no reservatório ou de processos erosivos e de assoreamento.

O manganês destacou-se pela tendência crescente ao longo da série temporal. Em 2020, a concentração foi de 0,027 mg/L, dentro do padrão (< 0,1 mg/L). Contudo, em 2021 e 2022, os valores alcançaram 0,143 e 0,142 mg/L, respectivamente, ultrapassando o limite estabelecido. Em 2023, a concentração aumentou ainda mais, atingindo 0,357 mg/L, o que representa uma não conformidade significativa. Esse comportamento pode estar relacionado à mobilização de manganês em condições anóxicas na interface água-sedimento ou a fontes difusas de aporte antrópico, indicando necessidade de monitoramento reforçado.

Os demais metais analisados permaneceram em conformidade com os limites de referência. O bário apresentou valores variando entre 0,083 e 0,107 mg/L, bem abaixo do limite de 0,7 mg/L. O cádmio (< 0,001 mg/L), o cobre (< 0,005 mg/L), o cromo (< 0,01 mg/L) e o chumbo (< 0,01 mg/L) mantiveram-se dentro dos padrões de potabilidade, ainda que para o chumbo o limite de detecção adotado coincida com o valor de referência, o que reduz a margem de segurança analítica. Metais como berílio, cobalto e lítio apresentaram resultados abaixo do limite de detecção e não possuem valores de referência estabelecidos pela legislação consultada, devendo ser reportados apenas de forma descritiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água bruta do Reservatório Pedro Moura demonstrou que, embora a maior parte dos parâmetros físico-químicos, orgânicos, inorgânicos e metais avaliados tenha permanecido dentro dos limites de potabilidade, foram identificadas não conformidades relevantes que comprometem sua adequação ao consumo humano, em especial a cor aparente, os teores de cloreto, a elevação da condutividade elétrica e as concentrações de alumínio, ferro e manganês em determinados períodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJA, O. G. O.; MARINHO, D. A. Qualidade da água para consumo humano no Brasil: revisão integrativa da literatura. Vigilância Sanitária em Debate, v. 9, n. 4, p. 74-85, 2021. Disponível em: https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/download/1822/1375/12725. Acesso em: 29 ago. 2025.

APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 24. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente**.** Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Guia para implementação da norma de qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/2024/guia-para-implementacao-da-norma-de-qualidade-da-agua-para-consumo-humano.pdf. Acesso em: 29 ago. 2025.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA. Dados de monitoramento de água bruta do Reservatório Pedro Moura (Belo Jardim–PE), 2020–2023. Dados internos cedidos pela instituição. Recife: COMPESA, [s.d.].

ROSA, R. B.; ARAÚJO, S. D. S.; SILVA, S. S. da; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; BATISTA, R. de O.; PAIVA, M. V. C. Indicadores de saneamento básico: análise do sistema de abastecimento de água da bacia do Rio Ipojuca. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 9, e10703, 2024. DOI: https://doi.org/10.55905/revconv.17n.9-226.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037475

Monitoramento Hídrico do Açude de Lagoa Grande (PE): Implicações para Piscicultura e Consumo Humano

Monitoreo Hídrico del Embalse en Lagoa Grande (PE): Implicaciones para la Acuicultura y el Consumo Humano

Water Monitoring of the Reservoir in Lagoa Grande (PE): Implications for Aquaculture and Human Consumption

Maria Luiza da Silva [1], Fernanda da Silva Macedo[2], Anderson Alessandro de Souza Queiroz[3], Daniel Salgado Pifano[4].

[1]Graduanda em Zootecnia, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Brasil, marialuiza.silva@discente.univasf.edu.br, nº de ORCID 0009-0005-2164-124;
[2]Bacharel em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Brasil, fs_macedo@outlook.com, nº de ORCID 0009-0004-9295-8183;
[3]Mestrando em Administração Pública, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Brasil, anderson.asq27@gmail.com.
[4]Professor Doutor, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Brasil, daniel.pifano@univasf.edu.br, ORCID: 0000-0001-8361-7337.

Eixo Temático 03 – TECNOLOGIAS PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo de aguas para consumo humano.

RESUMO

O presente estudo avaliou a qualidade da água do Açude Lagoa Grande, em Pernambuco, a partir de parâmetros físico-químicos (pH, turbidez, cor aparente, nitrito, nitrato, amônia, fósforo total e Demanda Química de Oxigênio – DQO) e biológicos (clorofila-a). As análises foram comparadas com os limites definidos pela Portaria GM/MS n° 888/2021 e pela Resolução CONAMA n° 357/2005. O desenvolvimento da pesquisa envolveu coletas de amostras e análises laboratoriais. Um dos principais desafios do manancial é o seu uso para piscicultura, atividade que potencializa os riscos de eutrofização. Os resultados mostraram que a turbidez (82,90 uT) e a cor aparente (181,00 uH) ultrapassaram os limites máximos permitidos pela Portaria. O fósforo total (0,43 mg/L) e elevada DQO (344,82 mg/L), associados à concentração de clorofila-a (3,32 µg/L), reforçam a tendência ao enriquecimento trófico, indicando um estado de eutrofização avançado. Conclui-se que a água do açude não é adequada para consumo humano sem tratamento avançado e que há riscos significativos para a sustentabilidade da piscicultura local.

Palavras-chave: Qualidade da água; eutrofização; reservatório; semiárido.

RESÚMEN

El presente estudio evaluó la calidad del agua del embalse Lagoa Grande, en Pernambuco, a

partir de parámetros físico-químicos (pH, turbidez, color aparente, nitrito, nitrato, amoníaco, fósforo total y demanda química de oxígeno – DQO) y biológicos (clorofila-a). Los análisis se compararon con los límites establecidos por la Ordenanza GM/MS n.º 888/2021 y la Resolución CONAMA n.º 357/2005. La investigación consistió en la recogida de muestras y análisis de laboratorio. Uno de los principales retos de este manantial es su uso para la piscicultura, una actividad que aumenta los riesgos de eutrofización. Los resultados mostraron que la turbidez (82,90 uT) y el color aparente (181,00 uH) superaban los límites máximos permitidos por la Ordenanza. El fósforo total (0,43 mg/L) y el elevado DQO (344,82 mg/L), asociados a la concentración de clorofila-a (3,32 µg/L), refuerzan la tendencia al enriquecimiento trófico, lo que indica un estado de eutrofización avanzado. Se concluye que el agua del embalse no es apta para el consumo humano sin un tratamiento avanzado y que existen riesgos significativos para la sostenibilidad de la piscicultura local.
Palabras clave: Calidad del agua; eutrofización; embalse; semiárido.

ABSTRACT

This study evaluated the water quality of the Lagoa Grande Reservoir in Pernambuco based on physical-chemical parameters (pH, turbidity, apparent color, nitrite, nitrate, ammonia, total phosphorus, and Chemical Oxygen Demand – COD) and biological parameters (chlorophyll-a). The analyses were compared with the limits defined by Ordinance GM/MS No. 888/2021 and CONAMA Resolution No. 357/2005. The research involved sample collection and laboratory analysis. One of the main challenges of the water source is its use for fish farming, an activity that increases the risk of eutrophication. The results showed that turbidity (82.90 uT) and apparent color (181.00 uH) exceeded the maximum limits allowed by the Ordinance. Total phosphorus (0.43 mg/L) and high COD (344.82 mg/L), associated with chlorophyll-a concentration (3.32 µg/L), reinforce the tendency toward trophic enrichment, indicating an advanced state of eutrophication. It is concluded that the water from the reservoir is not suitable for human consumption without advanced treatment and that there are significant risks to the sustainability of local fish farming.
Keywords: Water quality; eutrophication; reservoir; semi-arid region.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um fator essencial para a segurança hídrica, a saúde pública e a manutenção das atividades econômicas em regiões semiáridas. No Sertão de Pernambuco, os açudes representam a principal forma de armazenamento e oferta de água, tanto para abastecimento humano quanto para piscicultura e irrigação. Entretanto, esses reservatórios sofrem pressões relacionadas ao uso agrícola, lançamento de efluentes e ausência de tratamento, comprometendo sua qualidade e usos múltiplos (Araújo, Cristiano Dantas. 2022).

No Brasil, os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano são definidos pela Portaria GM/MS n.º 888/2021, que estabelece limites para parâmetros como turbidez, cor aparente e compostos nitrogenados (Brasil, 2021). Para a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes de enquadramento por uso, a legislação federal vigente é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 357/2005, esse normativo continua sendo amplamente utilizado como referência em estudos recentes sobre qualidade de água e eutrofização, incluindo avaliações de reservatórios no semiárido brasileiro (Araújo, Cristiano Dantas. 2022; Costa, Vitória Araújo. 2023). Em particular, essa lesgilação define valores de referência para fósforo total em ambientes lênticos (0,03 mg/L), parâmetro frequentemente adotado como indicador de risco de eutrofização em estudos contemporâneos.

Estudos recentes indicam que altos valores de turbidez e cor aparente, frequentemente associados ao carreamento de sedimentos e matéria orgânica, comprometem a eficiência dos processos de tratamento e desinfecção, elevando o risco de doenças de veiculação hídrica (Costa, H. A. da, et al. 2015). Da mesma forma, concentrações elevadas de nutrientes, como fósforo total e clorofila-a, são indicadores de eutrofização em açudes do semiárido, com repercussões diretas sobre a disponibilidade de oxigênio dissolvido e o equilíbrio da biota aquática (Araújo, Cristiano Dantas. 2022 ; Costa, Vitória Araújo. 2023).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água do Açude de Lagoa Grande (PE) por meio da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, a fim de examinar as implicações desses resultados para o abastecimento humano e para a sustentabilidade da piscicultura local.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no Açude Lagoa Grande, localizado no município de Lagoa Grande, estado de Pernambuco, Brasil. As coletas de amostras de água ocorreram no ano de 2023, em pontos representativos do reservatório, selecionados de forma a refletir diferentes condições do corpo hídrico. Para a coleta, utilizou-se balde plástico e funis previamente higienizados, garantindo a minimização de contaminações. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e transportadas ao Laboratório de Análises de Água do Projeto ProÁgua Rural, vinculado à Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), no campus Ciências Agrárias.

No laboratório, foram determinadas as concentrações dos seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: pH, turbidez, cor aparente, fósforo total, clorofila-a e demanda química de oxigênio (DQO), seguindo protocolos padrão de análise de água. Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 (Brasil, 2021) e Resolução CONAMA n.º 357/2005, com o objetivo analisar a qualidade da água do Açude Lagoa Grande (PE), avaliando os riscos para o consumo humano e para a atividade de piscicultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os parâmetros de qualidade da água — pH, turbidez, cor aparente, fósforo total, clorofila-a e demanda química de oxigênio (DQO) — referentes às amostras coletadas no Açude estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1.

Parâmetros	Resultados	Unidade
pH	8,29	-
Turbidez	82,90	uT
Cor Aparente	181,00	uH
Fósforo total	0,74	mg/L
Clorofila-a	0,43	ug/L
Demanda química de oxigênio (DQO)	344,82	mg/L

Fonte: Autores (2025).

Os valores de turbidez (82,90 uT) e cor aparente (181,00 uH) estão acima dos limites máximos de 5 uT e 15 uH, respectivamente, preconizados pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 para água potável. Isso impacta diretamente a população que utiliza a água, pois a alta turbidez compromete a eficiência da desinfecção, servindo de abrigo para microrganismos patogênicos e aumentando o risco de doenças de veiculação hídrica (Costa, H. A. da*, et al.* 2015).

O principal indicativo do processo de eutrofização é a elevada concentração de fósforo total (0,43 mg/L), que supera em mais de 14 vezes o limite de 0,03 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 para ambientes lênticos de classe 2. O excesso de fósforo, um nutriente limitante, estimula a proliferação de algas, evidenciada pela concentração de clorofila-a (3,32 µg/L). Este cenário é corroborado pela alta Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 344,82 mg/L, que indica uma elevada carga de matéria orgânica. A decomposição dessa matéria consome o oxigênio dissolvido, o que pode levar a condições de anoxia.

A turbidez emerge como um indicador de vulnerabilidade hídrica de particular importância para o Açude Lagoa Grande, dado que reservatórios em regiões semiáridas são ecossistemas especialmente suscetíveis ao carreamento intensificado de sedimentos e matéria orgânica durante os eventos pluviométricos. Esta condição é cientificamente validada pela literatura, que demonstra uma correlação direta entre elevados níveis de turbidez e o aumento na concentração de sólidos totais e cor aparente (ZERWES *et al*., 2015). Nesse contexto, a persistência de valores elevados de turbidez no açude transcende a simples constatação de um parâmetro fora dos padrões de potabilidade. Ela funciona como um diagnóstico duplo: por um lado, atesta a qualidade intrinsecamente degradada da água bruta; por outro, expõe a grave deficiência ou a completa ausência de um sistema de tratamento que contemple etapas tecnológicas fundamentais. A ausência de processos como coagulação e filtração, por exemplo, não só afeta a estética da água, mas compromete diretamente a eficácia da etapa de desinfecção, uma vez que as partículas em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, elevando o risco de doenças de veiculação hídrica, uma preocupação já destacada por Costa *et al.* (2015).

Durante a coleta, foi observada a presença de peixes mortos nas margens do açude. Este fato é um forte indício dos impactos do avançado estado de eutrofização, possivelmente associado a eventos de baixa concentração de oxigênio na água, tornando o ambiente hostil para a fauna aquática e inviabilizando a piscicultura. (Torquato *et al.* 2016).

O impacto na piscicultura afeta diretamente as comunidades que dependem desta atividade não apenas como fonte de renda, mas também para a subsistência alimentar, gerando

um impacto socioeconômico relevante na região (Araújo,Cristiano Dantas 2022). A comparação com esses trabalhos reforça que a situação do Açude Lagoa Grande se insere em um contexto regional de vulnerabilidade dos recursos hídricos (Torquato *et al.* 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água do Açude Lagoa Grande revelou um cenário preocupante de eutrofização, intensificado em período de estiagem. A água do manancial é imprópria para consumo humano direto, exigindo tecnologias de tratamento avançadas para garantir a segurança da população.

O processo de eutrofização, evidenciado pela mortandade de peixes, representa um risco à sustentabilidade da piscicultura local. Como próximos passos, sugere-se a investigação das fontes de aporte de nutrientes na bacia hidrográfica, com foco em efluentes e no manejo da piscicultura. Adicionalmente, recomenda-se avaliar a implementação de medidas mitigadoras, como sistemas de aeração no Açude e a promoção de boas práticas aquícolas, a fim de compatibilizar os usos múltiplos do reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, Cristiano Dantas. 2022. A Dinâmica da Qualidade da Água no Açude Gavião: Impactos e Desafios no Semiárido. Monografia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. Disponível em: https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/7305. Acesso em: 20 set. 2025.

Brasil. Ministério da Saúde. 2021. Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 20 set. 2025.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em: https://www.google.com/search?q=https://antigo.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.html. Acesso em: 20 set. 2025.

COSTA, Halison Alves da; SANTOS, Ismael Romão dos; FERNANDES, José Normand Vieira; SILVA, Joseilson dos; NASCIMENTO, Jânio Félix do; BARBOSA, Luciana Gomes. Qualidade da água de reservatórios de bacia antropizada no Nordeste: potencial de uso da água na irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. Anais... Brasília, DF: ABRH, 2015.. Disponível em:

https://www.neopixdmi.com/app/sbrhxxi/trabalhos/PAP021053.pdf. Acesso em: 23 set. 2025.

Costa, Vitória Araújo. 2023. "Eutrofização em reservatórios do semiárido e seus potenciais efeitos na qualidade da água." Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/29560/1/VAC21022024%20-%20MB291.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

Torquato, Amanda Laurentino, Whelton Brito dos Santos, Lizandra Maria Martins de Morais, Mailson Augusto Almeida Cartaxo, e Patrícia Hermínio Cunha Feitosa. 2016. Análise da Qualidade das Águas do Açude Velho em Campina Grande/PB. Em Anais do VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande, PB. . Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-069.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

ZERWES, Cristian Mateus et al. Análise da qualidade da água de poços artesianos do município de Imigrante, Vale do Taquari/RS. Ciência e Natura, v. 37, n. 3, p. 651-663, 2015. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546194051.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037596

MORINGA *OLEIFERA* LAM. COMO COAGULANTE PRINCIPAL NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS COM COR ELEVADA E TURBIDEZ MUITO BAIXA

MORINGA OLEIFERA LAM. COMO COAGULANTE PRINCIPAL EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS CON COLOR ELEVADO Y TURBIDEZ MUY BAJA

MORINGA OLEIFERA LAM. AS A PRIMARY COAGULANT IN THE CLARIFICATION OF HIGHLY COLORED AND VERY LOW TURBIDITY WATERS

Selma Cristina da Silva[1], Isabel Cristina Silva Maia [2], Rafael de Matos Mota[3], Kelly Anselmo de Souza[4]

[1] Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos Hídricos (DEA/UFBA). Mestre em Recursos Hídricos (DENC/UFCG). Doutora em Tecnologia Ambiental (DENC/FT/UnB). Pós Doutora em Saneamento (DESA/UFMG). Professora Associada (CETEC/UFRB), Cruz das Almas-Bahia, Brasil, selma@ufrb.edu.br ou scsilva00@yahoo.com.br, nº de ORCID: 0000-0002-0387-6943;
[2]Engenheira Sanitarista e Ambiental, (CETEC/UFRB), Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências Agrárias e Doutoranda em Engenharia Agrícola (CCAAB/UFRB), Cruz das Almas-Bahia, Brasil, isabelcsmaia1973@gmail.com, nº de ORCID: 0009-0000-5680-5930;
[3]Engenheiro Sanitária e Ambiental (CETEC/UFRB), Cruz das Almas-Bahia, Brasil, rafaelmattos1999@gmail.com, nº de ORCID: 0009-0007-6725-5920;
[4]Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícola e Doutoranda em Engenharia Agrícola (CCAAB/UFRB), Cruz das Almas-Bahia, Brasil. kellysouza_12@hotmail.com, nº de ORCID: 0009-0008-9476-5413.

Eixo Temático 03 –Tecnologias para abastecimento de água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural.

Eje Temático 03 – Tecnologías de abastecimiento de agua
Soluciones alternativas de abastecimiento de agua en zonas rurales

RESUMO

Este estudo avaliou o uso da *Moringa oleifera* Lam. (MO) como coagulante principal na clarificação de água com elevada cor e turbidez extremamente baixa, em substituição ao sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$], além de estabelecer os parâmetros operacionais ótimos para ambos os coagulantes. Os resultados indicaram que, para o $Al_2(SO_4)_3$, a dosagem ótima variou entre 160 e 190 mg.L^{-1}. Tais concentrações são consideravelmente elevadas e podem resultar em teores residuais de alumínio superiores aos limites estabelecidos pelos padrões de potabilidade. Ademais, esse cenário implica aumento nos custos operacionais da Estação de Tratamento de Água (ETA), tanto pela aquisição de insumos químicos quanto pelas exigências relacionadas ao monitoramento da qualidade da água. O tempo de decantação (TDC) variou entre 30 e 60 minutos, sendo que a menor dosagem necessária (160 mg.L^{-1}) foi observada para o maior TDC. O tempo de mistura lenta (TML) mais eficiente foi de 20 minutos. Para a MO, o TDC ideal foi de 2 horas, com dosagens ótimas situando-se entre 600 e 800 mg.L^{-1}. Apesar de demandar maiores dosagens e tempo de decantação, a utilização da *Moringa oleifera* apresenta vantagens significativas: trata-se de um coagulante natural, atóxico, que não representa riscos à saúde pública, gera lodo com potencial de aproveitamento agrícola e dispensa a necessidade de

operadores qualificados, podendo ser aplicado diretamente por membros da comunidade local.

Palavras-Chaves: coagulantes orgânicos, parâmetros de projeto, tratamento de água, comunidades rurais.

RESÚMEN

Este estudio evaluó el uso de *Moringa oleifera* Lam. (MO) como coagulante principal en la clarificación de agua con color elevado y turbidez extremadamente baja, en sustitución del sulfato de aluminio [$Al_2(SO_4)_3$], además de establecer los parámetros operacionales óptimos para ambos coagulantes. Los resultados indicaron que, para el $Al_2(SO_4)_3$, la dosis óptima varió entre 160 y 190 mg.L^{-1}. Tales concentraciones son considerablemente elevadas y pueden dar lugar a niveles residuales de aluminio superiores a los límites establecidos por los estándares de potabilidad. Además, este escenario implica un aumento en los costos operativos de la Estación de Tratamiento de Agua (ETA), tanto por la adquisición de insumos químicos como por los requisitos relacionados con el monitoreo de la calidad del agua. El tiempo de decantación (TDC) varió entre 30 y 60 minutos, observándose que la dosis mínima necesaria (160 mg.L^{-1}) se presentó con el mayor TDC. El tiempo de mezcla lenta (TML) más eficiente fue de 20 minutos. Para la MO, el TDC ideal fue de 2 horas, con dosis óptimas entre 600 y 800 mg.L^{-1}. A pesar de requerir mayores dosis y un mayor tiempo de decantación, el uso de *Moringa oleifera* presenta ventajas significativas: se trata de un coagulante natural, no tóxico, que no representa riesgos para la salud pública, genera lodos con potencial de aprovechamiento agrícola y no requiere operadores calificados, pudiendo ser aplicado directamente por miembros de la comunidad local.

Palabras clave: coagulantes orgánicos, parámetros de diseño, tratamiento de agua, comunidades rurales.

ABSTRACT

This study evaluated the use of *Moringa oleifera* Lam. (MO) as the primary coagulant in the clarification of water with high color and extremely low turbidity, as a substitute for aluminum sulfate [$Al_2(SO_4)_3$], and established the optimal operational parameters for both coagulants. The results indicated that, for $Al_2(SO_4)_3$, the optimal dosage ranged from 160 to 190 mg.L^{-1}. These concentrations are considerably high and may result in residual aluminum levels exceeding the limits established by drinking water standards. Moreover, this scenario leads to increased operational costs at the Water Treatment Plant (WTP), both due to the purchase of chemical inputs and the requirements related to water quality monitoring. The settling time (ST) ranged from 30 to 60 minutes, with the lowest required dosage (160 mg.L^{-1}) observed at the longest ST. The most efficient slow mixing time (SMT) was 20 minutes. For MO, the ideal ST was 2 hours, with optimal dosages ranging from 600 to 800 mg.L^{-1}. Although higher dosages and longer settling times are required, the use of *Moringa oleifera* offers significant advantages: it is a natural, non-toxic coagulant that poses no risk to public health, produces sludge with potential for agricultural reuse, and does not require skilled operators, allowing its application directly by local community members.

Keywords: organic coagulants, design parameters, water treatment, rural communities.

INTRODUÇÃO

O tratamento físico-químico é o mais utilizado para a produção de água potável no Brasil e emprega coagulantes inorgânicos, geralmente sais de alumínio ou de ferro. Embora os sais à base de alumínio sejam os mais baratos entre os utilizados, apresentam como desvantagem a geração de resíduos de alumínio, os quais podem causar doenças como Alzheimer, demência, fibrose pulmonar, encefalopatia, osteomalácia e anemia (Silva et al., 2020).

Dessa forma, o alumínio deve ser monitorado constantemente, o que eleva os custos do controle da qualidade da água. Além disso, o lodo gerado possui restrições quanto ao tratamento em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) ou ao seu reaproveitamento na agricultura.

Alternativamente aos coagulantes inorgânicos, existem os coagulantes orgânicos de origem animal ou vegetal. Entre os materiais com capacidade coagulante de origem animal, destaca-se a quitosana, proveniente de crustáceos. Já entre os de origem vegetal, citam-se a acácia-negra, *Moringa oleifera*, cactos, quiabo e sementes de frutas (Pacheco, 2021).

Os polímeros produzidos a partir da acácia-negra já foram industrializados e estão disponíveis no mercado; no entanto, seu custo é bastante mais elevado em comparação aos coagulantes inorgânicos, o que inviabiliza seu uso como coagulante principal no tratamento de água. Heiderscheidt et al. (2020) observaram que os coagulantes orgânicos apresentam um custo de 4 a 5 vezes superior ao do cloreto de polialumínio (PAC).

Devido aos altos custos dos coagulantes orgânicos sintéticos, no Brasil, eles são utilizados apenas como coagulantes auxiliares (secundários), em dosagens bastante menores, com o objetivo de reduzir a quantidade do coagulante inorgânico principal (primário).

Os coagulantes orgânicos naturais apresentam custos inferiores tanto aos coagulantes inorgânicos quanto aos orgânicos sintéticos. Por essa razão, diversos autores têm investigado o uso de diferentes polímeros naturais na clarificação da água, destacando-se a *Moringa oleifera* Lam. (MO), cujas sementes possuem propriedades coagulantes e bactericidas; não são tóxicas; não requerem ajustes de pH ou alcalinidade; não são corrosivas; não alteram o sabor da água; apresentam baixo custo; geram baixo volume de lodo (Vaz, 2010) e não produzem resíduos. Esse tipo de coagulante pode ser utilizado como alternativa aos sais inorgânicos no tratamento de água em comunidades rurais, dispensando a necessidade de mão de obra

qualificada para a operação do sistema de tratamento.

A eficácia dos coagulantes naturais para águas com turbidez média e elevada já foi comprovada (Paterniani, Mantovani e Sant'Anna, 2009; Pritchard et al., 2010; Baptista et al., 2017; Franco et al., 2017). Assim, este trabalho buscou testar a aplicabilidade da Moringa oleifera (MO), como coagulante principal, na clarificação de água com cor elevada (128,0 a 261,0 uH) e turbidez muito baixa (0,5 a 4,0 UNT), em substituição ao sulfato de alumínio, além de estabelecer parâmetros ótimos de projeto para esse coagulante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação foram realizados em nível de bancada, utilizando o equipamento "Jar Test" Milan – modelo JT 203, com capacidade para seis provas simultâneas. A água bruta foi coletada de um lago localizado na bacia do Capivari, afluente do rio Paraguaçu. Esse lago recebe efluentes domésticos e escoamento superficial de áreas agrícolas ricas em nutrientes, o que resultou em sua eutrofização e aumento da coloração da água.

Nos ensaios com o sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] foram utilizadas dosagens menores, variando entre 140 e 190 $mg.L^{-1}$, com intervalos de 10 $mg.L^{-1}$, por se tratar de um coagulante inorgânico. Como a *Moringa oleifera* (MO) é um coagulante natural cuja extração é baseada em água, as dosagens testadas foram maiores, variando de 600 a 1800 $mg.L^{-1}$, com intervalos de 200 $mg.L^{-1}$.

Inicialmente, foram realizados os ensaios com $Al_2(SO_4)_3$, variando o tempo de mistura lenta (TML) e o tempo de decantação (TDC), enquanto foram mantidos fixos o tempo da mistura rápida (TMR), a rotação da mistura rápida (RMR) e a rotação da mistura lenta (RML) (**Tabela 1**).

Após observar os TML de 20 e 30 minutos e o TDC de 60 minutos, esses mesmos parâmetros foram aplicados para a *Moringa oleifera* (MO). Além disso, foi considerado um TDC maior, devido à menor velocidade de decantação dos flocos (**Tabela 2**).

O $Al_2(SO_4)_3$ utilizado era líquido, proveniente de uma Estação de Tratamento de Água da região, com concentração de 50%. Para os ensaios, foi empregada uma solução diluída a 1%.

Tabela 1. Tempos e rotações mistura lenta (floculação) e tempo de decantação testados utilizando o $Al_2(SO_4)_3$.

Mistura Rápida (Coagulação)		Mistura Lenta (Floculação)		Decantação
Tempo	**Rotação (rpm)**	**Tempo (min)**	**Rotação (rpm)**	**Tempo (min)**
30	100	20	40	30
				60
		30		30
				60
		40		30
				60

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 2. Tempos e rotações da floculação e tempo de decantação testados utilizando a MO.

Mistura Rápida (Coagulação)		Mistura Lenta (Floculação)		Decantação
Tempo (s)	**Rotações (rpm)**	**Tempo (min)**	**Rotações (rpm)**	**Tempo (min)**
30	100	20	40	60
		30		
		20		120
		30		

Fonte: Elaboração própria (2024).

A solução-padrão de MO. foi preparada no momento do ensaio, conforme recomendação de Marques e Abreu (2017). Para o preparo, as sementes de moringa foram secas em estufa a 105 ºC por 24 horas, descascadas e maceradas em almofariz. Considerou-se uma concentração de 10% m/v, ou seja, para cada 10 g do macerado de moringa foram adicionados 100 mL de água destilada, sob agitação manual por 4 minutos. Posteriormente, a solução foi filtrada em papel de filtro descartável (do tipo utilizado para coar café).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na **Tabela 3** que, com o $Al_2(SO_4)_3$, o aumento do TML está associado a um aumento na dosagem do coagulante, enquanto o aumento do TDC provoca o efeito contrário, reduzindo a dosagem necessária.

Tabela 3. Concentrações de cor e turbidez nas águas brutas e tratadas nas dosagens ótimas obtidas de $Al_2(SO_4)_3$, considerando diferentes TML e TDC.

TMR = 30 s; RMR = 100 rpm; RML = 40 rpm					
	Água bruta	**Água tratada**			
		TML = 20 min			
		TDC = 30 min		**TDC = 60 min**	
Dosagem ótima (mg.L^{-1})	**0**	**160**	**190**	**150**	**160**
Cor (uC)	241,33	25,78	15,78	26,89	16,89
Turbidez (NUT)	4,38	0,27	0,22	0,35	0,14
		TML = 30 min			
Dosagem ótima (mg.L^{-1})	**0**	**170**	**190**	**160**	**180**
Cor (uC)	261,33	24,67	23,56	22,44	13,56
Turbidez (NUT)	3,73	0,39	0,26	0,33	0,16
		TML = 40 min			
Dosagem ótima (mg.L^{-1})	**0**	**180**	**190**	**170**	**180**
Cor (uC)	244,67	26,89	24,67	22,44	18,00
Turbidez (NUT)	3,93	0,36	0,40	0,35	0,22

TMR – Tempo de mistura rápida; RMR – Rotação mistura rápida; RML – Rotação mistura lenta.
Fonte: Elaboração própria (2024)

Com o $Al_2(SO_4)_3$, para um tempo de decantação (TDC) de 30 minutos, o TML adequado foi de 20 minutos, uma vez que, em dosagens menores, manteve concentrações de cor semelhantes e próximas ao valor requerido para águas afluentes aos filtros na água tratada, que é de 20 uC (Brasil, 1992). Para esse mesmo TML, observa-se que ao dobrar o TDC, é possível reduzir a dosagem do coagulante para 150 mg.L^{-1}, mantendo uma cor semelhante, embora com um pequeno aumento na turbidez. Por outro lado, mantendo-se a mesma dosagem, há uma melhoria significativa na remoção da cor e da turbidez (**Tabela 3**).

Dessa forma, ao aumentar o TDC, é possível reduzir o TML, o que permite economia de energia e redução dos custos de construção dos floculadores, quando utilizados processos mecanizados e hidráulicos, respectivamente.

Ao aumentar o TDC para 60 minutos, mantendo o TML em 20 minutos e a dosagem de 160 mg.L^{-1}, a cor da água reduz para 16,89 uC. Caso se opte por manter uma cor na água tratada semelhante ao valor inicial, é possível reduzir a dosagem de $Al_2(SO_4)_3$ para 150 mg.L^{-1} (**Tabela 3**), removendo assim a cor residual nos filtros.

Com o $Al_2(SO_4)_3$, para TML e TDC, respectivamente, de 20 e 30 minutos e dosagem de 160 mg.L^{-1}, foram observadas as melhores eficiências de remoção de cor e turbidez, ao aumentar o TDC para 60 minutos, há uma melhoria nas eficiências de remoção (**Figura 1**). Para TML de 40 minutos, as dosagens aumentam para 180 e 190 mg.L^{-1}, mantendo a cor remanescente (**Tabela 3**) e eficiências de remoção semelhantes (**Figura 1**). No entanto,

observa-se aumento da turbidez da água tratada (**Tabela 3**) e redução da eficiência de remoção

(**Figura 1**).

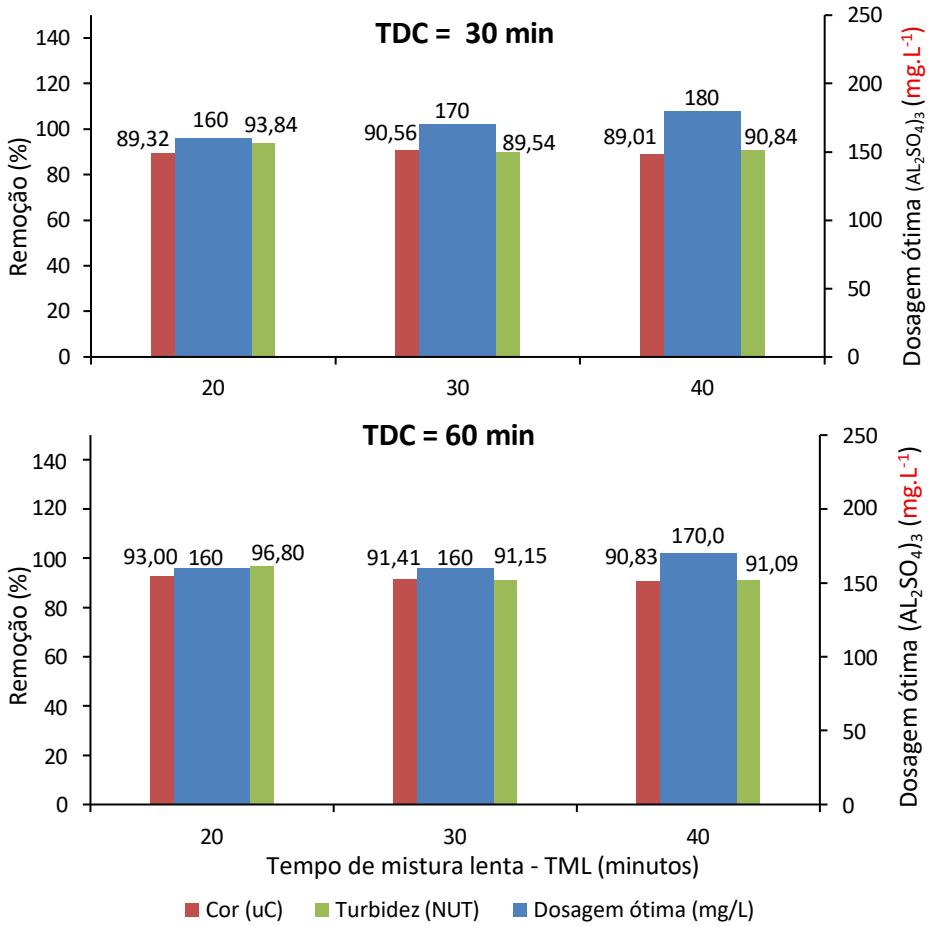


Figura 1. Eficiências de remoção de cor e turbidez para diferentes TML e TDC de 30 (a) e 60 (b) minutos nas dosagens ótimas de $Al_2(SO_4)_3$.

Aumentando-se o TDC para 60 minutos, mantendo o TML em 20 minutos e a dosagem ótima de $Al_2(SO_4)_3$ em 160 mg.L^{-1}, observa-se uma melhoria nas eficiências de remoção de cor e turbidez (**Figura 1**).

Com o coagulante MO, para TML e TDC, respectivamente, de 20 e 60 minutos, as remoções são mais estáveis e decrescem proporcionalmente ao aumento das dosagens de coagulante, tornando-se aproximadamente constantes para dosagens acima de 1200 mg.L^{-1}. Ao aumentar o TML para 30 minutos, mantendo o mesmo TDC, a dosagem ótima reduz para 800 mg.L^{-1}, embora a cor da água tratada não tenha atingido o valor adequado para águas decantadas, que é de 20 uC (Brasil, 1992). Ao aumentar o TDC para 120 minutos, mantendo a

dosagem ótima de 800 $mg.L^{-1}$, observa-se redução na concentração de cor da água tratada,

sendo este resultado melhor para TML de 30 minutos.

Nas **Tabelas 4**, observam-se as concentrações de cor e turbidez na água bruta e tratada (clarificada) com dosagens ótimas de MO para os diferentes TML e TDC.

Tabela 4. Concentrações de cor e turbidez nas águas brutas e tratadas nas dosagens ótimas de MO, considerando diferentes TML e TDC.

	TMR = 30 s; RMR = 100 rpm; RML = 40 rpm									
	TML = 20 min									
	Água bruta	**TDC = 60 min**				**Água bruta**	**TDC = 120 min**			
Dosagem ótima ($mg.L^{-1}$) e %	**0**	**1800**	**%**	**-**	**-**	**0**	**600**	**%**	**800**	**%**
Cor (uC)	**183,33**	56,67	68,09	-	-	**150,00**	33,33	77,78	32,22	78,52
Turbidez (NUT)	**1,88**	0,98	47,87	-	-	**0,83**	0,46	45,10	0,25	69,87
	TML = 30 min									
	Água bruta	**TDC = 60 min**				**Água bruta**	**TDC = 120 min**			
Dosagem ótima ($mg.L^{-1}$)	**0**	**600**	**%**	**800**	**%**	**0**	**800**	**%**	**1000**	**%**
Cor (uC)	**128,00**	44,44	65,28	43,33	66,14	**127,78**	25,56	80,00	24,44	80,87
Turbidez (NUT)	**0,46**	1,08	-134,78	1,02	-121,74	**1,25**	0,53	57,60	1,24	0,8

TMR – Tempo de mistura rápida; RMR – Rotação mistura rápida; RML – Rotação mistura lenta.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Com a MO, para TML e TDC, respectivamente, de 30 e 120 minutos, embora as concentrações de cor na água tratada estejam próximas de 20 uC, observou-se aumento da turbidez. As eficiências de remoção foram semelhantes àquelas obtidas com TML de 20 minutos, aproximadamente 78,00% para dosagens menores ou iguais a 800 $mg.L^{-1}$ (**Tabela 4**). Nessa dosagem, para TML de 20 minutos, a eficiência de remoção da turbidez foi maior. Dessa forma, TML superiores a 20 minutos sugerem que ocorre quebra dos flocos, o que reflete na redução da eficiência de remoção e na necessidade de TDC superiores a 120 minutos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que, tanto para o coagulante metálico [$Al_2(SO_4)_3$] quanto para o coagulante orgânico natural (MO), o TM) mais adequado é de 20 minutos, sendo TDC

fundamental para manter uma boa eficiência do processo. Para coagulantes inorgânicos, um TDC de 30 minutos é satisfatório, porém, ao aumentar para 60 minutos, ocorre uma melhoria da eficiência, embora não expressiva. Para coagulantes orgânicos naturais, as dosagens precisam ser aproximadamente cinco vezes maiores para alcançar uma eficiência um pouco menor, e o TDC deve ser, no mínimo, de 120 minutos, o que implica em maiores dimensões dos decantadores.

Para águas com cor muito elevada, como no caso estudado, as dosagens de $Al_2(SO_4)_3$ são elevadas e podem resultar em residual de alumínio na água, além de produzir um maior volume de lodo, elevando os custos do tratamento e do monitoramento. No caso do coagulante orgânico natural, as dosagens são muito maiores em comparação ao $Al_2(SO_4)_3$, porém não há produção de residual de alumínio e o volume de lodo gerado é menor.

Caso se deseje manter o uso do $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante primário, pode-se reduzir a sua dosagem utilizando a MO ou outro coagulante orgânico natural ou sintético como auxiliar da coagulação.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo financiananciamento e ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas por proporcionar a infraestrurura para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baptista, A. T. A.; Silva, M. O.; Gomes, R. G.; Bergamasco, R.; Vieira, M. F.; Vieira, A. M. S. "Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment". *Separation and Purification Technology*, v. 180, p. 114-124, 2017. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.040.

Brasil. Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). Normas brasileiras - NBR 12216. 1992. "Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público", 18p.

Franco, C. S., Batista, M. D. A., Oliveira, L. F. C. de ., Kohn, G. P., e Fia, R. (2017). "Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT". *Engenharia Sanitaria e Ambiental,* 22(4), 781–788. https://doi.org/10.1590/S1413-41522017145729

Heiderscheidt, E., Tesfamariam, A., Pulkkinen, J., Vielma, J., e Ronkanen, A. 2020. "Solids management in freshwater-recirculating aquaculture systems: Effectivity of inorganic and organic coagulants and the impact of operating parameters". *Science of The Total Environment*, v. 742, n. 10 November, 140398. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.140

Marques, A. R; Abreu, F. A. "Eficiência do coagulante extraído de *Moringa Oleifera Lam.* no tratamento de água pela tecnologia de flotação". Monografia, curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.

Pacheco. I. S. 2021. "Investigação de hemiceluloses catiônicas obtidas de cascas de amendoim como coagulante primário no tratamento físico-químico de efluente sintético de laticínio". Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia.

Paterniani, J. E. S.; Mantovani, M. C.; Anna, M. R. S. "Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 6, p. 765-771, 2009. https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000600015

Pritchard, M.; Craven, T.; Mkandawire, T.; Edmondson, A. S.; O'neill, J. G. "A study of the parameters affecting the effectiveness of Moringa oleifera in drinking water purification". *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 35, n. 13-14, p. 791-797, 2010. https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.020

Silva, A. L. O., Ramos, M. S., Luiz, M. A., Souza, N. C. et al., 2020. "Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada". *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, jan. ISSN 2525-8761

Vaz, L. G. L. Klen, M. R. F. Veit, M. T., Silva, E. A.; Barbiero, T. A. 2010. Bergamasco, R. "Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia". *Eclética química*, v. 35, n. 4, p. 45 - 54. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037607

POTENCIAL CLARIFICANTE DE BIOCOAGULANTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA: MORINGA E BABOSA

[1]Hugmario Gomes dos Santos Filho, [2]Maria Eduarda Medrado Filgueira, [3]Paulo Henrique Medrado Lima e [4]Elizangela Maria de Souza.

[1]Graduando em Agronomia, IFSertâoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, hugmario.gomes@aluno.ifsertao-pe.edu.br , ORCID: 0009-0009-7835-3563 ;
[2]Graduanda em Agronomia, IFSertâoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, maria.medrado1@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0003-0739-9333;
[3]Graduando em Agronomia, IFSertâoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, paulo.henrique4@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0005-8557-5982;
[4]Doudora em Zootecnia, Docente, IFSertâoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0000-0002-8949-3774.

Eixo Temático III – Tecnologias para abastecimento de água
Biocoagulantes como alternativas para tratamento de água .

RESUMO

O acesso à água de qualidade ainda representa um desafio em muitas comunidades do semiárido brasileiro. Nesse cenário, os biocoagulantes surgem como alternativa sustentável, de baixo custo e fácil acesso. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial clarificante da babosa (*Aloe vera*) e da moringa (*Moringa oleifera*), aplicadas isoladamente e em combinação, no tratamento de água de açude do Projeto Senador Nilo Coelho – Núcleo 6 (N6), em Petrolina-PE. Foram realizados quatro tratamentos com amostras de 100 mL, variando as proporções de babosa e moringa. Observou-se melhora visual da claridade da água, indicando a eficiência dos biocoagulantes como agentes naturais de coagulação/floculação. Os resultados apontam a viabilidade de uso desses materiais como alternativa sustentável aos coagulantes químicos convencionais.

Palavras-chave: sustentabilidade, clarificação, babosa, moringa, tratamento.

INTRODUÇÃO

A invisibilização e a falta de políticas públicas evidenciam a precariedade do acesso à água de qualidade, refletindo o descaso governamental diante de algo essencial para melhorar a qualidade de vida da sociedade. Nesse contexto, tornou-se necessária a busca por alternativas como os biocoagulantes, capazes de reduzir a turbidez e melhorar a claridade da água.

Entre os mais estudados destacam-se a moringa (*Moringa oleifera*), cujas sementes contêm proteínas que favorecem a coagulação, e a babosa (*Aloe vera*), rica em compostos com ação aglutinante. Esses materiais se apresentam como opções sustentáveis e de fácil acesso,

especialmente em comunidades rurais. Neste trabalho, foram avaliados diferentes tratamentos em triplicata, utilizando babosa e moringa de forma isolada e em combinação, para verificar seu potencial clarificante na água de açude.

MATERIAIS E MÉTODOS

A água utilizada nos experimentos foi coletada em um açude localizado no Projeto Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 6 (N6), no município de Petrolina-PE, e posteriormente acondicionada em béqueres de 100 mL, que serviram como recipientes experimentais. Para a realização dos testes, foram empregados dois biocoagulantes naturais: o extrato da polpa da babosa (*Aloe vera*), preparado manualmente, e o pó obtido a partir da trituração das sementes secas de moringa (*Moringa oleifera*).

Foram conduzidos quatro experimentos distintos em triplicata, aplicando-se diferentes proporções e combinações: (1) 1 mL do suco da babosa; (2) 0,2 g do pó da moringa; (3) 1 mL de babosa associado a 0,2 g de moringa; e (4) 0,5 mL de babosa combinado com 0,1 g de moringa. As amostras foram observadas em intervalos de 10, 20 e 30 minutos, 1 hora e 24 horas, considerando-se a coloração e a turbidez da água. Após 24 horas, foi realizada a medição do pH de cada tratamento, obtendo-se os valores de 7,53; 7,34; 7,26 e 7,42, respectivamente.

Figura 1. Açude- Projeto Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 6.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

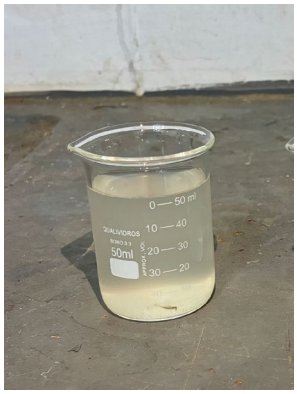


Figura 2. Água pura, sem tratamento.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

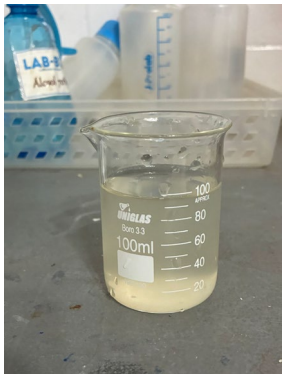


Figura 3. Tratamento 1- Babosa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

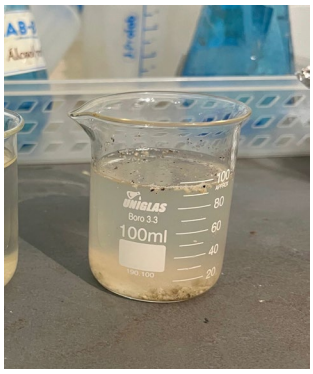


Figura 4. Tratamento 2- Moringa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 5. Tratamento 3- 0,2 g de moringa e 1 mL de babosa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 6. Tratamento 4- 0,1 g de moringa e 0,5 mL de babosa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os experimentos foi possível observar um efeito clarificante visível, ainda que cada tratamento tenha apresentado particularidades. A babosa isolada mostrou resultados expressivos de redução da turbidez já nas primeiras observações, enquanto a moringa apresentou efeito mais gradual. As combinações, por sua vez, também se mostraram eficazes, sugerindo um possível efeito complementar entre cada biocoagulante.

Para melhorar a avaliação visual e auxiliar na remoção de partículas suspensas, após o período de coagulação as amostras foram filtradas utilizando filtros de papel do tipo doméstico, tradicionalmente utilizados para preparo de café. Essa etapa foi importante para evidenciar a diferença de claridade entre os tratamentos, já que os flocos formados ficaram retidos no filtro, permitindo maior percepção da limpidez da água.

Após 24 horas, os valores de pH medidos mantiveram-se próximos à neutralidade (entre 7,26 e 7,53), condição adequada para águas destinadas ao consumo humano. Além disso, um teste de aceitabilidade com cerca de 30 pessoas avaliou o aroma e o odor das amostras. Nesse caso, os resultados mais bem aceitos foram a babosa isolada e a combinação de 0,5 mL de babosa + 0,1 g de moringa, com destaque para a primeira.

Esses resultados reforçam o potencial da Aloe vera e da Moringa oleifera como biocoagulantes naturais. No entanto, é importante destacar que os dados obtidos são observacionais e qualitativos, sendo necessárias análises físico-químicas e microbiológicas para comprovar a eficiência em escala ampliada e atestar a potabilidade da água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tratamentos demonstraram que o suco de babosa (Aloe vera) e o pó de sementes de moringa (*Moringa oleifera*) possuem potencial como biocoagulantes naturais, promovendo a clarificação da água de forma visível. A babosa apresentou efeito mais rápido, enquanto a moringa atuou de forma gradual, e as combinações mostraram efeito complementar.

O uso de filtros de papel permitiu melhor visualização da claridade, e os valores de pH permaneceram próximos à neutralidade, indicando segurança química para consumo. Testes sensoriais mostraram boa aceitabilidade das amostras, especialmente com babosa isolada.

Embora os resultados sejam promissores, eles são observacionais, e análises físico-químicas e microbiológicas são necessárias para confirmar a eficiência e a potabilidade da água em escala maior. Ainda assim, esses biocoagulantes naturais mostram-se como alternativas sustentáveis e acessíveis para o tratamento de água.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a grande força, a compreensão e o tempo da professora Elizangela Maria para realização de todo este experimento, aos meus colegas e coautores e ao II Sanea Brasil pela oportunidade de apresentar este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, Isabella Dantas. Coagulação de resíduos por aloe vera (a. Barbadensis, miller) em águas poluídas: uma estação de tratamento de água portátil. 2023. Trabalho de conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Polímeros) – Fatec José Crespo Gonzales, Sorocaba, 2023.

Francisco, Adriana Ribeiro, e Camila Clementina Arantes. "Utilização Conjunta de Coagulantes Naturais à Base de *Moringa oleifera* e *Aloe vera* no Tratamento de Água do Rio Solimões – Amazonas." Anais do *33º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, [local do evento], 2025, p. [páginas]. ABES.

Santos, Michelle Silva, Milena Martins da Silva, Cláudia Maria do Socôrro Cruz Fernandes Chelala, Lina Bufalino, e Karina Cardoso Valverde. "Alternativas Sustentáveis para o Tratamento de Água com o Uso de Coagulantes Naturais: Uma Revisão." In *Tópicos Atuais em Ciências e Tecnologia das Águas*, vol. 1, 23–36. Macapá: Editora Científica, 2024.

Santos, Rafael Leite dos. *Uso da Moringa Oleífera como Coagulante no Tratamento de Água: Revisão da Literatura.* Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2022. Acesso em 27 de setembro de 2025. https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/8568.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037622

POTENCIAL DO MANDACARU (*CEREUS JAMACARU*) COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL

POTENCIAL DEL MANDACARU (*CEREUS JAMACARU*) COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL

POTENTIAL OF MANDACARU (*CEREUS JAMACARU*) AS A COAGULANT IN SURFACE WATER TREATMENT

Kelly Anselmo de Souza[1], Selma Cristina da Silva [2], Rivã Ribeiro Nascimento[3]

[1] Engenheira Agrônoma CCAAB/UFRB. Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícola CCAAB/UFRB. Doutoranda em Engenharia Agrícola CCAAB/UFRB. Cruz das Almas-Bahia, Brasil. kellysouza_12@hotmail.com, nº de ORCID: 0009-0008-9476-5413

[2] Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Ambiental da UFBA. Mestre em Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Civil da UFCG. Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia da UnB. Pós Doutora em Saneamento pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Professora Associada – CETEC/UFRB. Cruz das Almas-Bahia, Brasil. selma@ufrb.edu.br, nº de ORCID: 0000-0002-0387-6943

[3] Graduando em Agronomia CCAAB/UFRB. Cruz das Almas-Bahia, Brasil. rivfrana@yahoo.com.br, nº de ORCID: 0000-0001-6675-679X

Eixo Temático 03 – TECNOLOGIAS PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA
Biocoagulantes como alternativas para o tratamento de água.

Eje Temático 03 – TECNOLOGÍAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA
Biocoagulantes como alternativas para el tratamiento de agua.

Thematic Axis 03 – TECHNOLOGIES FOR WATER SUPPLY
Biocoagulants as alternatives for water treatment.

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o potencial coagulante do mandacaru no processo de clarificação de água superficial. Foram testadas diferentes soluções extratoras (NaCl 3M; HCl 0,1M; NaCl 1%; HCl 0,01M; NaOH 0,1M; NaCl 0,3M) para obtenção do extrato do mandacaru. Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados pelo método de jarros (*Jar Test*). Os parâmetros analisados nas amostras de água bruta e tratada foram cor, turbidez, e pH. As variáveis analisadas foram comparadas por análise de variância (ANOVA) e o efeito dos tratamentos verificados pelo teste F, ambos com nível de significância de 5%. Os resultados mostraram maior eficiência na remoção de turbidez com os extratos obtidos em HCl 0,1M e NaCl 1%, com remoções 71,07% e 71,31%, respectivamente. No entanto, a remoção de cor foi baixa em todas as condições. O extrato obtido com NaOH apresentou desempenho negativo. Apesar de variações significativas, o pH permaneceu dentro dos limites normativos (6,5–8,5), exceto para o tratamento com HCl 0,1M. Conclui-se que o mandacaru apresenta potencial como coagulante natural, podendo contribuir para o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e ecologicamente sustentáveis para o tratamento de água em comunidades do Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Coagulaão, Floculação, Coagulantes naturais, Semiárido nordestino, Jar Test

RESÚMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el potencial coagulante del mandacaru en el proceso de clarificación de agua superficial. Se probaron diferentes soluciones extractivas (NaCl 3M; HCl 0,1M; NaCl 1%; HCl 0,01M; NaOH 0,1M; NaCl 0,3M) para la obtención del extracto de mandacaru. Los ensayos de coagulación/floculación se realizaron mediante el método de frascos (Jar Test). Los parámetros analizados en las muestras de agua cruda y tratada fueron color, turbidez y pH. Las variables analizadas fueron comparadas mediante análisis de varianza (ANOVA) y el efecto de los tratamientos verificados por el test F, ambos con un nivel de significancia del 5%. Los resultados mostraron mayor eficiencia en la eliminación de turbidez con los extractos obtenidos en HCl 0,1M y NaCl 1%, con eliminaciones del 71,07% y 71,31%, respectivamente. Sin embargo, la eliminación de color fue baja en todas las condiciones. El extracto obtenido con NaOH presentó un desempeño negativo. A pesar de las variaciones significativas, el pH se mantuvo dentro de los límites normativos (6,5–8,5), excepto para el tratamiento con HCl 0,1M. Se concluye que el mandacaru presenta potencial como coagulante natural, pudiendo contribuir al desarrollo de tecnologías accesibles y ecológicamente sostenibles para el tratamiento de agua en comunidades del Nordeste brasileño..
Palabras clave: Coagulación, Floculación, Coagulantes naturales, Semiárido del noreste, Jar Test

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the coagulating potential of mandacaru in the process of clarifying surface water. Different extracting solutions (NaCl 3M; HCl 0.1M; NaCl 1%; HCl 0.01M; NaOH 0.1M; NaCl 0.3M) were tested to obtain the mandacaru extract. Coagulation/flocculation tests were conducted using the jar method (Jar Test). The parameters analyzed in the raw and treated water samples were color, turbidity, and pH. The analyzed variables were compared using analysis of variance (ANOVA) and the effect of treatments was verified by the F test, both at a significance level of 5%. The results showed the greatest efficiency in turbidity removal with the extracts obtained from HCl 0.1M and NaCl 1%, with removals of 71.07% and 71.31%, respectively. However, color removal was low under all conditions. The extract obtained with NaOH showed negative performance.Despite significant variations, the pH remained within the normative limits (6.5–8.5), except for the treatment with 0.1M HCl. It is concluded that the mandacaru shows potential as a natural coagulant, which can contribute to the development of accessible and environmentally sustainable technologies for water treatment in communities in the Brazilian Northeast.
Keywords: Coagulation, Flocculation, Natural coagulants, Northeast semi-arid, Jar Test

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água potável e os desafios impostos pela contaminação de fontes hídricas têm impulsionado a busca por tecnologias de tratamento que sejam, ao mesmo tempo, eficientes e ambientalmente sustentáveis. Tradicionalmente, o uso de coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio [Al2(SO4)3], tem se destacado na remoção de impurezas

em processos de tratamento de água. Contudo, riscos ambientais e de saúde associados ao emprego desses reagentes têm estimulado a investigação de alternativas naturais e de baixo custo.

Nos últimos anos, extratos e pós de origem vegetal têm ganhado destaque como coagulantes naturais, oferecendo alternativas sustentáveis para o tratamento de água. Entre essas opções, o mandacaru (*Cereus jamacaru*), um cacto típico da Caatinga e amplamente distribuído no semiárido brasileiro, apresenta características promissoras para essa aplicação. Adaptado a condições edafoclimáticas adversas, possui uma composição bioquímica rica em polissacarídeos e outros compostos que favorecem a formação de flocos durante a coagulação, contribuindo para a clarificação da água (Georgin *et al.,* 2020).

Apesar de sua relevância ecológica e cultural, ainda há poucos estudos sobre suas propriedades coagulantes. No entanto, pesquisas indicam que o *Cereus jamacaru* é uma fonte de proteínas antimicrobianas com potencial biotecnológico (Mota *et al.,* 2019). Além disso, suas propriedades biodegradáveis e renováveis o tornam uma alternativa promissora para aplicações ambientais, especialmente no tratamento de água em comunidades vulneráveis.

Sua composição química inclui ligninas, flavonoides, cumarinas e taninos, tanto condensados quanto hidrolisáveis, substâncias que apresentam grupos funcionais com alta capacidade de interação química, favorecendo processos como a biossorção (Medeiros *et al.,* 2019). Essas características tornam o mandacaru um recurso valioso para soluções sustentáveis no manejo de recursos hídricos.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo avaliar o potencial coagulante do mandacaru no tratamento de água, analisando sua eficiência no processo de clarificação da água para abastecimento humano. A pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento de processos sustentáveis e economicamente viáveis para o tratamento de água, especialmente em regiões onde os recursos hídricos são escassos e o uso de produtos químicos pode ser de custo elevado e de disponibilidade limitada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tratamento e Reuso de Águas (LABTARE) do Pavilhão de Laboratórios do Centro de Ciência Exatas e Tecnológicas (CETEC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

A água foi coletada no Rio Capivari, sub-bacia do Rio Paraguaçu, localizado nas

coordenadas 12°39'35" S e 39° 2'46" W (cota 139,6 m) na comunidade da Sapucaia, zona rural do Município de Cruz das Almas-Ba, no período de julho à setembro de 2024. A qualidade das águas brutas e tratadas (clarificadas) foram caracterizadas quanto a cor (UC), turbidez (NTU) e pH.

Os cladódios de mandacaru (*Cereus jamacaru*) foram coletados de uma planta localizada na Fazenda Experimental da UFRB (**Figura 1**).

Figura 1. Planta de mandacaru na Fazenda Experimental da UFRB. Planta de mandacaru (*Cereus jamacaru*) (a); Detalhe do caule (b).
Fonte: Elaboração própria (2024).

Após a coleta, o material foi submetido a uma série de etapas para a obtenção do pó, utilizado na formulação do coagulante orgânico: **remoção de espinhos:** os espinhos dos cladódios foram removidos manualmente (**Figura 2a**); **lavagem:** Após a remoção dos espinhos, os cladódios foram lavados inicialmente com água da torneira e, posteriormente, com água destilada; **corte:** os cladódios foram cortados em pequenos pedaços para facilitar o processo de secagem (**Figura 2b**); **secagem:** Os pedaços foram desidratados em duas etapas: primeiro, em uma estufa a 105 °C por 3 horas, para eliminação da umidade superficial; e depois a 65 °C por 20 horas, assegurando a desidratação completa do material para a trituração; **trituração:** o material foi triturado em um liquidificador até a obtenção de um pó fino (**Figura 2c**).

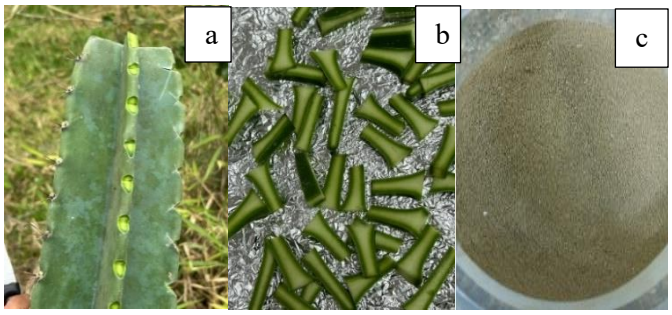


Figura 2. a. Cladódios de mandacaru sem espinho; **b.** Corte dos cladódios em pequenos pedaços para facilitar a secagem; **c.** Mandacaru em pó fino.
Fonte: Elaboração própria (2024).

A propriedade coagulante do mandacaru foi extraída em soluções ácidas, alcalinas e salinas de acordo com as metodologias de Zara; Thomazini; Lenz (2012) e de ELsayed *et al.,* (2020) de modo a observar qual dessas soluções fornecerá os melhores resultados.

Para isso, 15 g do pó de mandacaru foi suspenso em 150 mL do solvente, seguido de agitação por 20 minutos a temperatura ambiente (20 ± 1°C) em um agitador magnético. Após a extração dos compostos ativos, a solução foi filtrada em filtro de café para a remoção de impurezas, garantindo maior pureza e eficiência. O extrato filtrado foi então utilizado diretamente para evitar os efeitos do envelhecimento.

Para determinar a eficácia do mandacaru (*Cereus jamacaru*) como coagulante principal, foram testadas concentrações de 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 mg/L, extraídas em diferentes soluções: NaCl 0,3 N, NaCl 1%, HCl 0,1 M, HCl 0,01 M e NaOH 0,1 M. As condições de ensaios foram as seguintes: mistura rápida a 100 rpm em 1 min, mistura lenta de 30 rpm por 15 min e 120 min de decantação.

As variáveis analisadas foram comparadas por análise de variância (ANOVA) e o efeito das soluções extratoras verificado pelo teste F, ambos com nível de significância de 5%. Para comparações múltiplas de médias foram utilizados o teste de Tukey ($p \leq 0,05$); enquanto a análise de regressão foi aplicada para avaliar o efeito das diferentes doses de coagulantes. A análise estatística foi realizada utilizando o software R, versão 4.4.0 (R CORE TEAM, 2024), e os pacotes ExpDes.pt (Ferreira *et al*., 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Figura 3** mostra os valores médios de remoção de turbidez em diferentes doses de extrato de mandacaru. Verifica-se que a eficiência variou conforme a solução extratora

utilizada. A solução NaOH 0,1M aumentou a turbidez, evidenciando sua ineficácia, e por isso foi excluída das análises estatísticas.

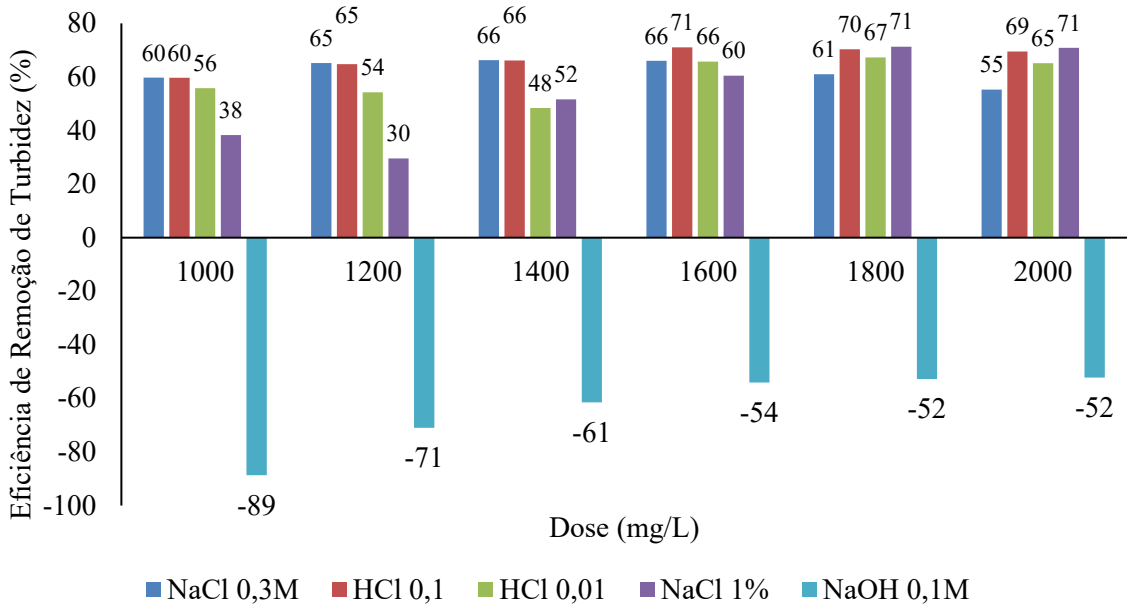


Figura 3. Eficiência de remoção de turbidez (%) em função das diferentes soluções extratoras e doses de mandacaru.
Fonte: Elaboração própria (2024).

A **Tabela 1** apresenta a Análise de Variância (ANOVA) para os parâmetros pH, remoção de cor e turbidez avaliados no processo de coagulação/floculação utilizando quatro soluções extratoras (HCl 0,1M, HCl 0,01 M, NaCl 0,3 M e NaCl 1%). Observa-se que houve interação significativa para Solução extratora*Dose de coagulante ($p < 0,001$), indicando que a solução extratora e a dose do coagulante desempenham um papel importante na extração de componentes coagulantes do mandacaru para melhor eficiência do tratamento. Os coeficientes de variação obtidos foram de 4,25% para turbidez, 6,11% para cor e 0,35% para pH, valores considerados baixos (<10%), o que indica boa precisão experimental, baixa dispersão dos dados e elevada confiabilidade nos resultados obtidos.

Tabela 1. Esquema da Análise de Variância para pH, remoção de turbidez e cor com diferentes soluções extratoras.

		Turbidez (%)		**Cor (%)**		**pH**	
	GL	SQ	QM	SQ	QM	SQ	QM
Solução	3	1649,30	549,76***	3651,10	1217,03***	134,537	44,846***
Dose	5	2463,10	492,62***	1077,40	215,48***	0,606	0,1212***
Solução*Dose	15	3411,90	227,46***	336,50	22,43***	0,526	0,0351***
Resíduo	48	318,00	6,63	69,10	1,44	0,026	0,001
Total	71	7842,20	110,45	5134,10	72,31	146,126	72,31
CV (%)		4,25		6,11		0,35	

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.
*** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste F.
NS Não significativo a 5% de probabilidade pelo testeF.
Fonte: Elaboração própria (2024).

Os modelos ajustados para as soluções de NaCl 0,3 M e HCl 0,1 M foram significativos ($p < 0,01$), explicando 98,75% e 95,10% da variação dos dados, respectivamente (**Figura 4**). A dose ótima do coagulante orgânico de mandacaru para a máxima remoção de turbidez foi 1281,25 mg/L, resultando em uma eficiência estimada de 59% para NaCl 0,3 M, e para HCl 0,1 M, a dose ótima foi 1528 mg/L, com remoção de 62,19%.

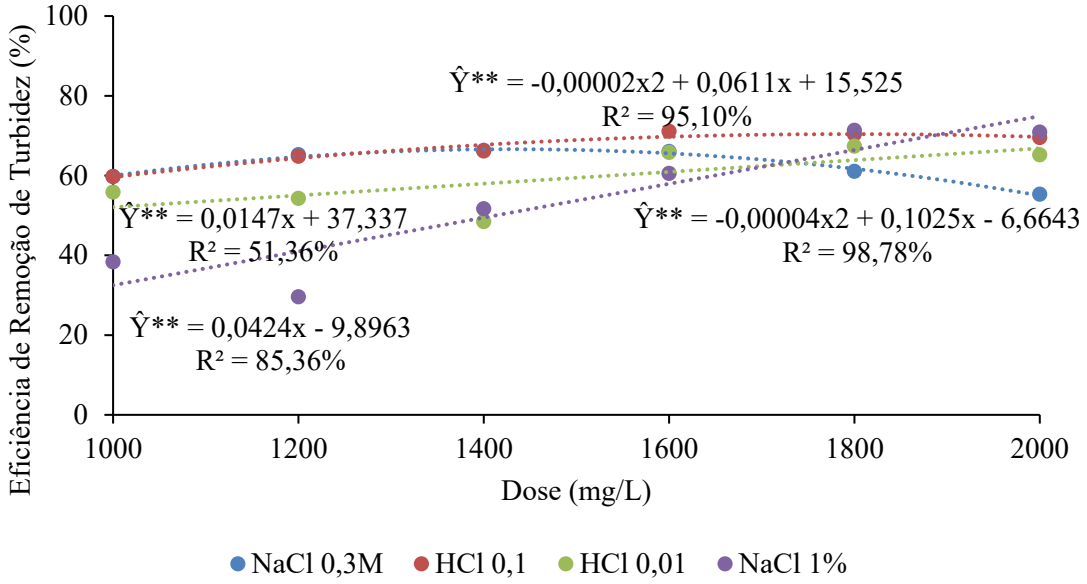


Figura 4. Regressão linear para doses de mandacaru em função da remoção de turbidez (%).
Fonte: Elaboração própria (2024).

Para as soluções de NaCl 1% e HCl 0,01 M, os modelos lineares ajustados explicaram 85,36% e 51,36 % da variação dos dados, respectivamente. Nessas condições, a dose ótima do coagulante foi 1800 mg/L, resultando em remoções máximas de turbidez de 71,31% para NaCl 1% e 67,31% para HCl 0,01 M.

Elsayed et al. (2020) avaliaram diferentes solventes (NaCl, NaOH e água destilada) na extração de biocoagulantes a partir de sementes naturais, incluindo o feno-grego. Os resultados indicaram que a eficiência da coagulação depende diretamente da concentração do agente extrator: concentrações moderadas de NaCl (0,3 M) favoreceram a extração das proteínas coagulantes e alcançaram remoção de turbidez superior a 75%, desempenho superior ao obtido com NaOH e água destilada. Esse efeito foi associado ao fenômeno de *salting-out*, no qual o aumento da força iônica reduz a solubilidade proteica, promovendo sua dissociação e maior disponibilidade no meio. Contudo, concentrações mais elevadas (acima de 0,3 M de NaCl e 0,2 M de NaOH) reduziram a eficiência, possivelmente em razão da desnaturação proteica e consequente perda de atividade coagulante (Subramonian; Wu; Chai, 2014; Šc´Iban; Klašnja; Antov, 2009). Assim, a escolha adequada do solvente e da concentração é determinante para otimizar a extração e o desempenho do biocoagulante (Elsayed *et al.,* 2020; Kristianto *et al*., 2019).

A **Tabela 2** apresenta a eficiência média de remoção de cor (%) em função das diferentes soluções extratoras e das doses de coagulante de mandacaru. É possível verificar que a solução extratora HCl 0,1 M diferiu das demais em todas as doses analisadas. Apesar disso os percentuais de remoção de cor obtidos foram muito baixo (< 50%), o que indica uma

eficiência insuficiente para atender aos padrões desejados de clarificação da água.

Tabela 2. Média da eficiência de remoção de cor (%) em função das diferentes soluções extratoras e doses de mandacaru.

Solução extratora	Doses de mandacaru (mg/L)					
	1000	**1200**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**
HCl 0,1M	32,50 a	33,00 a	31,50 a	31,50 a	30,25 a	28,25 a
HCl 0,01M	27,66 b	23,46 b	18,77 b	20,74 b	16,05 b	12,34 b
NaCl 0,3M	21,13 c	19,07 c	17,05 c	14,73 c	12,40 c	8,79 c
NaCl 1%	16,28 d	15,76 d	16,49 c	13,40 c	7,73 d	2,06 d

Médias seguidas pela mesma minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si a 0,1% de probabilidade pelo teste de Tukey.
Fonte: Elaboração própria (2024).

A baixa remoção de cor com o aumento da dosagem de mandacaru pode estar associada à maior presença de matéria orgânica na solução, o que pode interferir na formação e sedimentação dos flocos, reduzindo a eficácia do processo de coagulação. Em comparação, o estudo de Domingues *et al.* (2020) sobre a atividade de coagulação do extrato da semente de *Zygia caulifloro*, preparado com NaCl 1M, demonstrou uma eficácia de 30,4% na remoção de cor e 74,5% na remoção de turbidez.

O pH desempenha um papel fundamental na eficiência dos coagulantes naturais no tratamento de águas. De acordo com Naceradska, Pivokonska e Pivokonsky (2019), a faixa ideal de pH para maximizar a remoção de turbidez por esses coagulantes, situa-se entre 5 e 8. Nessa faixa, ocorre a remoção eficiente de partículas inorgânicas, algas e a maioria dos compostos orgânicos responsáveis pela turbidez (Kalibbala, Olupot e Ambani, 2023). Além disso, estudos sobre o processo de coagulação indicam que a turbidez causada por partículas inorgânicas é mais efetivamente reduzida em valores próximos à neutralidade (Naceradska, Pivokonska e Pivokonsky, 2019). Esses resultados ressaltam a importância do controle do pH para otimizar o desempenho dos coagulantes naturais no tratamento de água.

Ao analisar os valores de pH após o tratamento, observou-se que, apesar das diferenças significativas entre os tratamentos, os valores permaneceram dentro dos limites estabelecidos pelas normas vigentes, que variam de 6,5 a 8,5 (Brasil, 2021), com exceção da solução ácida de HCl 0,1 M que obteve pH abaixo de 6,0 a partir da dosagem 1600 mg/L **(Figura 5)**.

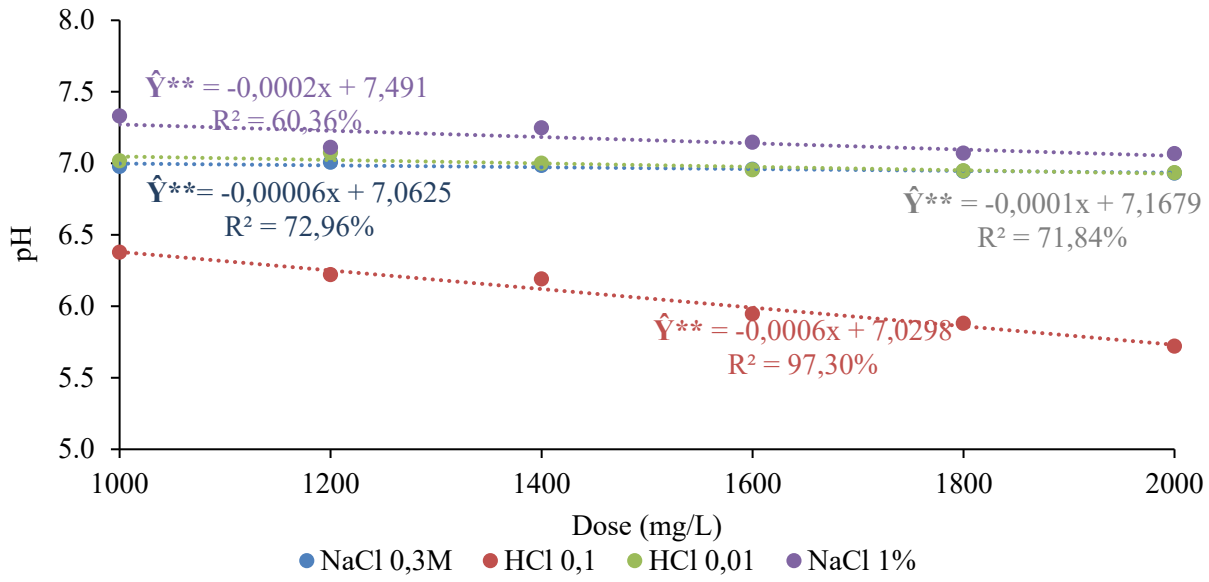


Figura 5. Gráfico de regressão para doses de mandacaru em função pH.
Fonte: Elaboração própria (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que a solução extratora exerce influência decisiva sobre a eficiência coagulante do mandacaru. Entre as condições avaliadas, os extratos obtidos com HCl 0,1M e NaCl 1% apresentaram os melhores desempenhos na remoção de turbidez, alcançando eficiências de 71,07% e 71,31%, respectivamente, especialmente na faixa de 1600 a 1800 mg/L. Por outro lado, o uso de NaOH mostrou-se inadequado, pois comprometeu a qualidade da água tratada. Em relação ao pH, os valores permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela legislação (6,5–8,5), com exceção do tratamento com HCl 0,1M. Esses resultados reforçam o potencial do mandacaru como coagulante natural, mas também destacam a necessidade de selecionar adequadamente a solução extratora para garantir maior eficiência e segurança no processo de tratamento de água.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRB, a CAPES, ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) e; ao Centro de Ciência Exatas e Tecnológicas da UFRB pelo incentivo as pesquisas que possibilitaram, também, a publicação desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os

procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 83, p. 122-123, 7 maio 2021.

Domingues, J. A., Consolin Filho, N., Souza, L. A. G. D., Medeiros, F. V. D. S. 2020. "Coagulation activity of the seed extract from Zygia cauliflora (WILLD.) KILLIP applied in Water Treatment". *Revista Ambiente & Água*, 15(6): e2611. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2611

Elsayed, E. M.; Nour El-Den, A. A.; Elkady, M. F.; & Zaatout, A. A. 2020. "Comparison of coagulation performance using natural coagulants against traditional ones". *Separation Science and Technology*, 1 (9). https://doi.org/10.1080/01496395.2020.179567

Ferreira, E.B., Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. 2021. "expdes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0". URL https://CRAN.R-project.org/package=expdes.pt

Georgin, J.; Franco, D.; Drumm, F. C.; Grassi, P.; Netto, M. S.; Allasia, D.; Dotto, G. L. 2020. "Powdered biosorbent from the mandacaru cactus (*Cereus jamacaru*) for discontinuous and continuous removal of Basic Fuchsin from aqueous solutions". *Powder Technology*, 36: 584-592. DOI:10.1016/j.powtec.2020.01.064

Kalibbala, H. M.; Olupot, P. W., Ambani, O. M. 2023. "Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment". *Results in Engineering,* 17, 100945, ISSN 2590-1230. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100945.

Kristianto, H., Rahman, H., Prasetyo, S., and Sugih, A. K. 2019. "Removal of Congo red aqueous solution using Leucaena leucocephala seed's extract as natural coagulant". *Applied Water Science*, 9 (4). https://doi.org/10.1007/s13201-019-0972-2

Manual Clavisa**.** Manual de Procedimentos da Coordenação de Vigilância Sanitária do Estado da Bahia. Salvador: Secretaria da Saúde do Estado da Bahia, 2024. Disponível em: https://www.saude.ba.gov.br/wp-content/uploads/2024/02/29.02.24Manual-CLAVISA.pdf. Acesso em: 05 jan. 2025.

Medeiros, I. U. De, Medeiros, R. A. De; Bortolin, R. H.; Queiroz, F. M. De; Silbiger, V. N.; Pflugmacher, S.; Schwarz, A. 2019. "Genotoxicity and pharmacokinetic characterization of *Cereus jamacaru* ethanolic extract in rats". *Biosci Rep*, 39(1). https://doi.org/10.1042/BSR20180672

Mota, T. R.; Linhares; H. V. S.; Araújo-Filho, J. H.; Veras, D. M.; Costa, H. P. S.; Souza, C. M. P.; … Martins, T. F. 2019. "Protein extract from Cereus jamacaru (DC.) inhibits Colletotrichum gloeosporioides growth by stimulating ROS generation and promoting severe cell membrane damage". *Microbial Pathogenesis,* 130: 71–80. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.02.033

Naceradska, J.; Pivokonska, L.; Pivokonsky, M. 2019. "On the importance of pH value in coagulation". *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua,* 68 (3): 222–230. https://doi.org/10.2166/aqua.2019.155

R CORE TEAM. R: 2023. "A Language and Environment for Statistical Computing". Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 4 jun. 2024

Šc´Iban, M.; Klašnja, M.; Antov, B. Š.2009. "Removal of Water Turbidity by Natural Coagulants Obtained from Chestnut and Acorn". *Bioresource Tech*., 100:6639–6643. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047

Subramonian, W.; Wu, T. Y.; Chai, S. 2014. "A Comprehensive Study on Coagulant Performance and Floccharacterization of Natural Cassia Obtusifolia Seed Gum in Treatment Ofraw Pulp and Paper Mill Effluent". *Industrial Crops and Prod.* 61:317–324. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.055Get rights and content

Zara, R, F; Thomazini, M H; Lenz, G, F. 2012. "Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água". *Revista de estudos ambientais* (Online) 14(2):75-83. DOI:10.7867/1983-1501.2012V14N2P75-83

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037654

QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA COMUNIDADE SÍTIO OLHO D'ÁGUA DO EUZÉBIO EM JUCÁS – CE

CALIDAD DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA COMUNIDAD SÍTIO OLHO D'ÁGUA DO EUZÉBIO EN JUCÁS – CE

QUALITY OF WATER SUPPLY TO THE SÍTIO OLHO D'ÁGUA DO EUZÉBIO COMMUNITY IN JUCÁS – CE

Daniele Alves[1], Catarina Taveira[2], Iarley Bezerra[3] Francisca Simões[4] Germário Araújo[5]

[1]Estudante do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, danieleaa00@gmail.com, 0009-0008-7637-2472;
[2]Estudante do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, catarinalimat@gmail.com, 0009-0004-4043-9402;
[3]Estudante do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, iarley.souza62@aluno.ifce.edu.br, 0009-0009-2702-2633;
[4]Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, adriana.fernandes@ifce.edu.br, 0000-0003-2411-411X;
[5]Doutor em Engenharia Civil área de concentração Saneamento, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, germario@ifce.edu.br, 0000-0002-3388-0265.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para o Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Cambio Climático
Tecnologías para el Abastecimiento de Agua Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo del agua para consumo humano.

Thematic Axis 03 – Climate Change
Technologies for Water Supply Quality aspects: characterization and monitoring of water for human consumption.

RESUMO

A água é um recurso essencial para a saúde humana e o equilíbrio ambiental, sendo sua qualidade determinante na prevenção de doenças de veiculação. Em comunidades rurais do semiárido brasileiro, a escassez hídrica, a ausência de saneamento básico e o uso de mananciais superficiais configuram fatores críticos para a segurança do abastecimento. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano na comunidade rural Sítio Olho D'água do Euzébio, localizada em Jucás, Ceará, composta por cerca de 53 famílias. Foram coletadas amostras em cinco pontos do sistema de abastecimento, abrangendo desde a fonte de captação até pontos domiciliares de consumo. Foram determinadas análises físicas, químicas e microbiológicas e os resultados foram comparados aos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 pra consumo humano. Os resultados indicaram não conformidade em diversos parâmetros, como concentrações elevadas de amônia, ausência de cloro residual livre, valores críticos de ferro e sólidos dissolvidos totais, além da presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em diferentes pontos do sistema. Tais achados evidenciam falhas no processo e vulnerabilidade à contaminação fecal, configurando risco à saúde pública local.

Palavras-chave: Potabilidade da água; Saúde pública; Comunidades rurais; Saneamento básico.

RESÚMEN

El agua es un recurso esencial para la salud humana y el equilibrio ambiental, y su calidad es crucial para la prevención de enfermedades transmitidas por el agua. En las comunidades rurales del semiárido brasileño, la escasez de agua, la falta de saneamiento básico y el uso de fuentes superficiales de agua son factores críticos para la seguridad del suministro de agua. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano en la comunidad rural de Sítio Olho D'água do Euzébio, ubicada en Jucás, Ceará, y compuesta por aproximadamente 53 familias. Se recolectaron muestras en cinco puntos del sistema de abastecimiento, desde la fuente de captación hasta los puntos de consumo domiciliario. Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos, y los resultados se compararon con los límites establecidos por la Ordenanza GM/MS n.º 888/2021 para el consumo humano. Los resultados indicaron incumplimiento en varios parámetros, como altas concentraciones de amoníaco, falta de cloro residual libre, valores críticos de hierro y sólidos disueltos totales, y la presencia de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* en varios puntos del sistema. Estos hallazgos ponen de relieve las deficiencias del proceso y la vulnerabilidad a la contaminación fecal, lo que representa un riesgo para la salud pública local.

Palabras clave: Potabilidad del agua; Salud pública; Comunidades rurales; Saneamiento básico.

ABSTRACT

Water is an essential resource for human health and environmental balance, and its quality is crucial for preventing waterborne diseases. In rural communities in the Brazilian semiarid region, water scarcity, lack of basic sanitation, and the use of surface water sources are critical factors for water supply security. In this context, this study aimed to assess the quality of water intended for human consumption in the rural community of Sítio Olho D'água do Euzébio, located in Jucás, Ceará, and composed of approximately 53 families. Samples were collected at five points in the supply system, from the source of capture to household consumption points. Physical, chemical, and microbiological analyses were performed, and the results were compared to the limits established by Ordinance GM/MS No. 888/2021 for human consumption. The results indicated non-compliance in several parameters, such as high ammonia concentrations, lack of free residual chlorine, critical values for iron and total dissolved solids, and the presence of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* at various points in the system. These findings highlight process flaws and vulnerability to fecal contamination, posing a risk to local public health.

Keywords: Water potability; Public health; Rural communities; Basic sanitation.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a manutenção da vida e do equilíbrio ambiental. Sua disponibilidade e qualidade influenciam diretamente a saúde pública, o desenvolvimento socioeconômico e a preservação dos ecossistemas. No entanto, apesar de sua importância, milhões de pessoas ao redor do mundo ainda não possuem acesso a água potável segura, o que representa um dos maiores desafios para a humanidade (WHO, 2023). Apesar dos avanços tecnológicos e das políticas de gestão hídrica, milhões de pessoas ainda enfrentam dificuldades no acesso à água de qualidade. Em regiões urbanas, a infraestrutura de abastecimento tende a ser mais consolidada, garantindo um fornecimento mais regular e seguro. No entanto, em comunidades rurais, onde a infraestrutura é frequentemente limitada, a obtenção de água potável torna-se um desafio diário, impactando diretamente a saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico.

No contexto do semiárido brasileiro, a escassez hídrica é uma realidade que influencia a vida de milhões de pessoas. A irregularidade das chuvas e a dificuldade de armazenamento e distribuição de água tornam o abastecimento intermitente e, muitas vezes, inadequado para o consumo humano.

A falta de saneamento básico é outro fator crítico em comunidades rurais. Sem sistemas adequados de tratamento de água e esgoto, a contaminação dos mananciais se torna um problema recorrente, aumentando os riscos de doenças de veiculação hídrica. A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca que a ingestão de água contaminada pode ser um vetor para diversas doenças, como diarreia, cólera, hepatite A e esquistossomose, afetando principalmente populações vulneráveis (WHO, 2022). A implementação de soluções sustentáveis para o tratamento da água e dos efluentes é fundamental para promover a saúde e a qualidade de vida dessas populações.

A relação entre o acesso à água potável e a saúde da população é inquestionável. Segundo (Clasen *et al.,* 2007; WHO & UNICEF, 2019), a melhoria nas condições de saneamento e no fornecimento de água tratada reduz significativamente a incidência de doenças, além de contribuir para o desenvolvimento social e econômico das comunidades. Assim, a garantia de um abastecimento adequado de água potável deve ser uma prioridade para governos e instituições, visando à promoção da saúde e do bem-estar da população, especialmente nas regiões mais vulneráveis.

A comunidade rural Sítio Olho D'água do Euzébio, situada no município de Jucás, Ceará, é um exemplo dessa realidade. Composta por aproximadamente 53 famílias, a localidade utiliza um manancial superficial como principal fonte de abastecimento hídrico. No entanto, atividades agrícolas, a ausência de um sistema de saneamento adequado e outros fatores ambientais podem

comprometer a qualidade da água, tornando essencial a realização de estudos que avaliem sua potabilidade e segurança para o consumo humano.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água utilizada para o abastecimento da comunidade, e propor medidas para seu aprimoramento. Para isso, foram analisados parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água e os resultados comparando com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 888, de 4 de maio de 2021.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na comunidade rural Sítio Olho D'água do Euzébio, localizada no município de Jucás, estado do Ceará. A comunidade é composta por aproximadamente 53 famílias e depende do manancial superficial para o abastecimento de água destinada ao consumo doméstico e atividades agropecuárias. A região apresenta características típicas do semiárido brasileiro, com períodos de estiagem prolongados e disponibilidade hídrica limitada. A localização da área é mostrada na Figura 1.

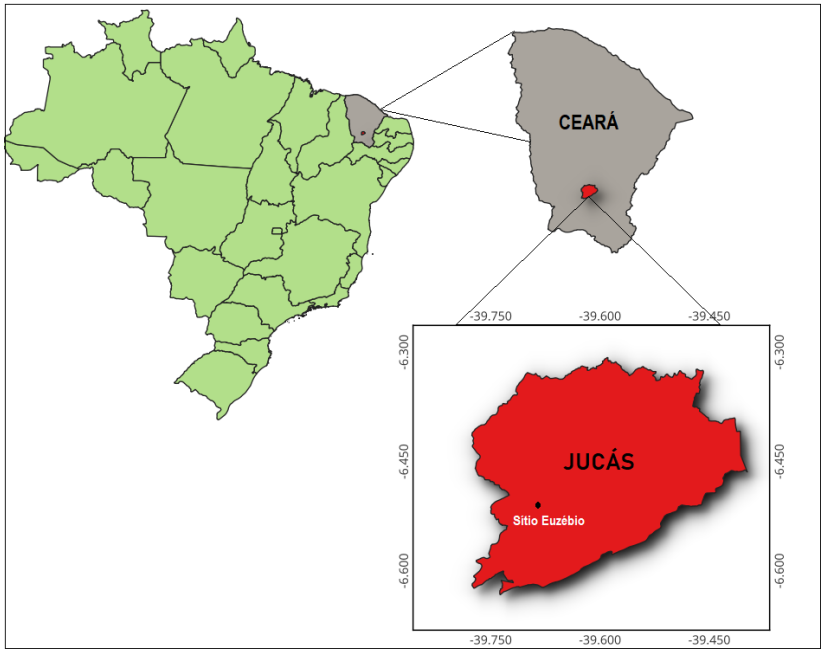


Figura 1. Localização da comunidade rural Sítio Olho D'água do Euzébio
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Coleta de Amostras de Água

Amostras de água foram coletadas em cinco pontos distintos, iniciando no manancial até pontos de

consumo doméstico da comunidade, seguindo as diretrizes da APHA (2017) e da Portaria GM/MS Nº 888/2021. Os pontos de coleta foram escolhidos com base na acessibilidade da população e nos possíveis riscos de contaminação

Foram realizadas duas coletas, sendo a primeira no dia 16/06/2025 e a segunda no dia 09/09/2025.

Quadro 1. Descrição dos pontos de coleta

PONTO DE COLETA	LOCAL	COORDENADAS
PONTO 1	Manancial Superficial	6°28'49"S 39°38'29"W
PONTO 2	Saída do reservatório	6°28'29"S 39°38'22"W
PONTO 3	Residência 1 (hidrômetro)	6°28'12"S 39°38'22"W
PONTO 4	Residência 2 (hidrômetro)	6°28'40"S 39°38'47"W
PONTO 5	Residência 3 (hidrômetro)	6°28'55"S 39°38'26"W

Fonte: Autores (2025)

Análise Laboratorial da Qualidade da Água

No laboratório de análises de água, as amostras foram submetidas a análises físicas, químicas e microbiológicas para verificar sua conformidade com os padrões de potabilidade.

Os seguintes parâmetros foram analisados:

- Parâmetros físicos: Cor aparente, temperatura, turbidez, sólidos dissolvidos totais;
- Parâmetros químicos: pH, dureza total, cloretos, nitrogênio amoniacal, sulfatos, presença de metais pesados (ferro), nitrato, nitrito e cloro residual livre;
- Parâmetros microbiológicos: Contagem de coliformes totais e *Escherichia coli.*

Os métodos de análise seguiram as diretrizes da APHA (2017) para garantir a precisão dos resultados.

Análise dos Dados

Os dados obtidos a partir das análises laboratoriais realizadas ao longo do estudo foram organizados e avaliados de forma a permitir uma interpretação consistente da qualidade da água analisada. Para isso, os resultados quantitativos foram confrontados com os limites e parâmetros estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021, que regulamenta os padrões de potabilidade da água no Brasil.

Essa comparação teve como objetivo principal identificar possíveis irregularidades ou desvios

em relação aos parâmetros de qualidade exigidos para o consumo humano, permitindo, assim, uma avaliação precisa do risco potencial à saúde pública. Além disso, a análise dos dados possibilitou verificar tendências, padrões de contaminação e variações entre os diferentes pontos de coleta, contribuindo para uma compreensão mais ampla da situação da água na área estudada.

A abordagem adotada também considerou a relevância de cada parâmetro analisado, uma vez que determinados indicadores microbiológicos e físico-químicos possuem implicações diretas para a saúde dos consumidores e para a segurança dos sistemas de abastecimento de água.

Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas com base no método de tubos múltiplos, que consiste em estimar a concentração de microrganismos em amostras de água, principalmente coliformes totais e termotolerantes (fecais). A técnica consistiu na inoculação de diferentes diluições da amostra em múltiplos tubos com meio de cultura líquido, sendo a presença de gás (indicado pela turbidez e bolha em um tubo de Durhan) o sinal de um resultado positivo. Cada série foi destinada a uma diluição específica. Concluída a etapa de inoculação dos volumes da amostra e/ou das diluições requeridas para a análise, os tubos foram acondicionados em estufa bacteriológica, mantida a 35 ± 0,5 °C, por um período de 24 ± 2 horas.

Para a observação de *Escherichia coli,* com os tubos positivos do meio A-1, realizou-se a etapa de confirmação específica para *E. coli,* por meio do semeio em ágar diferencial, o Eosin Methylene Blue (EMB), que identificou pela morfologia característica das colônias (no caso do EMB, colônias com brilho metálico esverdeado).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade da Água nos Pontos Coletados

Análises Físico-químicas

Os Quadro 02 e 03 apresentam os valores obtidos das análises da água dos parâmetros físico-químicos.

Quadro 2. Análises físico-químicas realizadas em 16/06/2025 e no dia 09/09/2025

PRIMEIRA COLETA						SEGUNDA COLETA					
Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	VMP
Amônia	22,4	5,6	22,4	16,8	-	2,8	2,8	2,8	2,8	5,6	1,2 $mg.L^{-1}$
Cor	36	84,3	9,3	21	69,3	31	14,7	17,7	41	14,3	15 uH
Nitrato	0,0	0,0	0,03	0,14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12	10 $mg.L^{-1}$
Nitrito	0,013	0,011	0,015	0,031	0,017	0,002	0,001	0,002	0,048	0,003	1 $mg.L^{-1}$
STD (Sól. Totais Dissolvidos)	168	191	184	193	195	3537	119	155	194	4021	500 $mg.L^{-1}$
Turbidez	2,89	6,1	1,86	2,04	6	0,53	12,77	0,09	2,56	0,08	5 uT

Fonte: Autores (2025)

Amônia

Os resultados obtidos na primeira amostragem para amônia foram de 22,4; 5,6; 22,4 e 16,8 $mg.L^{-1}$, enquanto o Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido pela Portaria nº 888/2021 é de 1,5 $mg.L^{-1}$ (equivalente a 1,2 $mg.L^{-1}$ de NH_3). Observa-se que em todas as amostras do Quadro 2 os valores acima do estabelecido pela legislação, ultrapassando o limite legal. Na segunda amostragem apesar de valores mais baixos, estes ainda variam entre 2,8 e 5,6 $mg.L^{-1}$, o que permanece acima do VMP.

Concentrações elevadas de amônia são indicadores de poluição orgânica recente, geralmente associadas à presença de esgoto doméstico ou dejetos animais no manancial, além de falhas no processo de tratamento (BRASIL, 2021).

A presença de amônia também compromete a desinfecção por cloração, pois reage com o cloro, reduzindo a formação de cloro residual livre — essencial para o controle microbiológico da água distribuída. Essa situação aumenta o risco de sobrevivência de microrganismos patogênicos. Além do risco sanitário, a amônia em excesso pode causar alterações organolépticas (gosto e odor desagradáveis), afetando a aceitação da água pela população.

Cor e Turbidez

A cor apresentou valores que variaram de 9,3 uH a 84,3 uH. Segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, o Valor Máximo Permitido (VMP) para cor aparente é de 15 uH. Apenas os valores de

9,3 uH (P3 da primeira amostragem), 14,7 uH e 14,3 uH (P1 e P5 da segunda amostragem) atendem ao limite estabelecido. Todas as demais amostras apresentam valores acima do padrão, chegando a 84,3 uH, o que caracteriza não conformidade com a legislação. (Gráfico 1).

Já a turbidez, o Valor Máximo Permitido (VMP) é de 5,0 uT em 95% das amostras analisadas. (Gráfico 2). Na primeira amostragem: P2 (6,1 uT) e P5 (6,0 uT) ultrapassaram o VMP, indicando sólidos em suspensão na água. Os demais pontos ficaram dentro do padrão. Já na segunda amostragem: houve melhora expressiva em quase todos os pontos, exceto P2 (12,77 uT), que apresentou um valor muito acima do limite, o que evidencia um problema localizado no sistema de abastecimento (como falha em filtração ou ressuspensão de partículas na rede).

A redução da turbidez em P1, P3, P4 e P5 entre a primeira e segunda amostragem sugere eficiência no controle em determinados pontos, mas a situação crítica em P2 requer atenção imediata, já que turbidez elevada pode estar associada a microrganismos (WHO, 2017; BRASIL, 2021).

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) representam a quantidade total de sais, metais e outros compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos num líquido, medidos em concentração massa por volume ($mg.L^{-1}$). Altos teores de STD podem provocar alterações no sabor, odor e aparência da água. Na primeira amostragem todos os pontos estão bem abaixo do limite, não trazendo prejuízos à qualidade da água. Na segunda amostragem foram registrados dois valores extremamente elevados (3537 em P1 e 4021 em P5 $mg.L^{-1}$), que ultrapassam mais de 3 a 4 vezes o limite estabelecido pela legislação. Os demais pontos (119; 155; 194 $mg.L^{-1}$ nos demais pontos) permaneceram dentro dos padrões de potabilidade. Estes valores elevados corroboram com os valores obtidos de cor e turbidez que em alguns pontos ficaram acima dos valores estabelecidos pela portaria do MS para consumo humano.

Nitrato e Nitrito

Na Portaria 888/ 21 os valores de máximos de Nitrato são 10 $mg.L^{-1}$, neste estudo os valores obtidos foram de zero, ou seja, dentro do limite. Já para o Nitrito (VMP = 1 $mg.L^{-1}$), todos os valores obtidos, tanto na primeira quanto na segunda amostragem, apresentaram concentrações baixas, esperadas em águas superficiais. Sem restrições, mas deve ser monitorado em conjunto com a amônia, pois ambos fazem parte do ciclo de nitrificação.

Análises Microbiológicas

O Quadro 4 abaixo, apresenta os valores de coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli* obtidos nas duas amostragens, comparados com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que determina a ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL de amostra como critério de potabilidade da água para consumo humano (BRASIL, 2021).

Quadro 4. Valores obtidos para Coliformes Termotolerantes

COLIFORMES TERMOTOLERANTES			*Escherichia coli*	
PONTOS	**PRIMEIRA COLETA**	**SEGUNDA COLETA**	**PRIMEIRA COLETA**	**SEGUNDA COLETA**
	NMP/100mL	**NMP/100mL**	**NMP/100mL**	**NMP/100mL**
PONTO 1	$4{,}30x10^3$	$7{,}50x10^3$	$3{,}60x10^2$	$2{,}30x10^3$
PONTO 2	$2{,}00x10^4$	$4{,}30x10^3$	0,0	$2{,}30x10^2$
PONTO 3	$9{,}10x10^2$	$1{,}50x10^3$	0,0	$1{,}50x10^2$
PONTO 4	0,0	$2{,}30x10^3$	0,0	$9{,}30x10^2$
PONTO 5	$2{,}40x10^4$	$1{,}50x10^1$	0,0	$3{,}60x10^0$

Fonte: Autores (2025)

As análises microbiológicas da água revelaram contaminação fecal acentuada e risco sanitário, com elevadas variações entre as duas coletas. Na avaliação inicial de coliformes termotolerantes, apenas o Ponto 4 (P4) atendeu aos padrões legais. Os demais pontos apresentaram concentrações elevadas, variando de $9{,}10\times10^2$ a $2{,}40\times10^4$ UFC/100 mL, com destaque para os níveis críticos em P2 e P5 (>$2{,}0\times10^4$ UFC/100 mL). A segunda coleta demonstrou uma redução geral da contaminação, notadamente em P5 (de $2{,}40\times10^4$ para $1{,}50\times10^1$ UFC/100 mL), embora ainda em desconformidade. Paradoxalmente, o P4 tornou-se impróprio ($2{,}30\times10^3$ UFC/100 mL), sugerindo contaminação intermitente ou pós-tratamento.

Para *Escherichia coli*, cujo Valor Máximo Permitido (VMP) é a ausência em 100 mL conforme a Portaria nº 888/2021, a contaminação inicialmente estava restrita ao P1 ($3{,}60\times10^2$ NMP/100 mL). Na análise subsequente, observou-se uma deterioração generalizada do quadro: a contaminação em P1 intensificou-se ($2{,}30\times10^3$ UFC/100 mL) e os demais pontos (P2, P3, P4 e P5), antes conformes, também passaram a apresentar a bactéria. Infere-se que a ausência de desinfecção por cloração seja a principal causa da contaminação microbiológica generalizada, evidenciando um elevado risco à saúde pública. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Macedo (2017), ao monitorar 24 poços na zona rural de Minas Gerais, obteve em 25% deles contaminação de *Escherichia coli*, recomendando também o tratamento incluindo a cloração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água no Sítio Olho D'água do Euzébio, em Jucás-CE, revelou não conformidades com a Portaria GM/MS nº 888/2021, indicando riscos à saúde pública. Foram detectadas concentrações elevadas de amônia, cor aparente, turbidez e sólidos dissolvidos totais. A contaminação microbiológica foi evidenciada pela presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, sugerindo contaminação fecal e o potencial de veiculação de patógenos. Tais resultados demonstram a necessidade de intervenções no sistema de abastecimento, incluindo a implementação de tratamento e monitoramento contínuo da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC: APHA, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em: 5 set. 2025.

CASTRO, D. S.; SILVA, P. R.; ALMEIDA, R. S. Participação comunitária na gestão dos recursos hídricos em comunidades rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 26, n. 3, p. 1-14, 2021.

CLASEN, T., *et al.* Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea: systematic review and meta-analysis. BMJ, 334(7597), 782. 2007.

MACEDO, Gabriela Arantes. Qualidade da água de abastecimento em comunidades rurais do município de Formiga – MG. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Drinking-water. Geneva: WHO, 2022. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water. Acesso em: 18 set. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: WHO, 2023. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240069247. Acesso em: 18 set. 2025.

WHO & UNICEF. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017: Special focus on inequalities. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP). 2019.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037704

Reservatório de Água Bruta *off-stream* como Estratégia de Abastecimento Público

Reservorio de Agua off-stream como Estrategia de Abastecimiento Público

Off-stream Water Reservoir as a Public Supply Strategy

Ana Flávia Souza Foureaux[1], Maximiliano Strasser[2] e Roberta Nunes Guimarães[3].

[1]Doutora, Vale S/A, Nova Lima, Brasil, ana.foureaux@vale.com;
[2]Doutor, Vale S/A, Nova Lima, Brasil, maximiliano.andres.Strasser@vale.com;
[3]Doutora, Vale S/A, Nova Lima, Brasil, roberta.guimaraes@vale.com.

Eixo Temático 03 – TECNOLOGIAS PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA

RESUMO

Após o rompimento da barragem B1, localizada na mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), a captação de água no rio Paraopeba foi suspensa pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o que comprometeu o abastecimento público dos municípios de Paraopeba e Caetanópolis, no estado de Minas Gerais. Com o objetivo de garantir a segurança hídrica desses municípios, a empresa Vale S.A. investiu no desenvolvimento de um sistema integrado de abastecimento, composto por um reservatório do tipo *off-stream* nas proximidades do ribeirão do Cedro, denominado Reservatório de Água Bruta (RAB), por 23 poços tubulares (perfurados ou reativados) e por uma captação superficial (a fio d'água) no ribeirão do Cedro, reativada pela Concessionária responsável pelo abastecimento de água desses municípios. Nesse contexto, o reservatório implantado (com capacidade de armazenamento de 500.000 m³), foi concebido estrategicamente para atuar como um pulmão, armazenando água durante os períodos de maior disponibilidade hídrica (no período chuvoso) e contribuindo para a resiliência do sistema de abastecimento local nos períodos mais críticos de seca, promovendo flexibilidade operacional à Concessionária de abastecimento sobre o uso ótimo dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região.

Palavras-chave: Abastecimento público; reservatório de água; segurança hídrica

RESÚMEN

Después del colapso de la represa B1 en la mina Córrego do Feijão en Brumadinho, Minas Gerais, el Instituto de Gestión del Agua de Minas Gerais (IGAM) suspendió la captación de agua en el río Paraopeba, lo que comprometió el suministro público de agua en las ciudades de Paraopeba y Caetanópolis, en la provincia de Minas Gerais. Para garantizar la seguridad hídrica en estas ciudades, la empresa Vale S.A. invirtió en el desarrollo de un sistema integrado de abastecimiento de agua, que consta de un reservorio (fuera del cauce) en las cercanías del arroyo Cedro, denominado Reservorio de Agua Bruta (RAB), 23 pozos tubulares (perforados o reactivados) y una captación de agua superficial instalada en el arroyo Cedro, que fue reactivada por la concesionaria responsable del suministro de agua a estos municipios. En este contexto, el reservorio instalado (con una capacidad de almacenamiento de 500.000 m³) fue diseñado estratégicamente para actuar como un pulmón hídrico, almacenando agua durante los períodos de mayor disponibilidad hídrica (durante el período de lluvias) y contribuyendo a la

resiliencia del sistema de abastecimiento local durante los períodos de sequía, promoviendo flexibilidad operacional al concesionario de abastecimiento respecto del uso óptimo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la región.

Palabras clave: Abastecimiento público; reservorio de agua; seguridad hídrica

ABSTRACT

After the collapse of the B1 dam at Córrego do Feijão mine in Brumadinho, Minas Gerais, water pumping from the Paraopeba River was suspended by the Minas Gerais Water Management Institute (IGAM), compromising the public water supply to the cities of Paraopeba and Caetanópolis in Minas Gerais State. To ensure water distribution in these cities, Vale S.A. company invested in the development of an integrated water supply system consisting of an off-stream reservoir near the Cedro stream, called "Raw Water Reservoir" (RWR), 23 tubular wells (drilled or reactivated), and a surface water intake (run-of-river) from the Cedro stream, which was reactivated by the concessionaire responsible for the water supply to these cities. In this context, the reservoir (with a storage capacity of 500,000 m³) was strategically designed to act as a lung, storing water during periods of greatest water availability (during rainy season) and contributing to the resilience of the local supply system during the most critical periods of drought, promoting operational flexibility to the Supply Concessionaire regarding the optimal use of surface and groundwater resources in the region.

Keywords: water supply; water reservoir; water security

INTRODUÇÃO

A garantia do acesso à água de qualidade e de quantidade suficiente para o uso doméstico e pessoal é vinculada ao direito humano fundamental, haja vista que essa condição é essencial à preservação e à proteção da vida e da dignidade da pessoa humana (MACEDO, 2010; DE SOUZA SILVA, D., & PONZILACQUA M. H. P., 2020). Esse conceito foi reconhecido pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas -ONU-, em 2010, por meio da Resolução n° 64/292, a qual estabeleceu o direito à água potável como imprescindível para o pleno gozo da vida e de todos os direitos humanos (NEVES-SILVA; HELLER., 2016). Sob essa perspectiva, assim como nos termos do art. 1º, III da Política Nacional de Recursos Hídrico (Lei Federal nº 9.433/97), o abastecimento público é preponderante aos demais usos hídricos e, por isso, deve ser sempre assegurado à população.

Nesse contexto, destacam-se as situações que podem comprometer a segurança hídrica, como foi o caso do rompimento da barragem B1, no ribeirão Ferro-Carvão, afluente do rio Paraopeba, em Brumadinho, Minas Gerais, ocorrido em 2019 (POLIGNANO; LEMOS., 2020; IGAM., 2008; ROTTA *et al*., 2020). Diante disso, a captação de água nesse manancial, desde o município de Brumadinho até a cidade de Pompéu, em Minas Gerais, foi temporariamente suspendida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM- (RAMOS *et al*., 2020).

Considerando que a Vale era a responsável pela barragem de B1 que, ao romper, gerou o comprometimento da captação mencionada, a Vale se comprometeu a estabelecer novas formas de abastecimento para os municípios afetados, incluindo os municípios de Paraopeba e Caetanópolis.

Nesse sentido, para atender a demanda média dos municípios de Paraopeba e Caetanópolis, a Vale perfurou, reativou e ou realizou melhorias em poços tubulares, com vistas a complementar a vazão da captação superficial no ribeirão do Cedro, que foi reativada pela Concessionária responsável pelo abastecimento público local após o rompimento da barragem B1.

Adicionalmente às fontes hídricas citadas, para garantir possíveis flutuações na demanda de água e ou eventuais baixas na produção dos poços tubulares existentes e na vazão do ribeirão do Cedro, foi investigada a alternativa de implantação do Reservatório de Água Bruta, denominado "RAB". A implantação do RAB se mostrou uma alternativa factível a fim de proporcionar mais segurança hídrica aos municípios e mais flexibilidade operacional à Concessionária durante os períodos mais críticos de seca, sendo uma complementação para o sistema de abastecimento.

O RAB consiste em um reservatório *off stream*, situado próximo ao eixo do ribeirão do Cedro implantado pela Vale e que será operado pela Concessionária de abastecimento público local. Esse reservatório tem a capacidade de armazenamento de 500.000 m³ e o enchimento deve ocorrer no período de maior disponibilidade hídrica com parte da vazão excedente do referido manancial. Em períodos mais severos de secas ou de estiagens prolongadas, a água armazenada, após passar pela estação de tratamento de água (ETA), poderá ser utilizada para complementar o abastecimento dos municípios supracitados, o que permitirá diminuir a dependência da captação superficial do ribeirão do Cedro e/ou dos poços.

Em síntese, o RAB fará parte do sistema integrado de abastecimento, o qual visa aumentar a segurança hídrica de Paraopeba e Caetanópolis. Esse sistema será constituído por meio do reservatório de água bruta, da captação superficial no ribeirão do Cedro e dos poços tubulares existentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar a viabilidade operacional do RAB e conhecer mais sobre as condições hidrológicas da região, a disponibilidade hídrica do ribeirão do Cedro foi analisada por meio de estudos elaborados, em 2022, pela empresa Rhama Analysis, cujas principais informações podem ser verificadas a seguir.

O ponto da captação de água superficial no ribeirão do Cedro para o enchimento do RAB está inserido na bacia homônima, a qual apresenta, aproximadamente, 87 km² de área de drenagem, representando apenas 1% (um por cento), da bacia total do rio Paraopeba. O ribeirão do Cedro é um afluente da margem direita do rio. Já para a obtenção das séries históricas das vazões do ribeirão do Cedro, foi desenvolvido o estudo de regionalização de vazões, que consiste na transferência de informações de um local para outra área, cujo comportamento hidrológico é semelhante. Além disso, foi elaborado o modelo chuva-vazão, do tipo concentrado WIN_IPH2, para gerar a série de vazões sintéticas calibrada aos dados de vazão observados na seção de interesse. Esse modelo considera as perdas por evaporação e por interceptação, a separação do escoamento e da propagação dos escoamentos superficial e subterrâneo. Os dados diários de precipitação, utilizados no modelo, foram obtidos a partir das seguintes estações pluviométricas Horto Florestal (código 1944010) e Ponte da Taquara (1944031) para o período de 01/01/1984 a 31/12/2020.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 contempla a vazão máxima horária e média diária outorgada. Esta última considera o valor médio a partir do regime diário de operação da captação, conforme a descrição dos usos.

Tabela 1: Outorgas consuntivas a montante das seções de captação

Finalidade	**Vazão média diária (L/s)**	**Vazão máxima horária (L/s)**	**Tempo médio diário de operação (h)**
Consumo humano, dessedentação de animais e irrigação	0,54	1,60	8
Consumo industrial	0,02	0,10	5
Irrigação e dessedentação de animais	0,03	0,10	8
Irrigação, dessedentação de animais e aquicultura	2,92	11,75	65
Não informado	0,57	1,97	7
Paisagismo, recreação e urbanização	1,61	3,45	10
Total Geral	**5,69**	**18,97**	**-**

Fonte: RHAMA (2022)

Mediante aos dados da Tabela 1, tem-se que, a montante da captação, o valor outorgado máximo horário é de aproximadamente 19 L/s, porém, em termos médios diários, esse valor corresponde cerca de 5,7 L/s, visto que as captações não são contínuas ao longo do dia. Destaca-se que o uso preponderante é destinado à irrigação, à dessedentação de animais e à aquicultura, o que corresponde a cerca de 60% da vazão máxima horária outorgada (RHAMA., 2022a). Já as vazões mensais disponíveis foram obtidas considerando-se a captação de até 50% da Q7,10, com a subtração da vazão outorgada a montante de 5,7 L/s (RHAMA., 2022b). Ambas as vazões podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2: Vazões Q7,10 e vazões disponíveis mensais estimadas para o ribeirão do Cedro na seção de captação da Concessionária

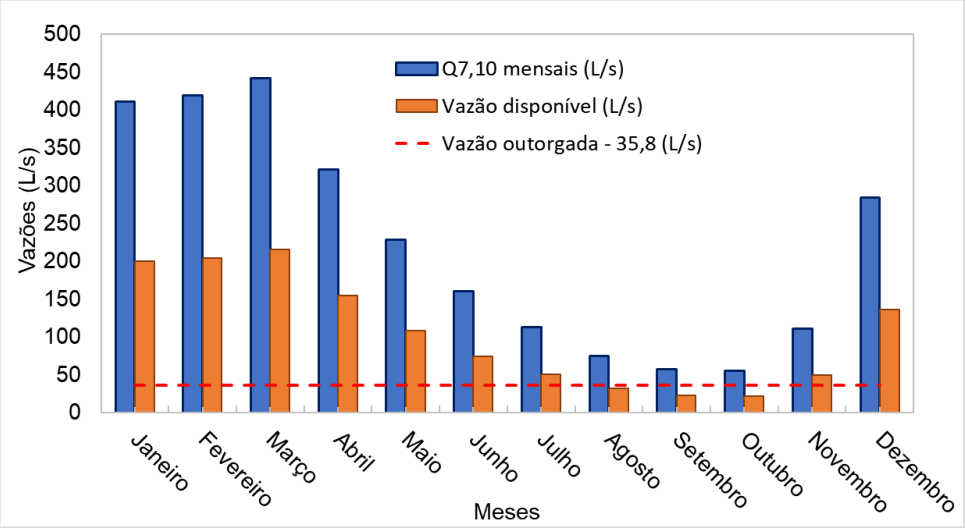
Mês	Q7,10 (L/s)	Q disponível (L/s)
Janeiro	411	199,8
Fevereiro	420	204,3
Março	442	215,3
Abril	322	155,3
Maio	229	108,8
Junho	161	74,8
Julho	113	50,8
Agosto	75	31,8
Setembro	57	22,8
Outubro	55	21,8
Novembro	111	49,8
Dezembro	284	136,3

Fonte: RHAMA (2022b)

Observa-se grande variação das vazões Q7,10 mensais, cujo período de menor disponibilidade hídrica encontra-se entre os meses de agosto a outubro. Além disso, tem-se que o mês de abril apresenta maior vazão média em comparação ao mês de outubro, a despeito de as precipitações médias ocorridas naquele mês serem inferiores. Tal condição pode estar vinculada ao período chuvoso que antecede abril, o que reflete em maior disponibilidade hídrica do reservatório subterrâneo e, consequentemente, nas vazões de base. Em contrapartida, o mês de outubro é precedido de meses com menores índices pluviométricos, e, embora apresente o volume maior de precipitação média, se comparado a abril, o seu efeito ainda não é significativo nas vazões fluviométricas (RHAMA., 2022b).

Sob esse âmbito, conforme avaliado, a vazão disponível obtida por meio da modelagem, embora mais restritiva, mostra a ocorrência de maior disponibilidade hídrica no ribeirão do Cedro no período de novembro a abril, como pode ser visto na Figura 1 (RHAMA., 2022a,c).

Figura 1: Vazões $Q_{7,10}$ e vazões disponíveis mensais no ribeirão do Cedro



Fonte: RHAMA (2022b)

Nesse sentido, as avaliações demonstraram que o reservatório poderá ser enchido com parte da vazão excedente do ribeirão do Cedro entre os meses de novembro a maio, período de maior disponibilidade hídrica, para que esse recurso possa ser utilizado pela Concessionária quando for necessário junto às fontes hídricas existentes. Assim, o resevatório de acumulação de água bruta se mostra uma fonte estratégica como complementação do abastecimento público em períodos mais críticos de seca.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto que a gestão de água bruta, tanto nos termos qualitativos quanto quantitativos, é fundamental para o abastecimento público, a promoção da segurança hídrica é essencial para o efetivo atendimento a essa demanda. Sob essa perspectiva, a diversificação de fontes de captação de água corrobora essa segurança, sobretudo em períodos mais críticos de secas e de estiagens prolongadas.

Nesse contexto, a implantação de um reservatório para o armazenamento de água em períodos de maior disponibilidade contribui para a melhoria da gestão hídrica dos municípios. Nesse sentido, o RAB permitirá a diversificação das fontes de suprimento do sistema, minimizando a dependência de outras fontes de abastecimento quando necessário. Cabe ressaltar, ainda, que, embora a vazão disponibilizada pelos poços tubulares e pela captação superficial no ribeirão do Cedro seja superior à demanda de água dos municípios, a implantação

do RAB será uma redundância para o sistema de abastecimento, corroborando a segurança hídrica local e mais sustentabilidade ao sistema de abastecimento como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IGAM. 2008. "Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio Paraopeba em 2007: Projeto: Sistema de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais". *Águas de Minas. Belo Horizonte*, 233 p. http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/bitstream/123456789/288/1/Relatorio%20Qualidade%20Aguas%20Superf_%20Sub-Bacia%20do%20Rio%20Paraopeba_2007.pdf

Macedo, Roberto Ferreira. 2010. "Água, um direito fundamental." *Direito e Democracia*, v. 11, n. 1. http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/direito/article/download/2574/1803

Neves-Silva, Priscila, Heller, Léo. 2016. "O direito humano à água e ao esgotamento sanitário como instrumento para promoção da saúde de populações vulneráveis." *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 21, p. 1861-1870. https://doi.org/10.1590/1413-81232015216.03422016

Polignano, Marcus Vinicius, Lemos, Rodrigo Silva. 2020. "Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba." *Ciência e Cultura,* v. 72, n. 2, p. 37-43. http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000200011

Ramos, A. M., Da Silva, L. S., Lima, T. G., Marques, G. L., & Gontijo, H. M. 2020. "Monitoramento da qualidade da água do rio Paraopeba e entorno após o rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil." *Research, Society and Development,* 9 (9), e627997594-e627997594. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7594

RHAMA. 2022ª "Análise de alternativas de abastecimento para o sistema Paraopeba e Caetanópolis – Relatório Parcial." 21 p.

RHAMA. 2022b. "Avaliação da Disponibilidade Hídrica no Ribeirão Do Cedro – Relatório Final." 54 p.

RHAMA. 2022c. "Avaliação da Disponibilidade Hídrica no Ribeirão Do Cedro – Relatório Complementar II." 24 p.

Rotta, L. H. S., Alcântara, E., Park, E., Negri, R. G., Lin, Y. N., Bernardo, N., Mendes, T. S. G. & Souza Filho, C. R. 2020. "The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil." *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 90 (1): 102119. http://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102119

Silva, Daniel de Souza, Ponzilacqua, Márcio Henrique Pereira. 2020. "Acesso à água de qualidade como direito humano fundamental: a garantia do mínimo existencial." *Humanidades & Inovação,* v.7, n.20, p537-551. https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/3832/2131

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037716

Sistema Simplificado de Abastecimento de Água com Bombeamento Fotovoltaico na Aldeia Craveiro, Prado–BA

Sistema Simplificado de Abastecimiento de Agua con Bombeo Fotovoltaico en Aldeia Craveiro, Prado, Bahía

Simplified Water Supply System with Photovoltaic Pumping in Craveiro Village, Prado–BA, Brazil

Ramires Santos de Carvalho[1], Narcísio Cabral de Araújo[2], Leila Oliveira[3].

[1]Engenheiro Civil e mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Formação em Tecnociência e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) em Associação com a Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Ihéus – BA, Brasil, ramires.carvalho@cerb.ba.gov.br, ORCID https://orcid.org/0009-0003-3823-6705
[2]Eng. Sanitarista e Ambiental, Mestre em Eng. Civil e Ambiental, Doutor em Eng. Agrícola e Professor do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Itabuna - Bahia, Brasil, narcisioaraujo@ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0589-8924
[3] Engenheira Agrícola e Ambiental, Mestre em Geoquímica: Petróleo e Meio ambiente, Doutora em Ciências, Energia e Ambiente. Professora do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Itabuna - Bahia, Brasil, leila.oliveira@ufsb.edu.br, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8806-0301

Eixo Temático 03 – Tecnologia para Abastecimento de Água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural

Eje Temático 03 – Tecnología de Abastecimiento de Agua
Soluciones alternativas de abastecimiento de agua en zonas rurales

RESUMO

O acesso à água potável em comunidades tradicionais e rurais representa um dos maiores desafios para a universalização do saneamento básico no Brasil. Nesse contexto, os Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA) surgem como solução viável e sustentável, especialmente quando associados ao uso de energia renovável. O presente trabalho apresenta a implantação de um SSAA na Aldeia Craveiro, localizada no município de Prado – BA, executado pela Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB). A comunidade indígena, composta por 201 habitantes, não dispunha de infraestrutura adequada para o abastecimento de água segura, recorrendo a fontes alternativas de baixa qualidade. O sistema implantado é composto por poço tubular profundo de 120 m, com vazão de 7,2 m³/h, garantindo uma disponibilidade diária de 26,38 m³, compatível com a demanda da população atendida. A água é bombeada por meio de motobomba submersa acionada por sistema fotovoltaico, garantindo autonomia energética e sustentabilidade ambiental. Após tratamento por desenfecção a água é armazenada no reservatório elevado com altura de 9,0 m e capacidade volumétrica de 20 m³, e material em fibra de vidro, garantindo pressurização adequada da rede de distribuição. Essa é composta por tubulações em PVC com diâmetro 50 mm e extensão total de aproximadamente 7.134 m. Os resultados evidenciam ganhos sociais relevantes, como

a melhoria da qualidade de vida, redução de doenças de veiculação hídrica e maior tempo disponível para atividades comunitárias, especialmente entre mulheres e crianças, tradicionalmente responsáveis pela busca de água. Sob a perspectiva ambiental, a adoção da energia solar reduz custos operacionais, elimina a emissão de gases poluentes e assegura a continuidade do serviço em áreas sem acesso à rede elétrica. Conclui-se que o sistema implantado na Aldeia Craveiro demonstra grande viabilidade técnica, econômica e ambiental dos SSAAs movidos a energia fotovoltaica, sendo um modelo replicável para outras comunidades rurais, assentamentos, quilombolas e indígenas em áreas de difício acesso e mais isoladas do país.

Palavras-chave: Abastecimento de água, Energia solar, Comunidades indígenas, Sistema simplificado, Sustentabilidade.

RESÚMEN

El acceso al agua potable en comunidades tradicionales y rurales representa uno de los mayores desafíos para la universalización del saneamiento básico en Brasil. En este contexto, los Sistemas Simplificados de Abastecimiento de Agua (SSAA) emergen como una solución viable y sostenible, especialmente cuando se combinan con el uso de energías renovables. Este artículo presenta la implementación de un SSAA en Aldeia Craveiro, ubicada en el municipio de Prado, Bahía, implementado por la Compañía de Ingeniería de Aguas y Saneamiento de Bahía (CERB). La comunidad indígena, compuesta por 201 habitantes, carecía de infraestructura adecuada para un suministro de agua potable y recurría a fuentes alternativas de baja calidad. El sistema implementado consiste en un pozo tubular de 120 metros de profundidad con un caudal de 7,2 m³/h, lo que garantiza una disponibilidad diaria de 26,38 m³, compatible con la demanda de la población atendida. El agua se bombea mediante una bomba sumergible alimentada por un sistema fotovoltaico, lo que garantiza la autonomía energética y la sostenibilidad ambiental. Tras el tratamiento de desinfección, el agua se almacena en un depósito elevado de 90,0 m de altura y 20 m³ de capacidad. El sistema, fabricado en fibra de vidrio, garantiza una presurización adecuada de la red de distribución. Este sistema está compuesto por tuberías de PVC de 50 mm de diámetro y una longitud total de aproximadamente 7134 m. Los resultados demuestran importantes beneficios sociales, como una mejor calidad de vida, la reducción de enfermedades transmitidas por el agua y un mayor tiempo disponible para actividades comunitarias, especialmente entre mujeres y niños, quienes tradicionalmente se encargan de la recogida de agua. Desde una perspectiva ambiental, la adopción de energía solar reduce los costes operativos, elimina la emisión de gases contaminantes y garantiza la continuidad del servicio en zonas sin acceso a la red eléctrica. La conclusión es que el sistema implementado en Aldeia Craveiro demuestra la alta viabilidad técnica, económica y ambiental de los SSAA con energía fotovoltaica, constituyendo un modelo replicable para otras comunidades rurales, asentamientos, quilombolas y comunidades indígenas en zonas de difícil acceso y más aisladas del país.

Palabras clave: Abastecimiento de agua, Energía Solar, Comunidad Indigena, Sistema Simplificado, Sostenibilidad

ABSTRACT

Access to drinking water in traditional and rural communities represents one of the greatest challenges to universalizing basic sanitation in Brazil. In this context, Simplified Water Supply Systems (SSAA) emerge as a viable and sustainable solution, especially when combined with the use of renewable energy. This paper presents the implementation of a SSAA in Aldeia Craveiro, located in the municipality of Prado, Bahia, implemented by the Bahia Water Engineering and Sanitation Company (CERB). The indigenous community, composed of 201 inhabitants, lacked adequate infrastructure for a safe water supply and resorted to low-quality alternative sources. The implemented system consists of a 120-meter deep tubular well with a flow rate of 7.2 m³/h, ensuring a daily availability of 26.38 m³, compatible with the demand of the population served. Water is pumped by a submersible pump powered by a photovoltaic system, ensuring energy autonomy and environmental sustainability. After disinfection treatment, the water is stored in a 90.0 m high elevated reservoir with a volumetric capacity of 20 m³. The system is made of fiberglass, ensuring adequate pressurization of the distribution network. This system consists of 50 mm diameter PVC pipes and a total length of approximately 7,134 m. The results demonstrate significant social benefits, such as improved quality of life, reduced waterborne diseases, and increased time available for community activities, especially among women and children, who are traditionally responsible for fetching water. From an environmental perspective, the adoption of solar energy reduces operating costs, eliminates the emission of polluting gases, and ensures service continuity in areas without access to the electricity grid. The conclusion is that the system implemented in Aldeia Craveiro demonstrates the high technical, economic, and environmental viability of photovoltaic-powered SSAAs, constituting a replicable model for other rural communities, settlements, quilombolas, and indigenous communities in hard-to-reach and more isolated areas of the country.

Keywords: Water supply, Solar energy, Indigenous communities, Simplified system, Sustainability.

INTRODUÇÃO

O Governo do Estado da Bahia tem priorizado políticas públicas voltadas à saúde, ao saneamento e à qualidade de vida dos povos originários, reconhecendo a vulnerabilidade dessas comunidades e a importância de soluções sustentáveis de abastecimento de água. O acesso à água potável continua sendo um desafio em comunidades rurais, indígenas e tradicionais, conforme a Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas (Brasil, 2018). Em conformidade com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde e a Fundação Nacional da Saúde, a falta de infraestrutura adequada compromete a saúde pública, aumentando a incidência de doenças de veiculação hídrica (FUNASA, 2019; WHO, 2017).

Nesse contexto, os Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA)

representam uma alternativa viável, pois combinam com menor custo de implantação com eficiência técnica, garantindo o fornecimento contínuo de água para populações de pequeno porte. Além disso, a adoção de soluções sustentáveis de abastecimento de água, como ressaltam Botkin e Keller (2011), é fundamental para equilibrar o uso humano com a preservação dos recursos naturais, cada vez mais escassos.

O presente trabalho apresenta a experiência de implantação de um SSAA com bombeamento fotovoltaico na Aldeia Craveiro, localizada no município de Prado, extremo sul da Bahia, como um modelo de solução sustentável e replicável para comunidades tradicionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido a partir da análise técnica do projeto executivo, memorial descritivo e croqui do SSAA instalado na Aldeia Craveiro (Figura 1).

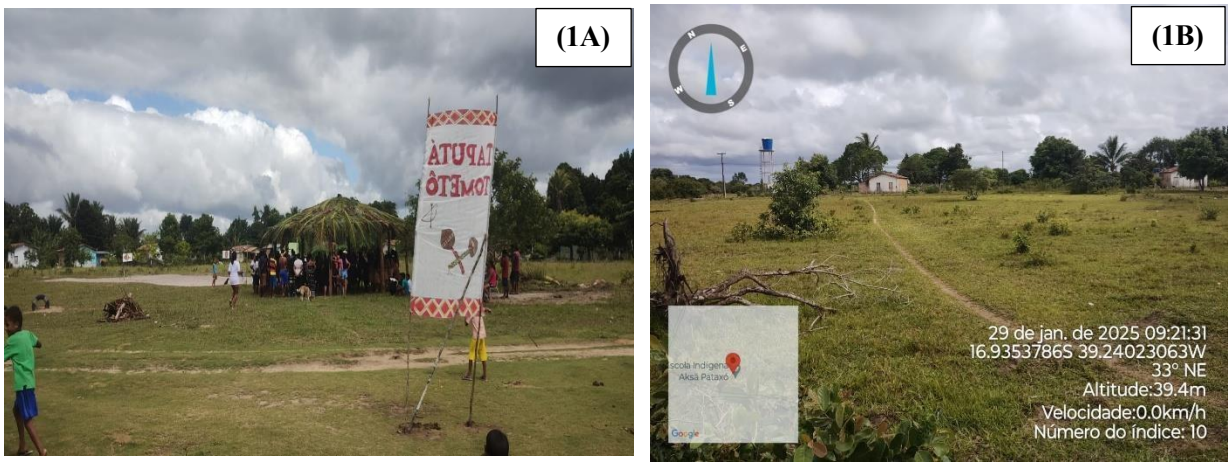


Figura 1. Aldeia Craveiro, Prado-Ba (1A), e sua localização (1B).
Fonte: CACIQUE CAMAYURÁ, 2025.

O sistema foi dimensionado com base no perfil de consumo da população beneficiada, conforme relatórios técnicos da CERB (2023), e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A infraestrutura implantada inclui um poço tubular profundo, com 120 m de profundidade, nível estático de 25,82 m e nível dinâmico de 29,19 m, com vazão de 7,2 m³/h.

O bombeamento é realizado por motobomba submersa alimentada por sistema fotovoltaico, tecnologia destacada por Ruther (2004) como alternativa viável para comunidades isoladas, por garantir autonomia energética e baixo custo de operação.

A água do poço é bombeada para um reservatório elevado a 9,0 m com estrutura em concreto armado. O reservatório tem capacidade volumétrica de 20 m³ construído em material de fibra de vidro (Figura 2).

Figura 2. Instalação Placas solar, reservatório e Casa de Quadro de Comando-Aldeia Craveiro
Fonte: CERB/NRTEF, 2024.

A altura de elevação assegura a pressão necessária para a distribuição por gravidade para a rede de distribuição da água é em PVC com diâmetro de 50 mm, que possui extensão de aproximada de 7.134 m, abrangendo todas as residências da aldeia (Figura 3).

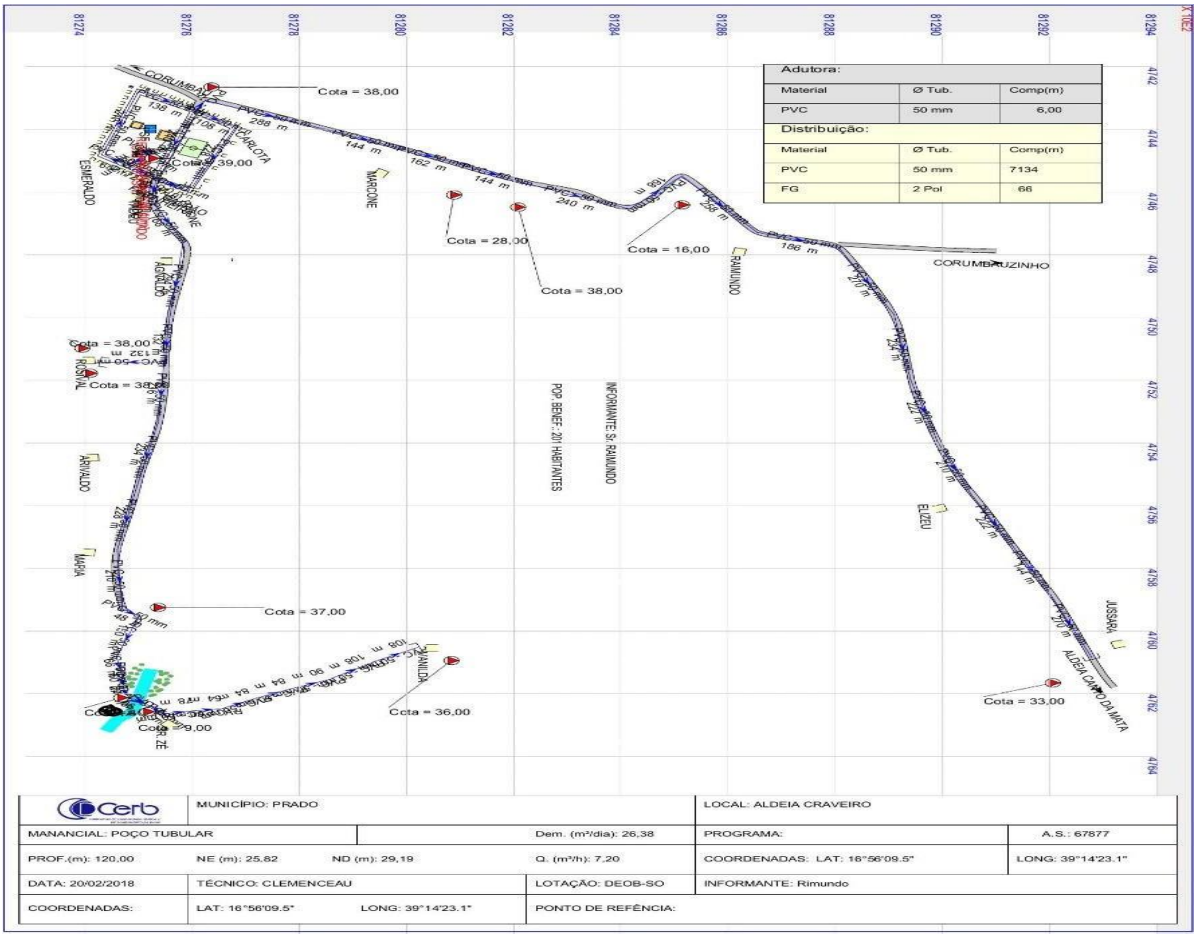


Figura 3. Projeto encaminhamento rede, Adutora e reservação Aldeia Craveiro
Fonte: CERB/NRTEF, 2018.

A metodologia de avaliação contemplou a verificação da demanda hídrica diária (26,38 m³/dia), análise da compatibilidade entre oferta e consumo, além do levantamento dos impactos sociais e ambientais decorrentes da implantação, em consonância com as recomendações de saúde e sustentabilidade definidas por órgãos nacionais e internacionais (FUNASA 2019; WHO 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Aldeia Craveiro, em Prado – BA, o sistema fotovoltaico autônomo (off-grid) foi dimensionado com a instalação de 9 módulos solares de 560 Wp cada, resultando em uma capacidade de geração média mensal estimada em aproximadamente 620 kWh. Essa produção energética garante o funcionamento contínuo do sistema de bombeamento de água, mesmo em períodos de maior demanda, assegurando confiabilidade ao abastecimento da comunidade.

Fonforme os dados da Figura 4, a tarifa de energia elétrica é de R$ 1,11 por kWh, na Aldeia Craveiro o volume gerado corresponde a uma economia potencial equivalente a R$ 688,20 mensais. Tal valor demonstra não apenas a viabilidade econômica da adoção da energia solar, mas também reforça os benefícios ambientais ao reduzir a dependência de fontes convencionais de energia. Além disso, o sistema confere maior autonomia à comunidade indígena, fortalecendo a segurança energética e contribuindo para a sustentabilidade de longo prazo do abastecimento de água.

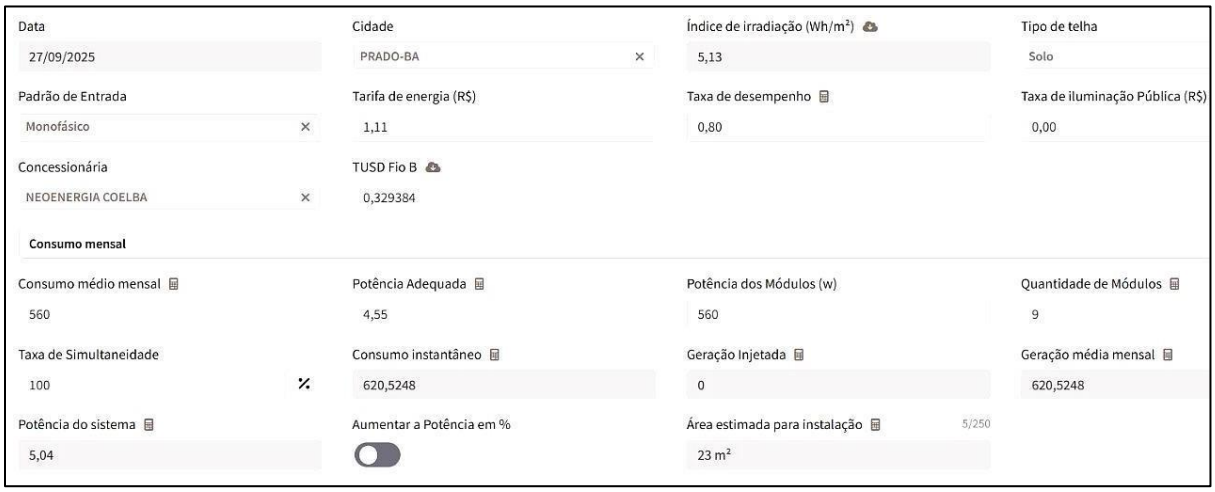


Figura 4. Relatório de estimativa de geração mensal do sistema fotovoltaico instalado na Aldeia Craveiro
Fonte: MIRANDA ELÉTRICA, 2025

Os resultados demonstram que o sistema implantado atende plenamente a demanda da comunidade, garantindo o fornecimento médio de 130 litros/habitante/dia de água, compatível com padrões de referência nacional e internacional para comunidades rurais.

A adoção do bombeamento fotovoltaico permitiu reduzir custos de operação e manutenção, além de assegurar a autonomia energética em região não atendida pela rede elétrica.

Do ponto de vista social, a implantação trouxe ganhos expressivos, como a melhoria das condições de saúde pública, a redução da incidência de doenças de veiculação hídrica e o fortalecimento da segurança hídrica local. Adicionalmente, observou-se impacto positivo na organização comunitária, com maior disponibilidade de tempo para atividades produtivas e educativas, especialmente entre mulheres e crianças que antes percorriam longas distâncias em busca de água.

Sob a perspectiva ambiental, o uso de energia solar elimina a emissão de gases de efeito

estufa associada a combustíveis fósseis e representa um modelo de baixo impacto ambiental. A tecnologia implantada também reforça o alinhamento do projeto com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 6 (Água potável e saneamento) e o ODS 7 (Energia acessível e limpa).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sistema Simplificado de Abastecimento de Água com bombeamento fotovoltaico implantado na Aldeia Craveiro demonstra a viabilidade técnica e socioambiental de soluções sustentáveis para comunidades tradicionais.

A experiência confirma que a associação entre captação subterrânea e energia renovável garante segurança hídrica, autonomia energética e melhoria da qualidade de vida da população beneficiada.

Trata-se de um modelo replicável para outras comunidades indígenas e rurais isoladas no território brasileiro, podendo ser expandido como política pública para universalização do acesso à água em áreas de difícil atendimento pelos sistemas convencionais. Ressalta-se, contudo, a necessidade de capacitação comunitária para operação e manutenção do sistema, bem como de políticas continuadas de monitoramento da qualidade da água. Além da infraestrutura implantada, a CERB desenvolveu ação social junto à comunidade, com foco na conscientização sobre o uso racional da água, a preservação ambiental e a valorização do sistema implantado. De forma complementar, a SESAI realiza a nomeação do AISAN (Agente Indígena de Saneamento), preferencialmente mulher, responsável por ligar e monitorar os equipamentos, realizar o tratamento da água, executar a manutenção básica e atuar como elo entre a comunidade e os órgãos públicos. Essa integração fortalece a gestão comunitária do sistema e promove protagonismo feminino indígena.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) pelo apoio técnico fornecido, bem como pelo trabalho realizado em benefício das comunidades rurais. Agradecem também à Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento do Estado da Bahia (SIHS) e à Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI) pelo incentivo à pesquisa e à implementação de soluções inovadoras em comunidades tradicionais. Reconhecemos, ainda, a

colaboração do Cacique Camayurá e a comunidade da Aldeia Craveiro, cuja participação foi essencial para a implantação do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOTKIN, Daniel B., e Edward Keller. 2011. *Ciência ambiental: Terra, um planeta vivo*. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI). 2018. *Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas*. Brasília: MS.

CERB – Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia. 2023. *Relatórios Técnicos de Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água*. Salvador: CERB,

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento*. 2019. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde.

RUTHER, Ricardo. 2004. *Energia solar fotovoltaica: uma fonte elétrica renovável e sustentável*. Florianópolis: UFSC.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 2017. *Guidelines for drinking-water quality*. 4. ed. Geneva: WHO.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037737

SOLUÇÕES VERDES: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS TECNOLOGIAS DE REÚSO DE ÁGUA CINZAS

SOLUCIONES VERDES: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE TECNOLOGÍAS DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

GREEN SOLUTIONS: A LITERATURE REVIEW ON GREYWATER REUSE TECHNOLOGIES

João Lucas Cartaxo Rosendo[1], Vinicius Moura Soares da Silva [2], Monique da Silva Albuquerque Pinheiro[3] .

[1]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - *Campus* Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil; lucas.cartaxo08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0001-6022-8889;
[2]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - *Campus* Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil; vinicius.moura.soares09@aluno.ifce.edu.br, 0009-0004-6684-7973;
[3]Docente, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, monique.albuquerque1996@ifce.edu.br, 0000-0002-8280-6272.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Modelos de tratamento e filtração simplificados para pequenas comunidades.

Eje Temático 03 – Tecnologías de Abastecimiento de Agua
Modelos simplificados de tratamiento y filtración para pequeñas comunidades.

RESUMO

A escassez crescente de água potável, intensificada pelas mudanças climáticas, urbanização e aumento populacional, tem impulsionado o interesse por alternativas sustentáveis de conservação hídrica. Nesse contexto, o reúso de águas cinzas, provenientes de chuveiros, pias e lavanderias, apresenta-se como uma solução promissora para usos não potáveis em residências, comércios e indústrias. Este estudo realizou uma revisão bibliográfica sistemática e narrativa sobre tecnologias de tratamento de águas cinzas, abrangendo bases como Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar. Foram analisados parâmetros de qualidade relevantes, como DBO, DQO, turbidez, pH e presença de *Escherichia coli*, além de legislações e normas nacionais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, ABNT NBR 13969/1997 e a Lei nº 14.546/2023. Os resultados apontam que tratamentos físicos (filtração, sedimentação, caixas de gordura) são simples e de baixo custo, mas limitados na remoção de patógenos. Processos químicos (cloração, ozonização e coagulação) mostram maior eficiência, embora possam gerar subprodutos ou demandar altos custos operacionais. Tecnologias biológicas (biorreatores, filtros plantados e wetlands construídas) se destacam pela sustentabilidade e integração com áreas urbanas, apresentando bons níveis de remoção de matéria orgânica e nutrientes. As aplicações identificadas incluem irrigação de áreas verdes, descargas sanitárias, lavagem de veículos, uso na construção civil e limpeza urbana. Apesar do potencial de redução de até 40% no consumo de água potável em edificações, persistem desafios como custos de implantação, falta de regulamentações específicas e barreiras sociais relacionadas à aceitação dos usuários. Conclui-se que o reúso de águas cinzas, apoiado por sistemas híbridos que integrem processos físicos, químicos e biológicos, representa uma alternativa estratégica para

a gestão sustentável dos recursos hídricos no Brasil.

Palavras-chave: Águas cinzas, Reúso, Tecnologias de tratamento, Soluções verdes, Sustentabilidade.

RESÚMEN

La creciente escasez de agua potable, intensificada por el cambio climático, la urbanización y el aumento poblacional, ha impulsado el interés por alternativas sostenibles de conservación hídrica. En este contexto, la reutilización de aguas grises, provenientes de duchas, lavabos y lavanderías, se presenta como una solución prometedora para usos no potables en viviendas, comercios e industrias. Este estudio realizó una revisión bibliográfica sistemática y narrativa sobre tecnologías de tratamiento de aguas grises, consultando bases como Scopus, Web of Science, SciELO y Google Scholar. Se analizaron parámetros de calidad relevantes, como DBO, DQO, turbidez, pH y presencia de *Escherichia coli*, además de legislaciones y normas nacionales, como la Resolución CONAMA nº 357/2005, ABNT NBR 13969/1997 y la Ley nº 14.546/2023. Los resultados muestran que los tratamientos físicos (filtración, sedimentación, trampas de grasa) son simples y de bajo costo, pero limitados en la eliminación de patógenos. Los procesos químicos (cloración, ozonización y coagulación) presentan mayor eficiencia, aunque pueden generar subproductos o altos costos operativos. Las tecnologías biológicas (biorreactores, filtros plantados y humedales construidos) se destacan por su sostenibilidad e integración en áreas urbanas, con buenos niveles de remoción de materia orgánica y nutrientes. Las aplicaciones identificadas incluyen riego de áreas verdes, descargas sanitarias, lavado de vehículos, uso en la construcción civil y limpieza urbana. A pesar de su potencial de reducir hasta un 40% el consumo de agua potable en edificaciones, persisten desafíos como costos de implementación, falta de normativas específicas y barreras sociales relacionadas con la aceptación de los usuarios. Se concluye que la reutilización de aguas grises, apoyada en sistemas híbridos que integren procesos físicos, químicos y biológicos, representa una alternativa estratégica para la gestión sostenible de los recursos hídricos en Brasil.

Palabras clave: Aguas grises, Reúso, Tecnologías de tratamiento, Soluciones verdes, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The growing scarcity of drinking water, intensified by climate change, urbanization, and population growth, has increased the interest in sustainable alternatives for water conservation. In this context, greywater reuse, originating from showers, sinks, and laundry, emerges as a promising solution for non-potable applications in households, commercial facilities, and industries. This study carried out a systematic and narrative literature review on greywater treatment technologies, consulting databases such as Scopus, Web of Science, SciELO, and Google Scholar. Key water quality parameters such as BOD, COD, turbidity, pH, and the presence of *Escherichia coli* were analyzed, along with national regulations such as CONAMA Resolution nº 357/2005, ABNT NBR 13969/1997, and Law nº 14.546/2023. Results indicate that physical treatments (filtration, sedimentation, grease traps) are simple and low-cost but limited in pathogen removal. Chemical processes (chlorination, ozonation, and coagulation) show higher efficiency, though they may generate by-products or involve high operational

costs. Biological technologies (bioreactors, planted filters, and constructed wetlands) stand out for their sustainability and integration in urban areas, achieving good removal of organic matter and nutrients. Main applications include irrigation of green areas, toilet flushing, vehicle washing, civil construction, and urban cleaning. Despite their potential to reduce potable water consumption by up to 40% in buildings, challenges remain, such as implementation costs, lack of specific regulations, and social acceptance barriers. It is concluded that greywater reuse, supported by hybrid systems integrating physical, chemical, and biological processes, represents a strategic alternative for sustainable water resource management in Brazil.

Keywords: Greywater, Reuse, Treatment technologies, Green solutions, Sustainability.

INTRODUÇÃO

A crescente escassez de água potável vem se intensificando em escala global, exacerbada pelas mudanças climáticas, pela urbanização acelerada e pela crescente demanda hídrica consequente do aumento populacional, impulsionando o interesse por alternativas que promovam a conservação dos recursos hídricos. Nesse contexto, o reúso de águas cinzas surge como alternativa sustentável com significativo potencial para usos não potáveis em escala doméstica e comunitária (Rodrigues *et al*., 2023). Estudos indicam que o reúso de água pode reduzir entre 40% e 60% o consumo de água potável em edificações, promovendo economia e sustentabilidade (NeoAcqua, 2023).

Além da relevância ambiental, a adoção de sistemas de reúso de águas cinzas também gera benefícios econômicos, reduzindo custos nos serviços de abastecimento público de água potável e sistemas de esgotamento sanitário. No que se refere à aceitação social, evidências atuais indicam que o sucesso de projetos de reúso depende fortemente da percepção dos usuários, especialmente em contextos vulneráveis. A adoção de sistemas eficientes pode ser prejudicada pela falta de confiança, conhecimento técnico limitado ou ausência de regulamentações adequadas (IWA, 2023).

Para garantir segurança e adequação ao reúso, torna-se essencial revisar as tecnologias disponíveis para o tratamento de águas cinzas, bem como compreender os mecanismos de remoção de poluentes e desenvolver sistemas que conciliem eficiência, baixo custo e fácil manutenção (MDPI, 2023). Neste cenário, o respectivo estudo objetiva revisar e comparar as tecnologias de tratamento de águas cinzas, avaliando sua viabilidade técnica, econômica e social no contexto brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica sistemática e narrativa sobre tecnologias de reúso de águas cinzas. Foram consultadas as bases Scopus, Web of Science, SciELO, Google Scholar, priorizando publicações dos últimos 10 anos, 2015 à 2025, além de livros técnicos e documentos normativos nacionais e internacionais, de modo a abranger tanto o contexto técnico quanto os aspectos sociais e legais. Os critérios de inclusão abrangeram estudos revisados por pares, relatórios técnicos com dados empíricos e legislações aplicáveis ao contexto brasileiro.

A análise se concentrou nos parâmetros de qualidade da água mais recorrentes na literatura, como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Turbidez, pH e presença de *Escherichia coli*, os quais são fundamentais para avaliar a viabilidade do reúso (Pereira e Nascimento, 2017, OMS, 2020). As tecnologias de tratamento foram organizadas em três grupos, conforme a natureza predominante do processo: físicas, químicas e biológicas.

A avaliação comparativa considerou eficiência de remoção, custos de implantação e operação, limitações e aplicabilidade em diferentes contextos. As informações foram sistematizadas em tabela de síntese baseada em estudos recentes. Também foram analisados documentos normativos brasileiros relevantes, como a Resolução Conama n.º 357/2005, a ABNT NBR 13969:1997, a ABNT NBR 15527:2007 e a Lei n.º 14.546/2023, que incentivam o reúso em atividades não potáveis no Brasil. Esse procedimento metodológico permitiu identificar avanços regulatórios e lacunas na implementação prática do reúso de águas cinzas no país.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tecnologias De Tratamento De Águas Cinzas

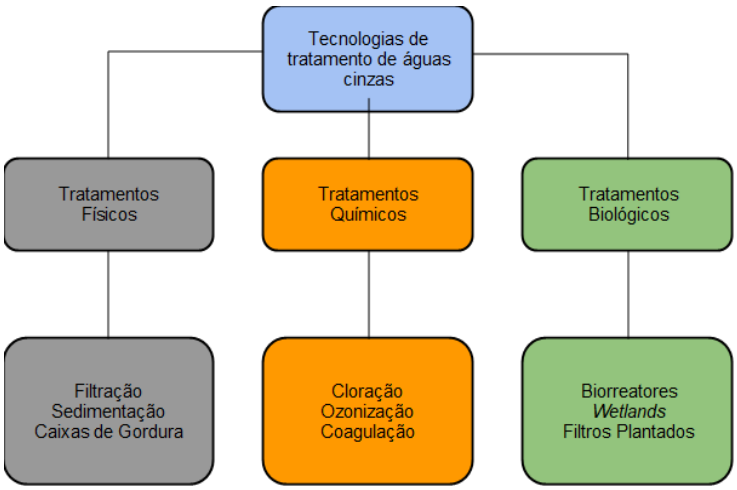
A seleção do tratamento de efluentes deve considerar não apenas a eficiência de remoção, mas também os custos de implantação e operação, bem como a compatibilidade com as características físico-químicas do efluente. Os tratamentos físicos, como filtração, sedimentação e caixas de gordura, configuram etapas preliminares importantes pela simplicidade operacional e baixo custo, contudo apresentam eficácia limitada na eliminação de microrganismos patogênicos e na redução da demanda bioquímica e química de oxigênio

(Oliveira e Matos, 2021).

Os processos químicos, por sua vez, abrangem a cloração, a ozonização e a coagulação, amplamente aplicados para desinfecção e clarificação. A cloração destaca-se pela acessibilidade e efetividade, ainda que a formação de subprodutos halogenados represente risco potencial ao meio ambiente e à saúde humana (Nascimento e Lima, 2018). A ozonização apresenta elevada eficiência na oxidação de contaminantes emergentes sem geração de resíduos secundários (Santos e Oliveira, 2019, Almeida, 2021). A coagulação, mostra-se eficiente na remoção de partículas coloidais e na redução da turbidez, sendo frequentemente integrada a processos de sedimentação e filtração subsequentes (Fernandes e Rocha, 2021).

Enquanto os tratamentos biológicos incluem tecnologias como biorreatores, filtros plantados e wetlands construídas, que se destacam pelo caráter sustentável e pela elevada eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável. Os biorreatores apresentam desempenho robusto em termos de estabilização da carga orgânica (Carvalho e Silva, 2019), enquanto filtros plantados e wetlands associam baixo custo de operação à utilização de plantas e substratos como agentes depuradores, promovendo ainda benefícios ecológicos e integração paisagística (Pereira e Souza, 2020, Nunes et al., 2021).

Figura 1. Tecnologias para tratamento de águas cinzas



Fonte: Autores(2025).

De forma geral, os estudos revisados sugerem que sistemas híbridos, que combinam etapas físicas, químicas e biológicas, podem ampliar a eficiência global do tratamento, aumentando a segurança sanitária e a viabilidade de aplicação em contextos urbanos com

elevada demanda das práticas de reúso.

Aplicações Das Tecnologias

O reuso de águas cinzas se destaca em atividades que dispensam água potável, revelando um enorme potencial para atenuar a demanda por água potável em diversos âmbitos, um exemplo, é a irrigação de jardins e hortas. Contudo, essa prática exige um rigoroso controle microbiológico, a fim de mitigar riscos à saúde pública (Santos e Lima, 2018, Almeida e Nunes, 2019).

Outra aplicação relevante é a lavagem de carros, onde estudos apontam para uma redução de até metade do consumo de água potável em locais que adotam sistemas de reuso. Para tanto, é essencial uma filtração eficiente, evitando o acúmulo de resíduos que possam danificar a pintura dos veículos (Pereira e Souza, 2017, Nunes e Silva, 2019). O reuso de águas cinzas também é viável em descargas sanitárias, responsáveis por até 30% do consumo de água em edifícios residenciais e comerciais. Nestes casos, exige apenas processos simples de filtragem e desinfecção (Carvalho, 2018, Lima e Santos, 2019).

Na construção civil, o reuso pode ser aplicado em atividades como a mistura de argamassa, a lavagem de pisos e o assentamento de tijolos. No entanto, é imprescindível monitorar a qualidade da água utilizada, a fim de evitar danos à durabilidade e resistência dos materiais (Ferreira e Melo, 2018). Existe ainda a alternativa de limpar áreas externas em escolas, prédios públicos e centros comerciais, onde o reuso de águas cinzas pode reduzir em até 40% o consumo de água potável, uma opção de baixo custo, podendo ser implementada em larga escala (Souza e Nascimento, 2020).

Por fim, as aplicações industriais, como em torres de resfriamento e sistemas de climatização, apresentam alternativas de maior complexidade técnica, mas com grande impacto na economia de recursos hídricos. Para esses casos, é crucial seguir padrões rigorosos de qualidade, garantindo a eficácia operacional e a segurança dos equipamentos (Oliveira e Matos, 2021).

Apesar das vantagens, persistem desafios como os custos de implantação, a aceitação social e a ausência de normas técnicas específicas no Brasil. Ainda assim, iniciativas locais e a Lei Federal n.º 14.546/2023 sinalizam avanços no incentivo ao reúso em atividades não

potáveis. Publicada em abril de 2023, essa lei altera a Lei de Saneamento Básico (Lei n.º 11.445/2007) e determina que a União estimule o uso de águas de chuva e o reúso não potável das águas cinzas em novas edificações, bem como em atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens das tecnologias de tratamento para reúso, considerando o custo para instalação e operação.

Tecnologia	Custo Estimado	Vantagens	Desvantagens	Referências
Filtração	Baixo	Simplicidade, baixo custo	Não remove patógenos nem DBO elevado	Almeida e Nunes(2018), Melo e Lima (2020)
Sedimentação	Baixo	Baixo custo	Eficácia limitada a sólidos	Oliveira e Matos (2021)
Caixas de Gordura	Baixo	Reduz acúmulo de gordura no sistema	Eficácia limitada; necessita limpeza regular	Ferreira e Melo (2018), Carvalho e Lima (2020)
Cloração	Médio	Elevada inativação de patógenos, eficaz e acessível	Formação de subprodutos organoclorados	Barbosa et al. (2020)
Ozonização	Alto	Não deixa resíduos, alta eficácia	Custo elevado de implantação e energia	Lima e Santos (2019), Melo e Lima (2020)
Coagulação	Médio	Melhora a claridade e remoção de partículas	Requer monitoramento; pode deixar resíduos metálicos	Fernandes e Rocha (2021)
Biorreatores	Médio a Alto	Tratamento completo, boa eficiência na remoção de MO e N	Necessidade de monitoramento contínuo	Carvalho e Lima (2020), Ferreira (2020)
Filtros Plantados	Médio	Sustentável, baixa manutenção, integração paisagística	Requer área ampla para instalação	Ribeiro et al. (2021)
Wetlands Construídos	Médio	Sustentável, impacto ambiental reduzido	Requer área grande; risco de entupimento	Santos e Costa (2020), Pereira e Almeida (2019)

Fonte: Autores (2025)

A Tabela 1 sintetiza as principais tecnologias de tratamento voltadas ao reúso de águas cinzas, evidenciando vantagens, limitações e estimativas de custo de implantação e operação. Observa-se que os métodos físicos apresentam baixo custo e simplicidade operacional, mas

eficácia limitada na remoção de patógenos e matéria orgânica. Já os processos químicos, oferecem maior eficiência na clarificação e desinfecção, embora envolvam riscos associados à formação de subprodutos ou demandem maiores custos energéticos.

Por sua vez, os tratamentos biológicos, destacam-se pelo caráter sustentável e pela boa eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes, ainda que exijam maior área disponível e monitoramento contínuo. A análise comparativa apresentada na tabela permite compreender que a escolha da tecnologia deve considerar não apenas a eficiência e a viabilidade técnica, mas também fatores econômicos, ambientais e de integração ao espaço urbano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reúso de águas cinzas mostrou-se com os resultados uma alternativa viável para reduzir a demanda de água potável. Os métodos físicos são úteis como pré-tratamento, os químicos garantem melhor segurança sanitária e os biológicos destacam-se pela sustentabilidade.

Apesar do potencial, a difusão do reúso ainda enfrenta barreiras como custos iniciais, ausência de regulamentação específica e resistência social (Souza, 2017, Nascimento e Carvalho, 2018).Então, o reúso de águas cinzas, apoiado por soluções verdes e sistemas híbridos de tratamento, configura-se como estratégia essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 1997. *NBR 13969: Tanques sépticos — Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. 2007. *NBR 15527: Água de chuva — Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Almeida, F. 2021. "Aplicações de processos químicos no tratamento de efluentes domésticos." *Revista de Engenharia Ambiental* 28 (2): 45–56.

Almeida, G., e R. Nunes. 2019. "Uso de águas cinzas na irrigação de jardins urbanos." *Cadernos de Recursos Hídricos* 14 (1): 33–42.

Almeida, J., e L. Nunes. 2018. "Filtração no tratamento de águas cinzas." *Revista Brasileira de Saneamento* 23 (3): 55–67.

Barbosa, A., *et al*. 2020. "Cloração como tecnologia de desinfecção em sistemas de reúso."

Engenharia Sanitária e Ambiental 25 (4): 721–732.

Carvalho, H. 2018. "Reuso de águas cinzas em descargas sanitárias: análise de viabilidade." *Revista de Construção Sustentável* 12 (1): 22–30.

Carvalho, M., e P. Lima. 2020. "Caixas de gordura e biorreatores aplicados a águas cinzas." *Revista Gestão Ambiental* 18 (2): 201–213.

Carvalho, V., e A. Silva. 2019. "Biorreatores aplicados no tratamento de águas residuárias." *Revista Brasileira de Biotecnologia* 13 (4): 142–151.

CONAMA. 2005. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento*. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Fernandes, P., e M. Rocha. 2021. "Coagulação química aplicada em águas cinzas domésticas." *Revista Engenharia Sanitária* 26 (3): 445–454.

Ferreira, A. 2019. "Benefícios econômicos do reuso de águas cinzas em ambientes urbanos." *Revista de Economia Ambiental* 17 (2): 65–74.

Ferreira, C. 2020. "Biorreatores anaeróbios de fluxo contínuo em pequenas comunidades." *Revista Tecnologia Ambiental* 11 (1): 77–85.

Ferreira, J., e F. Melo. 2018. "Aplicação de caixas de gordura na construção civil." *Revista de Engenharia Civil* 15 (2): 88–97.

IWA. 2023. *International Water Association Report on Water Reuse and Public Perception*. Londres: IWA Publishing.

Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023. *Dispõe sobre incentivos ao reúso de águas não potáveis*. Brasília: Diário Oficial da União.

Lima, C., e M. Santos. 2019. "Uso de águas cinzas em descargas e ozonização." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 24 (2): 89–101.

Melo, F., e R. Lima. 2020. "Filtração e ozonização no tratamento de águas cinzas." *Revista Engenharia Ambiental* 21 (1): 133–144.

Melo, T., *et a*l. 2016. "Potencial de reúso de águas cinzas em edificações." *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental* 21 (4): 789–798.

MDPI. 2023. *Greywater Treatment and Reuse: Advances and Challenges*. Basel: MDPI Journals.

Nascimento, D., e S. Carvalho. 2018. "Barreiras sociais ao reuso de águas residuárias." *Revista Sociedade e Ambiente* 9 (1): 55–66.

Nascimento, J., e R. Lima. 2018. "Cloração e processos químicos em águas cinzas." *Revista*

Engenharia Sustentável 10 (2): 44–53.

NeoAcqua. 2023. *Relatório técnico sobre reúso de águas em edificações residenciais*. São Paulo: Instituto NeoAcqua.

Nunes, A., e C. Silva. 2019. "Águas cinzas para lavagem de veículos: aspectos técnicos." *Revista Transporte Sustentável* 4 (2): 112–121.

Nunes, D., *et al*. 2021. "*Wetlands* construídas aplicadas ao reuso urbano." *Revista Brasileira de Ecologia Urbana* 7 (3): 210–223.

Oliveira, T., e V. Matos. 2021. "Filtração e sedimentação no tratamento de águas cinzas." *Revista de Ciências Ambientais* 19 (1): 15–27.

OMS. 2020. *Diretrizes para o uso seguro de águas residuárias, excretas e águas cinzas*. Genebra: Organização Mundial da Saúde.

Pereira, J., e L. Almeida. 2019. "*Wetlands* construídas: desempenho em áreas urbanas." *Revista Engenharia Verde* 14 (2): 45–56.

Pereira, L., e V. Nascimento. 2017. "Parâmetros de qualidade da água em sistemas de reúso." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 22 (1): 33–41.

Pereira, R., e M. Souza. 2017. "Reuso de águas cinzas em lava-jatos: estudo de caso." *Revista Engenharia Aplicada* 12 (2): 98–108.

Pereira, R., e T. Souza. 2020. "Filtros plantados aplicados ao tratamento de águas cinzas." *Revista Tecnologia Ambiental* 15 (1): 66–77.

Ribeiro, G., *et al*. 2021. "Filtros plantados no reuso urbano de águas cinzas." *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária* 26 (1): 211–220.

Rodrigues, L., *et al*. 2023. "Águas cinzas: panorama atual e perspectivas de reúso." *Revista Internacional de Recursos Hídricos* 28 (3): 101–115.

Santos, A., e H. Costa. 2020. "*Wetlands* construídas como soluções verdes urbanas." *Revista Cidades Sustentáveis* 8 (2): 155–167.

Santos, D., e E. Oliveira. 2019. "Ozonização e processos biológicos no tratamento de águas cinzas." *Revista Engenharia Sanitária* 24 (3): 76–85.

Santos, M., e C. Lima. 2018. "Irrigação de áreas verdes com águas cinzas." *Revista Agricultura Urbana* 6 (1): 33–42.

Souza, A. 2017. "Barreiras sociais ao reúso de águas cinzas." *Revista Sociedade e Ambiente* 8 (2): 144–153.

Souza, B., e H. Nascimento. 2020. "Uso de águas cinzas em limpeza urbana." *Revista Brasileira de Gestão Urbana* 12 (1): 87–95.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037771

TECNOLOGIAS APROPRIADAS E RESILIÊNCIA HÍDRICA NO ABASTECIMENTO RURAL DO CARIRI CEARENSE

TECNOLOGÍAS APROPIADAS Y RESILIENCIA HÍDRICA EN EL ABASTECIMIENTO RURAL DEL CARIRI CEARENSE

APPROPRIATE TECHNOLOGIES AND WATER RESILIENCE IN RURAL WATER SUPPLY IN CARIRI, BRAZIL

Alan Delamaykon da Silva Lima[1]

[1]Engenheiro Ambiental e Sanitarista, SISAR BSA, Juazeiro do Norte, Brasil, alandelamaykon@gmail.com

Eixo Temático 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Tecnologias Apropriadas E Resiliência Hídrica no Abastecimento Rural do Cariri Cearense.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Tecnologías apropiadas y resiliencia hídrica en el abastecimiento rural en Cariri, Ceará

Technological Axis 03 – Technologies for Water Supply
Appropriate Technologies and Water Resilience in Rural Supply in Cariri, Ceará

RESUMO

O abastecimento de água em áreas rurais do semiárido brasileiro é um desafio histórico, marcado pela escassez hídrica, pela variabilidade climática e pela dispersão populacional. No município do Crato – CE, a comunidade rural de Palmeirinha dos Vilar exemplifica essa realidade, convivendo com vulnerabilidade hídrica que impacta diretamente a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento local. Nesse contexto, a adoção de tecnologias apropriadas se apresenta como um caminho essencial para fortalecer a resiliência hídrica, assegurando o acesso contínuo e seguro à água potável. O objetivo deste trabalho é analisar a experiência da comunidade na implantação e operação de tecnologias de captação, tratamento e distribuição de água adaptadas à realidade socioeconômica e ambiental local, destacando como essas soluções contribuem para a construção de sistemas mais resilientes e sustentáveis. A metodologia baseou-se em estudo de caso realizado em 2025, envolvendo o levantamento de dados técnicos disponibilizados pelo SISAR SBA, observações diretas em campo e entrevista com o operador da associação comunitária, além da análise comparativa entre os parâmetros de qualidade da água e os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Os resultados indicam que o sistema de abastecimento de Palmeirinha dos Vilar, baseado na captação em poço tubular profundo e cloração simplificada, tem se mostrado eficiente e adaptado às condições locais. Observou-se que a combinação de tecnologias de baixo custo, associadas ao fortalecimento da gestão comunitária e ao apoio institucional do SISAR BSA, reduziu custos operacionais, aumentou a segurança da água distribuída e fortaleceu a capacidade de enfrentamento da comunidade frente a períodos de seca prolongada. Conclui-se que a experiência de Palmeirinha dos Vilar – Crato, demonstra a relevância das tecnologias apropriadas como estratégia de promoção da resiliência hídrica no semiárido brasileiro. A replicação de práticas semelhantes pode contribuir para o avanço do saneamento rural no país e para o cumprimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 – Água Potável e Saneamento).

Palavras-chave: Saneamento rural, resiliência hídrica, tecnologias apropriadas, abastecimento de água, semiárido

RESÚMEN

El abastecimiento de agua en áreas rurales del semiárido brasileño es un desafío histórico, marcado por la escasez hídrica, la variabilidad climática y la dispersión poblacional. En el municipio de Crato – CE, la comunidad rural de Palmeirinha dos Vilar ejemplifica esta realidad, conviviendo con una vulnerabilidad hídrica que impacta directamente en la salud, la calidad de vida y el desarrollo local. En este contexto, la adopción de tecnologías apropiadas se presenta como un camino esencial para fortalecer la resiliencia hídrica, asegurando el acceso continuo y seguro al agua potable. El objetivo de este trabajo es analizar la experiencia de la comunidad en la implementación y operación de tecnologías de captación, tratamiento y distribución de agua adaptadas a la realidad socioeconómica y ambiental local, destacando cómo estas soluciones contribuyen a la construcción de sistemas más resilientes y sostenibles. La metodología se basó en un estudio de caso realizado en 2025, que incluyó el levantamiento de datos técnicos proporcionados por el SISAR BSA, observaciones directas en campo y entrevistas con el operador de la asociación comunitaria, además del análisis comparativo entre los parámetros de calidad del agua y los estándares de potabilidad establecidos por la Portaria GM/MS nº 888/2021. Los resultados indican que el sistema de abastecimiento de Palmeirinha dos Vilar, basado en la captación en pozo tubular profundo y cloración simplificada, ha demostrado ser eficiente y adaptado a las condiciones locales. Se observó que la combinación de tecnologías de bajo costo, asociadas al fortalecimiento de la gestión comunitaria y al apoyo institucional del SISAR BSA, redujo los costos operativos, aumentó la seguridad del agua distribuida y fortaleció la capacidad de la comunidad para enfrentar períodos prolongados de sequía. Se concluye que la experiencia de Palmeirinha dos Vilar – Crato demuestra la relevancia de las tecnologías apropiadas como estrategia de promoción de la resiliencia hídrica en el semiárido brasileño. La replicación de prácticas similares puede contribuir al avance del saneamiento rural en el país y al cumplimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6 – Agua Potable y Saneamiento)

Palabras clave: Saneamiento rural, resiliencia hídrica, tecnologías apropiadas, abastecimiento de agua, semiárido

ABSTRACT

Water supply in rural areas of the Brazilian semiarid region is a historical challenge, marked by water scarcity, climate variability, and population dispersion. In the municipality of Crato – CE, the rural community of Palmeirinha dos Vilar exemplifies this reality, living with water vulnerability that directly affects health, quality of life, and local development. In this context, the adoption of appropriate technologies emerges as an essential pathway to strengthen water resilience, ensuring continuous and safe access to drinking water. The objective of this study is to analyze the experience of the community in the implementation and operation of water capture, treatment, and distribution technologies adapted to the local socioeconomic and environmental reality, highlighting how these solutions contribute to building more resilient and sustainable systems. The methodology was based on a case study conducted in 2025, which included the collection of technical data provided by SISAR BSA, direct field observations, and interviews with the operator of the community association, in

addition to a comparative analysis between water quality parameters and the potability standards established by Ordinance GM/MS No. 888/2021.

The results indicate that the water supply system of Palmeirinha dos Vilar, based on deep tubular well capture and simplified chlorination, has proven to be efficient and adapted to local conditions. It was observed that the combination of low-cost technologies, together with the strengthening of community management and the institutional support of SISAR BSA, reduced operational costs, increased the safety of distributed water, and enhanced the community's capacity to cope with prolonged drought periods. It is concluded that the experience of Palmeirinha dos Vilar – Crato demonstrates the relevance of appropriate technologies as a strategy to promote water resilience in the Brazilian semiarid region. The replication of similar practices can contribute to the advancement of rural sanitation in the country and to achieving the goals of the Sustainable Development Goals (SDG 6 – Clean Water and Sanitation).

Keywords: Rural sanitation, water resilience, appropriate technologies, water supply, semiarid

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável é um direito humano fundamental e um dos principais desafios do saneamento rural no Brasil. No semiárido nordestino, as condições climáticas caracterizadas por longos períodos de estiagem e chuvas irregulares acentuam a vulnerabilidade hídrica das comunidades rurais. A comunidade de Palmeirinha dos Vilar exemplifica bem essa realidade. Localizada na região do Cariri Cearense, convive historicamente com dificuldades de abastecimento regular, dependendo de sistemas comunitários de gestão. Nesse contexto, a adoção de tecnologias apropriadas com soluções de baixo custo, adaptadas às condições ambientais e socioeconômicas locais, mostra-se como caminho viável para fortalecer a resiliência hídrica. Este trabalho tem como objetivo analisar as experiências da comunidade no uso de tecnologias simples de captação, tratamento e distribuição de água, destacando como essas soluções, quando aliadas à gestão comunitária, contribuem para a sustentabilidade e a resiliência hídrica no semiárido.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em julho de 2025, a localidade foi escolhida por representar um cenário típico do semiárido, com histórico de vulnerabilidade hídrica e a presença de um sistema comunitário de abastecimento operado em parceria com o SISAR.

A metodologia contemplou as seguintes etapas:

1. Levantamento de dados secundários referentes ao sistema de abastecimento, incluindo

relatórios técnicos, registros de monitoramento da qualidade da água e informações operacionais disponibilizadas pelo SISAR BSA.

2. Observação direta em campo, avaliando as tecnologias utilizadas na captação (poço tubular profundo), no tratamento (cloração simplificada com clorador modelo pastilha) e na distribuição (rede simplificada em PVC PBA, com ligações domiciliares).
3. Entrevista semiestruturadas com o operador local e membros da associação comunitária, para compreender percepções sobre eficiência, custos, manutenção e desafios enfrentados.
4. Análise comparativa entre os resultados de monitoramento da qualidade da água (cloro residual livre e turbidez) e os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e analisados de forma descritiva e qualitativa, relacionando a adequação tecnológica com a capacidade de resiliência hídrica da comunidade estudada.

Figura 1. Caracterização da Àrea
Fonte: Google Earth, 2025.

Ligações Totais	287
Ligações Ativas	228

Tabela 1. Dados da população atendida, 31 de julho 2025
Fonte: SISAR BSA

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que as tecnologias apropriadas desempenham papel central na garantia da segurança hídrica em áreas rurais do semiárido.

- **Captação:** o poço tubular profundo é a principal fonte de abastecimento em comunidades rurais no semiárido;
- **Tratamento:** a cloração simplificada, realizada por meio de dosadores manuais de baixo custo, assegurou padrões de potabilidade em 90% das análises realizadas, conforme os limites da Portaria GM/MS nº 888/2021;
- **Distribuição:** a rede de PVC PBA com reservatórios elevados garantiu regularidade no fornecimento. Contudo, verificaram-se perdas físicas em alguns trechos, evidenciando a necessidade de manutenções preventiva e corretivas.
- **Gestão comunitária:** a participação da associação local, apoiada pelo SISAR BSA, foi decisiva para a operação e sustentabilidade do sistema, e onde houve maior mobilização social, os indicadores de desempenho foram melhores.

Esses resultados evidenciam que a resiliência hídrica depende não apenas da tecnologia, mas também da integração entre gestão comunitária, capacitação local e suporte institucional. A experiência na comunidade em estudo, confirma que soluções adaptadas e de baixo custo são eficazes para reduzir a vulnerabilidade hídrica no semiárido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado demonstrou que o uso de tecnologias apropriadas fortalece a resiliência hídrica no abastecimento rural, garantindo maior segurança no acesso à água potável. A experiência mostra que a combinação de cloração simplificada, redes de distribuição de fácil manutenção, gestão comunitária eficiente e até mesmo uma educação ambiental voltada para o meio rural, constitui um modelo sustentável, capaz de ser replicado em outras comunidades do semiárido. Recomenda-se que políticas públicas priorizem investimentos em tecnologias apropriadas, aliadas ao fortalecimento comunitário e ao apoio institucional, como estratégia para alcançar o ODS 6 – Água Potável e Saneamento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a Deus, que me inspirou e me sustentou durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Sua presença em minha vida me ajudou a superar os obstáculos e descobrir a melhor maneira de atingir meus objetivos e ao Sistema Integrado de Saneamento Rural - SISAR BSA, pela confiança na elaboração desse trabalho e o apoio logístico que me foi proporcionado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, 2021.

FONSECA, A. L.; OLIVEIRA, A. C. Abastecimento de água em comunidades rurais do semiárido: desafios e alternativas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 23, n. 12, p. 1–12, 2018.

GOMES, J. A.; BEZERRA, R. Tecnologias apropriadas para o semiárido: cisternas e gestão comunitária da água. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 36, n. 2, p. 225–240, 2019.

HELLER, L.; CASTRO, J. E. Políticas públicas e o direito humano à água. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 4, n. 1, 2012.

ONU – Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque: ONU, 2015.

PRADO, F.; MEDEIROS, M. Resiliência hídrica em comunidades rurais: indicadores e experiências no Nordeste brasileiro. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 18, n. 1, p. 34–48, 2021.

RODRIGUES, L. C.; LIMA, P. H. Abordagens de sustentabilidade em sistemas de abastecimento de água em áreas rurais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 475–484, 2017.

SILVA, R.; ALBUQUERQUE, M. L. Gestão comunitária e sustentabilidade no saneamento rural. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 567–576, 2020.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037871

USO DE RESÍDUOS DA BANANICULTURA (*MUSA* SPP.) COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL

USO DE RESIDUOS DE LA BANANICULTURA (*MUSA* SPP.) COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL

USE OF BANANA CULTURE WASTE (*MUSA* SPP.)AS A COAGULANT IN SURFACE WATER TREATMENT

Kelly Anselmo de Souza[1], Selma Cristina da Silva [2], Rivã Ribeiro Nascimento[3]

[1] Engenheira Agrônoma CCAAB/UFRB. Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícola CCAAB/UFRB. Doutoranda em Engenharia Agrícola CCAAB/UFRB. Cruz das Almas-Bahia, Brasil. kellysouza_12@hotmail.com, nº de ORCID: 0009-0008-9476-5413

[2] Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Ambiental da UFBA. Mestre em Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Civil da UFCG. Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia da UnB. Pós Doutora em Saneamento pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Professora Associada – CETEC/UFRB. Cruz das Almas-Bahia, Brasil. selma@ufrb.edu.br, nº de ORCID: 0000-0002-0387-6943

[3] Graduando em Agronomia CCAAB/UFRB. Cruz das Almas-Bahia, Brasil. rivfrana@yahoo.com.br, nº de ORCID: 0000-0001-6675-679X

Eixo Temático 03 – TECNOLOGIAS PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA
Biocoagulantes como alternativas para o tratamento de água.

Eje Temático 03 – TECNOLOGÍAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA
Biocoagulantes como alternativas para el tratamiento de agua.

Thematic Axis 03 – TECHNOLOGIES FOR WATER SUPPLY
Biocoagulants as alternatives for water treatment.

RESUMO

Este estudo avaliou o potencial do pseudocaule e da casca de banana como coagulantes naturais no tratamento de água superficial, por meio de ensaios em escala de bancada utilizando o teste de jarro. Foram analisados os parâmetros cor, turbidez, pH e condutividade elétrica (CE) da água bruta e tratada. Os compostos ativos foram extraídos com NaOH 2M e testados nas concentrações de 10, 30, 50, 80, 100 e 120 mg/L. A comparação das variáveis foi realizada por análise de variância (ANOVA) e teste F, ambos a 1% de significância. Os resultados mostraram que o pseudocaule apresentou maior eficiência na remoção de turbidez (79,69%) e cor (74,89%) em comparação à casca de 74,19% e 74,22%, respectivamente, na concentração de 10 mg/L. Observou-se, contudo, que o ajuste da solução extratora é fundamental para evitar alterações indesejáveis nos parâmetros químicos da água, especialmente no pH e CE. Conclui-se que os resíduos da bananicultura apresentam potencial para uso como coagulantes naturais, configurando-se como alternativa viável e ecologicamente sustentável. Além de reduzir a dependência de coagulantes químicos, sua aplicação agrega valor a subprodutos agrícolas, contribuindo para a economia circular e a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Biopolímeros, Coagulação, Banana, Sustentabilidade, jar test

RESÚMEN
Este estudio evaluó el potencial del pseudotallo y de la cáscara de plátano como coagulantes naturales en el tratamiento de agua superficial, a través de ensayos en escala de banco utilizando la prueba de jarra. Se analizaron los parámetros de color, turbidez, pH y conductividad eléctrica (CE) del agua cruda y tratada. Los compuestos activos fueron extraídos con NaOH 2M y probados en concentraciones de 10, 30, 50, 80, 100 y 120 mg/L. La comparación de las variables se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba F, ambos al 1% de significancia. Los resultados mostraron que el pseudotallo presentó mayor eficiencia en la remoción de turbidez (79,69%) y color (74,89%) en comparación con la cáscara, que tuvo 74,19% y 74,22%, respectivamente, en la concentración de 10 mg/L. Se observó, sin embargo, que el ajuste de la solución extractora es fundamental para evitar alteraciones indeseables en los parámetros químicos del agua, especialmente en el pH y CE. Se concluye que los residuos de la producción de banano presentan potencial para ser utilizados como coagulantes naturales, configurándose como una alternativa viable y ecológicamente sostenible. Además de reducir la dependencia de coagulantes químicos, su aplicación agrega valor a subproductos agrícolas, contribuyendo a la economía circular y a la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Biopolímeros, Coagulación, Plátano, Sostenibilidad, prueba de jarra

ABSTRACT
This study evaluated the potential of banana pseudostems and peels as natural coagulants in the treatment of surface water, through bench-scale tests using the jar test. The parameters of color, turbidity, pH, and electrical conductivity (CE) of raw and treated water were analyzed. The active compounds were extracted with 2M NaOH and tested at concentrations of 10, 30, 50, 80, 100, and 120 mg/L. The comparison of the variables was performed using analysis of variance (ANOVA) and F-test, both at 1% significance. The results showed that the pseudostem had higher efficiency in the removal of turbidity (79.69%) and color (74.89%) compared to the peel's 74.19% and 74.22%, respectively, at a concentration of 10 mg/L. It was observed, however, that adjusting the extraction solution is essential to avoid undesirable changes in the chemical parameters of water, especially in pH and CE. It is concluded that banana cultivation residues have potential for use as natural coagulants, representing a viable and ecologically sustainable alternative. In addition to reducing dependence on chemical coagulants, their application adds value to agricultural by-products, contributing to the circular economy and environmental sustainability.

Keywords: Biopolymers, Coagulation, Banana, Sustainability, jar test

INTRODUÇÃO

A banana (Musa spp.) é uma das frutas mais consumidas mundialmente, desempenhando um papel significativo na dieta da população mundial. O Brasil, destaca-se como o quarto maior produtor global, com uma produção anual, aproximadamente, de 6,6 milhões de toneladas, cultivadas em 455 mil hectares, e movimenta, aproximadamente, R$ 13,8 bilhões por ano (EMBRAPA, 2025).

Trata-se de uma fruta cultivada, principalmente, em países tropicais. Após a colheita, quase 60% da biomassa se torna resíduo. Em todo o mundo, são produzidas cerca de 114,08 milhões de toneladas de perda de resíduos de banana, levando a problemas ambientais (Acevedo *et al*., 2021). A produção de banana em larga escala, resulta em uma quantidade substancial de resíduos, incluindo cascas, folhas e pseudocaules que, frequentemente, são descartados inadequadamente, causando impactos ambientais.

Entretanto, estudos recentes têm explorado o potencial desses resíduos como coagulantes naturais no tratamento de água (dos Santos *et al.,* 2021). Pesquisas indicam que a casca da banana contém taninos, compostos polifenólicos com capacidade de aglutinar partículas, similar ao sulfato de alumínio utilizado em estações de tratamento de água (Kakoi *et al.,* 2016). Essa propriedade sugere a viabilidade de utilizar o tanino extraído da casca da banana como coagulante orgânico, oferecendo uma alternativa mais sustentável e menos prejudicial à saúde humana, quando comparado aos coagulantes inorgânicos empregados no tratamento de água de abastecimento.

O pseudocaule da bananeira é um polieletrólito natural que não tem sido usado para fins econômicos e ainda são fontes de insetos causadores de doença, a exemplo do besouro moleque (Kakoi *et al.,* 2016), principal praga da cultura. É um resíduo não alimentar obtido da bananeira após a colheita dos frutos. Os polieletrólitos agem de duas maneiras distintas: (i) neutralização de carga e (ii) formação por pontes interparticulares (Bertsch *et al.,* 1986).

A aplicação de resíduos agroindustriais como coagulantes naturais representa uma estratégia promissora para o tratamento de água, contribuindo para a redução de resíduos sólidos e promovendo a sustentabilidade ambiental (dos Santos *et al.,* 2021). Diversos estudos têm avaliado a eficácia de materiais como sementes, cascas e fibras vegetais na coagulação de partículas em suspensão, com resultados satisfatórios (Kouniba *et al*., 2024; Mohd-Asharuddin *et al*., 2018; Yamaguchi *et al*., 2021; Zaidi *et al*., 2019).

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo investigar a utilização de resíduos da bananicultura (*Musa* spp.) como coagulante natural de baixo custo para o tratamento das águas. Inicialmente, foi avaliada a solução extratora NaOH 2M na preparação dos coagulantes de pseudocaule e casca de banana visando a clarificação de água de rio com baixa turbidez e cor elevada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tratamento e Reuso de Águas (LABTARE/UFRB), utilizando água coletada no Rio Capivari (sub-bacia do Rio Paraguaçu), localizado nas coordenadas 12°39'35" S e 39° 2'46" W (cota 139,6 m), no município de Cruz das Almas–BA, entre julho e setembro de 2024. As amostras brutas e tratadas foram caracterizadas quanto à cor, turbidez, pH e CE.

O pseudocaule da banana-da-terra foi coletado, fragmentado, lavado com água deionizada, seco em estufa (105 °C/24 h), moído e peneirado. O pó da casca foi obtido em comércio especializado. Os coagulantes foram preparados segundo Zaidi *et al.* (2019), suspendendo 0,5 g de pó em 50 mL de NaOH 2M, seguido de agitação (10 min, 20 ± 1 °C) e filtração em musseline. O extrato obtido foi utilizado imediatamente.

Os ensaios de coagulação-floculação foram conduzidos em jar test **(Figura 1)**, testando concentrações de 10, 30, 50, 80, 100 e 120 mg/L. As condições operacionais foram: mistura rápida (100 rpm/4 min), mistura lenta (30 rpm/30 min) e decantação (30 min).

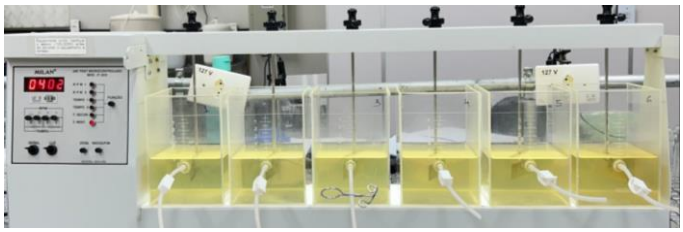


Figura 1. Experimento de teste de jarro (*jar test*) convencional.
Fonte: Elaboração própria (2024).

Os dados foram analisados por ANOVA e teste F (1% de significância), com comparações de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas no software R (v.4.4.0), com o pacote ExpDes.pt. (Ferreira *et al.,* 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabela 1** apresenta a Análise de Variância (ANOVA) para os parâmetros avaliados no processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes naturais testados. Observou-se que a interação entre o tipo de coagulante e a dose apresentou efeito significativo para todas as variáveis analisadas, com exceção do pH, que não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Isso indica que, enquanto os coagulantes e suas dosagens influenciaram diretamente os demais parâmetros avaliados, o pH permaneceu estável independentemente das condições testadas.

Tabela 1. Esquema da Análise de Variância.

	QM							
	GL	SQ	Eficiência de Remoção (%)		Remanescente		pH	CE
			Turbidez	Cor	Turbidez	Cor		
Coagulante	1	3798,7	3798,7***	2240,8***	95,23***	5041,0***	0,0831*	0,744***
Dose	5	9689,4	1937,88***	2339,0***	48,58***	5262,8***	1,513***	21,665***
Coagulante*dose	5	2688,1	537,62***	433,56***	13,48***	975,4***	0,0143NS	0,167***
Resíduo	24	108,9	4,5375	1,0250	0,1138	2,2917	0,0137	0,0071
Total	35	16285,1	465,29	460,81	11,66	1036,80	0,2299	3,14
CV (%)			3,72	1,79	4,99	2,33	1,07	1,94

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

*** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste F.

NS Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os coeficientes de variação (CV%) obtidos para todos os parâmetros analisados foram inferiores a 5%, indicando baixa variabilidade experimental e assegurando a confiabilidade dos resultados. Esse nível de variação demonstra a precisão dos ensaios e a reprodutibilidade das medições realizadas. De maneira semelhante, Kalibbala *et al.* (2023) relataram um CV de 1,01% na remoção de turbidez ao avaliar a eficiência da casca de banana com cacto como coagulantes naturais para o tratamento de água, reforçando a estabilidade e a eficácia desses biomateriais no processo de coagulação-floculação.

A **Tabela 2** apresenta os valores médios dos parâmetros físico-químicos da água bruta e tratada com diferentes dosagens de pseudocaule e casca de banana extraídos com NaOH 2M. Os resultados indicam que a menor dosagem testada teve um impacto significativo na remoção de cor e turbidez. No entanto, observou-se também uma alteração nos valores de pH e condutividade elétrica (CE) da água tratada.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos da água bruta (0 mg/L) e tratada (10 à 120 mg/L) com coagulante à base de pseudocaule e casca de banana extraídos em solução NaOH 2M como coagulantes primários.

Parâmetros	Dosagens de coagulante de pseudocaule (mg/L)						
	0	10	30	50	80	100	120
Cor (uC)	150±2,00	38±1,111	90±1,111	52±0,667	44±0,0	45±0,667	51±0,333
Turbidez (NTU)	15,83±0,636	3,2±0,082	8,2±0,231	5,91±0,05	4,15±0,323	4,32±0,733	5,19±1233
pH	7,58±0,050	11,2±0,011	10,03±0,504	10,66±0,003	11,05±0,007	11,21±0,003	11,29±0,0
CE (µS/cm)	1081±15,333	5930±0,187	1749±1,767	2620±0,0167	4160±0,010	5750±0,04	6850±0,003
	Dosagens de coagulante de casca da banana (mg/L)						
Cor (uC)	150±2,00	39±1,777	148±0,444	57±0,667	52±1,556	60±0,667	105±0,0
Turbidez (NTU)	15,83±0,636	4,09±0,302	14,5±0,333	7±0,271	5,6±0,167	6,4±0,104	13±0,387
pH	7,58±0,050	11,15±0,004	9,96±0,007	10,59±0,0067	11±0,004	11,16±0,022	11,25±0,013
CE (µS/cm)	1081±15,333	5610±0004	1668±0,0015	2470±0,0178	4020±0,027	5660±0,104	5890±0,009

Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise da **Tabela 3** demonstra que o pseudocaule da bananeira apresentou desempenho superior na remoção de turbidez em comparação à casca de banana para todas as dosagens testadas, com diferenças estatísticas significativas a 0,1% de probabilidade pelo teste de Tukey. Em particular, para a menor concentração (10 mg/L), a turbidez residual foi de 3,217 NTU para o pseudocaule, enquanto a casca de banana resultou em 4,087 NTU, ambos foram capazes de reduzir a turbidez para valores inferiores a 5 NTU, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021).

Tabela 3. Valores médio de turbidez (NTU) na água tratada com pseudocaule e casca de banana.

	Dosagem (mg/L)					
	10	**30**	**50**	**80**	**100**	**120**
Pseudocaule	3,22 a	8,11 a	5,85 a	4,27 a	4,27 a	5,08 a
Casca de banana	4,09 b	14,50 b	6,93 b	5,63 b	6,39 b	12,78 b

Médias seguidas pela mesma minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si a 0,1% de probabilidade pelo teste de Tukey.
Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados obtidos demonstram que ambos os coagulantes testados, pseudocaule e casca, foram eficazes na remoção de turbidez, porém com desempenhos distintos ao longo das concentrações avaliadas. A turbidez inicial era de 16 NTU em todas as amostras, e a aplicação dos coagulantes resultou em reduções variáveis na turbidez final. O Pseudocaule apresentou um desempenho superior, alcançando a menor turbidez final de 3 NTU na concentração de 10 mg/L, com uma remoção de 79,69%. No entanto, à medida que a concentração aumentou, a eficiência do pseudocaule apresentou uma leve queda, mantendo-se acima de 60% a partir de 30 mg/L, com remoção de 67,91% na maior concentração testada (120 mg/L) (**Figura 2**).

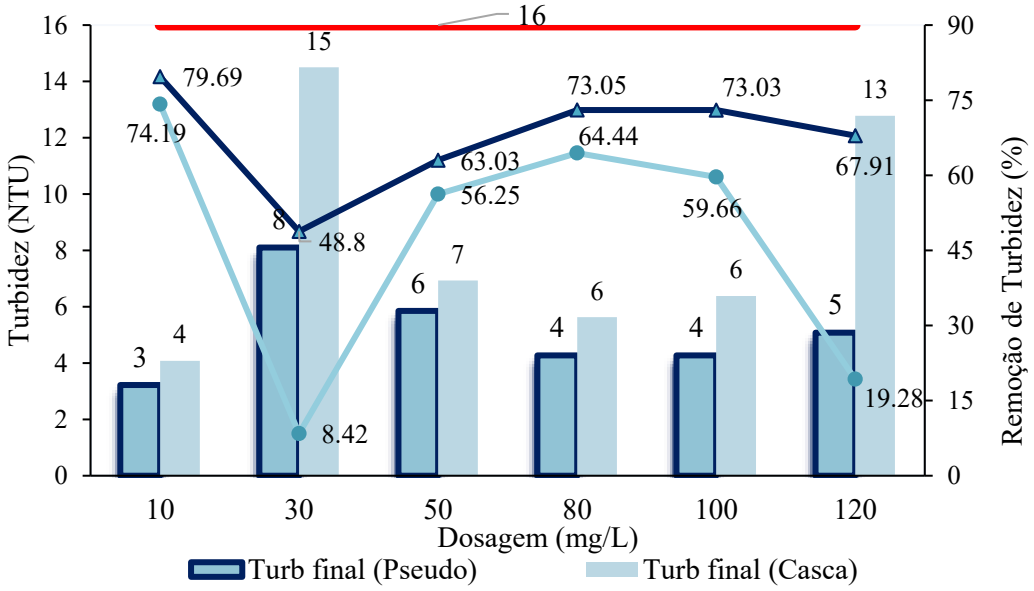


Figura 2. Efeito da dosagem de pseudocaule e casca de banana na turbidez (NTU) e remoção de turbidez (%).
Fonte: Elaboração própria (2025).

Na **Tabela 4**, os valores médios de cor (uC) para a água tratada com pseudocaule e casca de banana apresentam diferenças significativas dependendo da dosagem aplicada. A análise dos dados revela que na dosagem mais baixas (10 mg/L) não houve diferença

significativa entres os coagulantes, sendo essa a condição em que ocorreu a maior remoção de cor, reduzindo-a para 37,67 uC. O coagulante derivado do pseudocaule apresentou o melhor desempenho na remoção de cor em todas as dosagens testadas.

Tabela 4. Valores médio de Cor (uC) na água tratada com pseudocaule e casca de banana.

	Dosagem (mg/L)					
	10	**30**	**50**	**80**	**100**	**120**
Pseudocaule	37,67 a	90,33 a	51,33 a	44,67 a	44,66 a	51,00 a
Casca de banana	38,67 a	148,33 b	57,00 b	52,67 b	60,00 b	105,0 b

Médias seguidas pela mesma minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si a 0,1% de probabilidade pelo teste de Tukey.
Fonte: Elaboração própria (2025).

Com base nos dados apresentados sobre a remoção de cor pelos coagulantes pseudocaule e casca, é possível identificar diferenças significativas no desempenho de ambos (**Figura 3**). O pseudocaule mostrou uma eficiência de remoção de cor relativamente estável, variando entre 65,78% e 74,89%, com o melhor desempenho observado na menor concentração testada (10 mg/L). A remoção mínima ocorreu na concentração de 30 mg/L, com 39,79%, sugerindo que essa dosagem pode não ser a mais eficiente para esse coagulante.

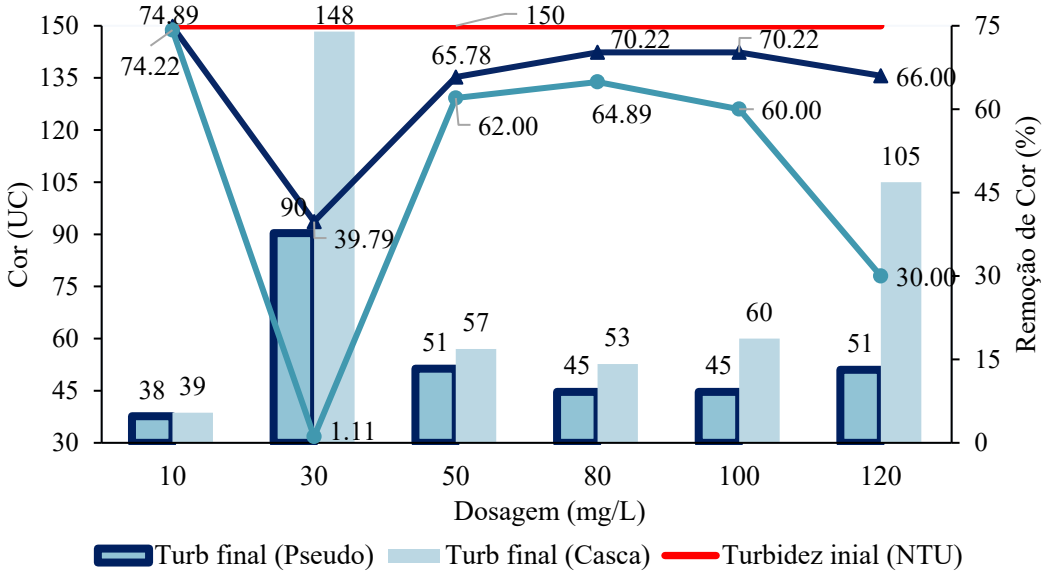


Figura 3. Efeito da dosagem de pseudocaule e casca de banana na cor (uC) e remoção de cor (%).
Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise sugere que o pseudocaule mantém uma remoção de cor mais estável e previsível, sendo mais eficiente nas concentrações mais baixas. A casca, por sua vez, parece ser mais sensível à variação da dosagem, apresentando uma eficiência muito reduzida em algumas concentrações, o que pode limitar sua aplicação prática no tratamento de cor da água.

Kakoi *et al.* (2016) demonstraram que o pó do pseudocaule é capaz de remover eficientemente uma ampla gama de contaminantes da água. Os autores utilizando uma concentração de 100 mg/L, obtiveram remoções de 98,5% (turbidez), 54,3% (DQO), 96,03% (sólidos suspensos), 98,9% (sulfatos), 88,7% (nitratos), 100% (cobre), 100% (cromo), 92% (ferro), 81% (zinco), 100% (chumbo) e 60% (manganês). Zaidi *et al.* (2019) avaliaram a eficiência da casca de banana extraída em solução básica de NaOH 2M os resultados indicaram

que a maior remoção de turbidez, de 85,4%, foi obtida na concentração de 110 mg/L em uma amostra de água com turbidez inicial de 40,57 NTU.

A **Figura 4** apresenta amostras de água tratada com diferentes concentrações de pseudocaule (A) e casca de banana (B), comparadas à água bruta. Observa-se a efetiva remoção de turbidez e cor, evidenciando o potencial desses materiais na melhoria da qualidade da água.

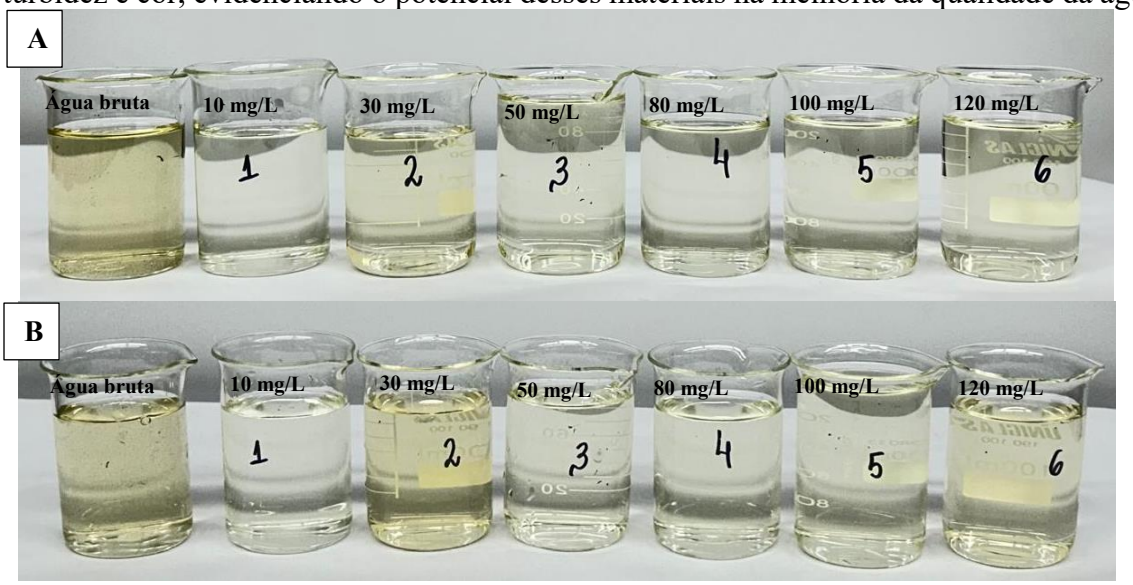


Figura 4. Amostras de água tratada com diferentes concentrações de pseudocaule (A) e casca de banana (B) comparadas à água bruta, evidenciando a remoção de turbidez e cor.
Fonte: Elaboração própria (2024).

Na mais baixa dosagem de coagulante (10 mg/L), a eficiência de remoção é máxima, possivelmente, devido à formação de grande quantidade de flocos de tamanho pequenos, independentemente do coagulante. No entanto, na concentração de 120 mg/L há uma diferença no tamanho dos flocos formados: na **Figura 5a** os flocos são em maior quantidade e bem pequenos para o coagulante com pseudocaule; e na **Figura 5b** é possível observar flocos grandes quando utilizado a casca de banana.

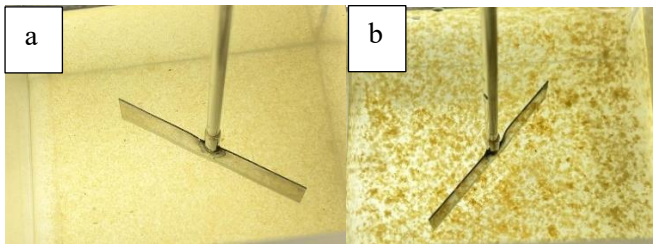


Figura 5. Floculação observada no processo de tratamento de água utilizando coagulantes de pseudocaule (a) e casca (b) na concentração de 120 mg/L.
Fonte: Elaboração própria (2024).

Na **Figura 6** observa-se a variação da CE, o comportamento das curvas segue uma tendência quadrática, evidenciando um padrão inicial de redução da CE seguido por um aumento acentuado nas dosagens mais elevadas. Os coeficientes de determinação (R^2) indicam que os modelos ajustados explicam 75,42% e 70,42% da variabilidade dos dados para pseudocaule e casca, respectivamente.

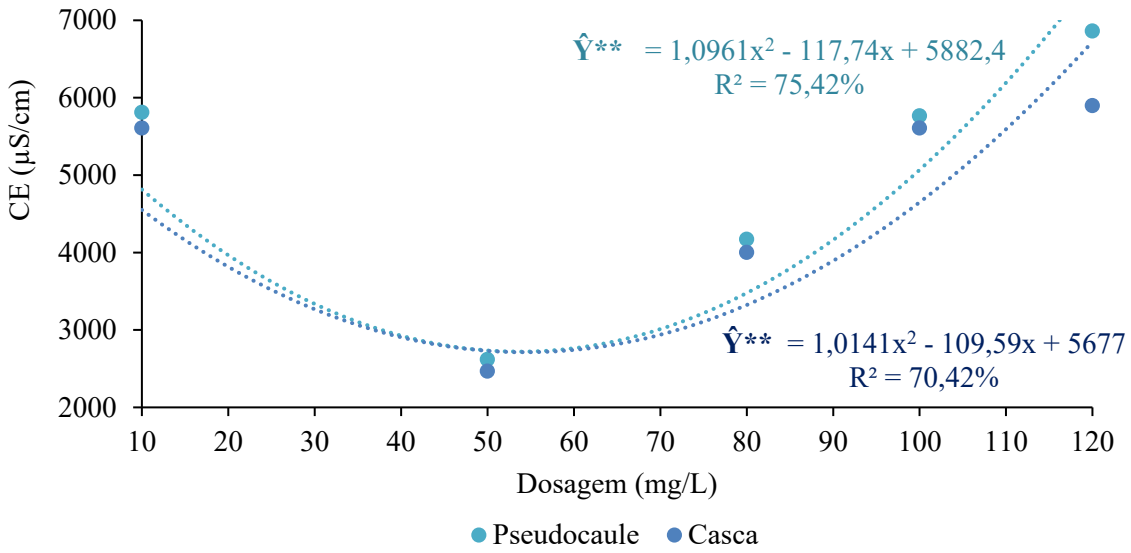


Figura 6. Regressão para doses de pseudocaule e casca de banana em função da CE (µS/cm).
Fonte: Elaboração própria (2025).

Em concentrações de até 50 mg/L, observou-se redução da condutividade elétrica (CE), possivelmente pela interação dos íons da solução extratora (Na^+ e OH^-) com os compostos do coagulante e da água bruta. Acima dessa dosagem, a CE aumentou novamente, indicando liberação de íons decorrente da dissolução de compostos vegetais, resíduos de NaOH 2M e solubilização de substâncias orgânicas e inorgânicas. O pseudocaule apresentou valores de CE ligeiramente maiores que a casca, sugerindo maior liberação de íons. Assim, embora eficazes na remoção de turbidez e cor, esses coagulantes podem elevar a CE em doses mais altas, o que pode limitar seu uso em água potável conforme padrões de qualidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pseudocaule e a casca de bananeira demonstraram potencial como coagulantes naturais, atingindo remoção de turbidez superior a 70% e atendendo ao padrão de potabilidade já na dose de 10 mg/L. Seu uso configura uma alternativa sustentável e de baixo custo, ao mesmo tempo em que agrega valor a resíduos agrícolas e contribui para a redução de impactos ambientais. Entretanto, a escolha adequada da solução extratora é essencial para evitar alterações indesejáveis nos parâmetros físico-químicos da água, como pH e condutividade elétrica. Recomenda-se que estudos futuros avaliem a remoção de outros contaminantes e o desempenho em diferentes tipos de água, a fim de consolidar os resíduos da bananicultura como alternativa eficaz, sustentável e economicamente viável para o tratamento de água.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da

bolsa de pesquisa da primeira autora e ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo financiananciamento da Pequisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, S. A.; Carrillo, Á.J. D; Flórez-López, E.; Grande-Tovar, C.D. 2021. "Recovery of Banana Waste-Loss from Production and Processing: A Contribution to a Circular Economy". *Molecules*, 26(17). https://doi.org/10.3390/molecules26175282

Bertsch, P. M.; Thomas, G. W.; Barnhisel, R. I. 1986. "Characterization of Hydroxy-Aluminum Solutions by Aluminum-27 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy1". *Soil Science Society of America Journal*, 50(3). https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 83, p. 122-123, 7 maio 2021.

dos Santos, E.O.; Ribas, P.P.; Costa, C.C.; Gonzáles, P.L.S. 2021. "Resíduo da agroindústria como coagulante natural em estação de tratamento de efluente". *Revista Brasileira de Meio Ambiente,* 9(1):189-200. https://doi.org/10.5281/zenodo.4558397

Embrapa. *Banana*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Acesso em 27 de agosto de 2025. https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana

Kakoi, B.; Kaluli, J. W.; Ndiba, P., Thiong'o, G. 2016. "Banana pith as a natural coagulant for polluted river water". *Ecological Engineering*, 95:699–705. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.001

Kalibbala, H. M.; Olupot, P. W., Ambani, O. M. 2023. 'Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment". *Results in Engineering*, 17: 100945, ISSN 2590-1230. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100945

Kouniba, S., Benbiyi, A., Zourif, A.; Guendouzi, M. E. 2024. "Study of Banana Peel Biocoagulant and Hydroxyapatite on the Removal of Copper, Zinc, and Turbidity". *Water Air Soil Pollut*, 235(484). https://doi.org/10.1007/s11270-024-07283-2

Mohd-Asharuddin, S.; Othman, N.; Mohd-Zin, N. S.; Tajarudin, H. A. 2018. "Removal of total suspended solid by natural coagulant derived from cassava peel waste". *Journal of Physics*: Conf. Series 995. https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012040

Yamaguchi, N. U.; Cusioli, L.F.; Quesada, H.B.; Ferreira, M. E.F.; Fagundes-Klen, M. G.; Vieira, A.M.S.; Gomes, R. G.; Vieira, M. F.; Bergamasco, R. 2021. "A review of Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges". *Process Safety and Environmental Protection*, 147:405-420,. https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044

Zaidi, N. S.; Muda, K; Loan, L. W.; Sgawi, M. S.; Rahman, M. A. A. 2019. "Potential of Fruit Peels in Becoming Natural Coagulant for Water Treatment Nur Syamimi". *The International Journal of Integrated Engineering*, 11(11):140-150. https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.01.017

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037885

UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ALTO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO: UM DIAGNÓSTICO A PARTIR DO SIAGAS

UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ALTO RÍO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO: UN DIAGNÓSTICO A PARTIR DEL SIAGAS

USE OF GROUNDWATER IN THE UPPER ALTO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO: A DIAGNOSIS BASED ON SIAGAS

Lilia Maria Limeira da Silva[1], Adenilma Maria de Menezes[2], Thamires Carolayne Cavalcanti Moura[3] e Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[4].

[1]Graduanda em Eng. Civil, IFAL, Palmeira dos Índios, Brasil, lmls5@aluno.ifal.edu.br, 0009-0007-1329-3171;
[2]Graduanda em Eng. Civil, IFAL, Palmeira dos Índios, Brasil, amm10@aluno.ifal.edu, 0009-0003-7575-1941;
[3]Doutoranda em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, tccmoura@gmail.com, 0000-0003-4762-3849;
[4]Doutor em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br, 0000-0003-3475-1454.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para abastecimento de água
Águas subterrâneas.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Aguas subterráneas.

.

RESUMO

A região do Alto Rio Capibaribe, em Pernambuco, enfrenta recorrentes desafios relacionados à disponibilidade e gestão de recursos hídricos, sobretudo em virtude das condições semiáridas. Nesse contexto, as águas subterrâneas se configuram como alternativa fundamental para o abastecimento, sendo o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) uma importante ferramenta de diagnóstico. Este estudo teve como objetivo analisar os dados disponibilizados pelo SIAGAS referentes a 807 poços cadastrados na microrregião do Alto Rio Capibaribe, a fim de compreender o panorama atual de utilização desses recursos. Os resultados apontaram predominância de poços tubulares (74,85%), embora uma parcela expressiva não apresente informações sobre sua natureza (22,92%), evidenciando lacunas no preenchimento da base de dados. Quanto ao uso da água, verificou-se que 62,58% dos poços não possuem registro de consumo, dificultando análises mais precisas; ainda assim, constatou-se relevância no abastecimento doméstico, animal e na irrigação. Observou-se também que grande parte dos poços não possui dados sobre a condição dos aquíferos, reforçando limitações do sistema. Conclui-se que, apesar de sua importância, o SIAGAS necessita de melhorias quanto à completude e atualização das informações.

Palavras-chave: semiárido, poços, abastecimento de água.

RESÚMEN

La región del Alto Río Capibaribe, en Pernambuco, enfrenta recurrentes desafíos relacionados con la disponibilidad y gestión de los recursos hídricos, principalmente debido a las condiciones semiáridas. En este contexto, las aguas subterráneas se configuran como una

alternativa fundamental para el abastecimiento, siendo el Sistema de Información de Aguas Subterráneas (SIAGAS) una herramienta importante de diagnóstico. Este estudio tuvo como objetivo analizar los datos disponibles en el SIAGAS sobre 807 pozos registrados en la microrregión del Alto Río Capibaribe, con el fin de comprender el panorama actual de utilización de estos recursos. Los resultados señalaron predominio de pozos tubulares (74,85%), aunque una parte significativa no presenta información sobre su naturaleza (22,92%), lo que evidencia vacíos en la base de datos. En cuanto al uso del agua, se verificó que el 62,58% de los pozos no tiene registro de consumo, lo que dificulta análisis más precisos; sin embargo, se destaca la relevancia del abastecimiento doméstico, animal y de riego. También se observó la ausencia de datos sobre la condición de muchos acuíferos, reforzando las limitaciones del sistema. Se concluye que, a pesar de su importancia, el SIAGAS necesita mejoras en la completitud y actualización de la información.

Palabras clave: semiárido, pozos, abastecimiento de agua.

ABSTRACT

The Upper Capibaribe River region, in Pernambuco, faces recurring challenges related to water availability and management, mainly due to semiarid conditions. In this context, groundwater emerges as a fundamental alternative for supply, with the Groundwater Information System (SIAGAS) serving as an important diagnostic tool. This study aimed to analyze data available in SIAGAS for 807 wells registered in the Upper Capibaribe River microregion, in order to understand the current panorama of groundwater use. The results showed a predominance of tubular wells (74.85%), although a significant portion lacks information on their characteristics (22.92%), highlighting gaps in the database. Regarding water use, 62.58% of wells had no consumption record, which hinders more accurate analyses; nevertheless, domestic, livestock, and irrigation purposes proved to be relevant. It was also observed that most wells lack information on aquifer conditions, reinforcing the system's limitations. It is concluded that, despite its importance, SIAGAS still requires improvements in data completeness and updating.

Keywords: semi-arid, wells, water supply.

INTRODUÇÃO

A região do Alto Rio Capibaribe, em Pernambuco, destaca-se pela sua relevância econômica e social, embora enfrente sérios desafios relacionados à gestão dos recursos hídricos (Rodrigues Junior et al. 2024). Nesse contexto, o uso das águas subterrâneas por meio de poços artesianos tem ganhado destaque nas políticas públicas voltadas ao semiárido, configurando-se como uma alternativa importante para o abastecimento (Silva e Martins 2024).

Entre as estratégias mais adotadas para enfrentar essas dificuldades, a perfuração de poços artesianos, também conhecidos como poços tubulares profundos, apresenta-se como solução eficaz, sobretudo em locais com acesso limitado ou inexistente a fontes de água

superficial (Carvalho 2025).

Criado em 1996 pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) (SGB, 2025) constitui um programa institucional reconhecido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que recomenda sua utilização por órgãos gestores estaduais, secretarias de governo, pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e demais usuários de recursos hídricos subterrâneos. A base de dados do SIAGAS é constantemente atualizada a partir de informações fornecidas por gestores estaduais, pela ANA, por companhias estaduais de abastecimento e por empresas de perfuração de poços, além de dados coletados diretamente pelo SGB em atividades de campo (Borba et al. 2024).

Por meio do SIAGAS, o SGB tem buscado cadastrar e disponibilizar informações sobre os poços existentes em todo o território nacional. No entanto, devido à grande extensão do país e ao número limitado de profissionais envolvidos, tais esforços ainda não são suficientes para atender de forma plena à demanda (Silva e Peixoto 2024).

O objetivo deste estudo é examinar, com base nos dados disponibilizados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), a situação atual do uso dos recursos subterrâneos na região do Alto Rio Capibaribe, em Pernambuco, a qual enfrenta recorrentes condições de estresse hídrico, a fim de subsidiar a compreensão de um panorama inicial sobre a gestão hídrica local.

MATERIAIS E MÉTODOS

As informações analisadas neste trabalho foram coletadas através do Banco de Informações do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2025), para tal foram selecionadas informações acerca de 807 poços de águas subterrâneas localizados na microrregião do Alto Rio Capibaribe, em Pernambuco.

A área de estudo (Figura 1) compreende uma importante microrregião do estado de Pernambuco, o Alto Capibaribe, que contempla 9 municípios: Casinhas, Frei Miguelinho, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambucá, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama, Vertente do Lério e Vertentes. Essa área está inserida no Agreste de Pernambuco, especificamente no Planalto da Borborema (Rocha et al. 2020).

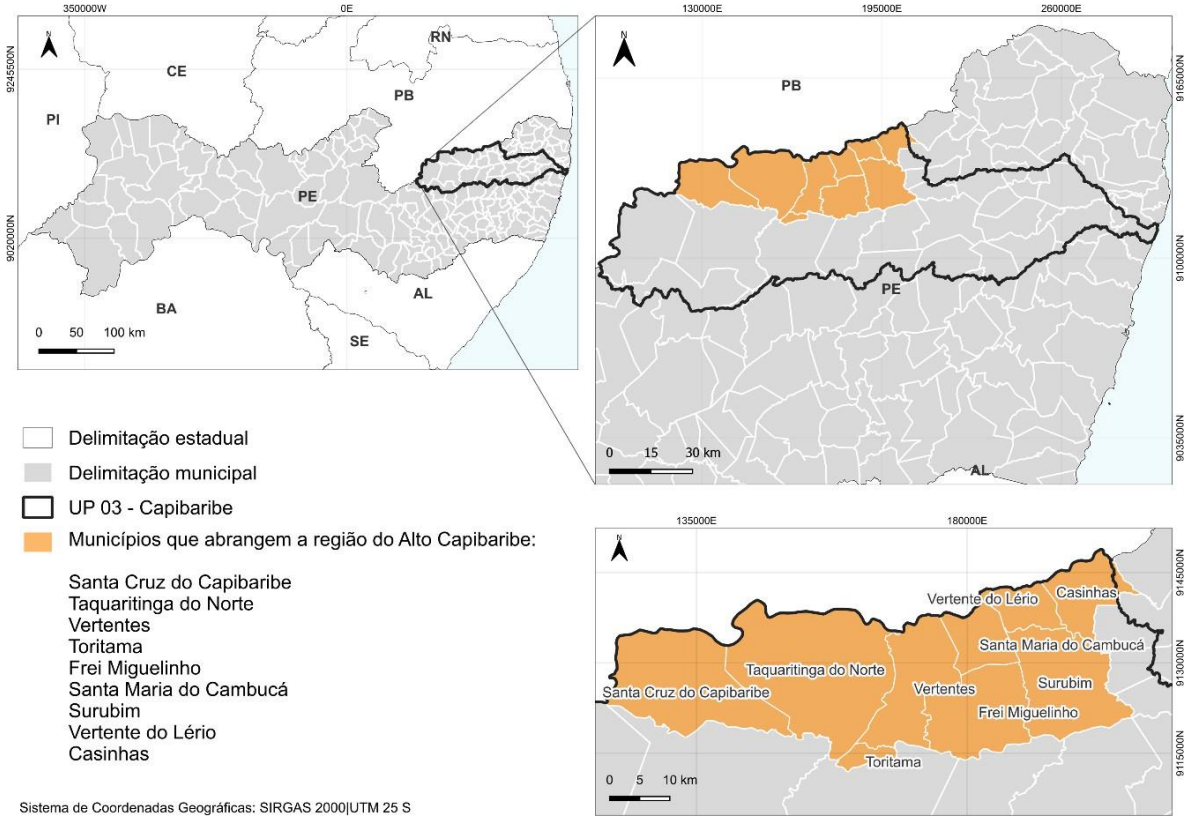


Figura 1. Localização dos municípios que integram a microrregião do Alto Rio Capibaribe - PE.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A sequência metodológica adotada na pesquisa pode ser visualizada no fluxograma da Figura 2.

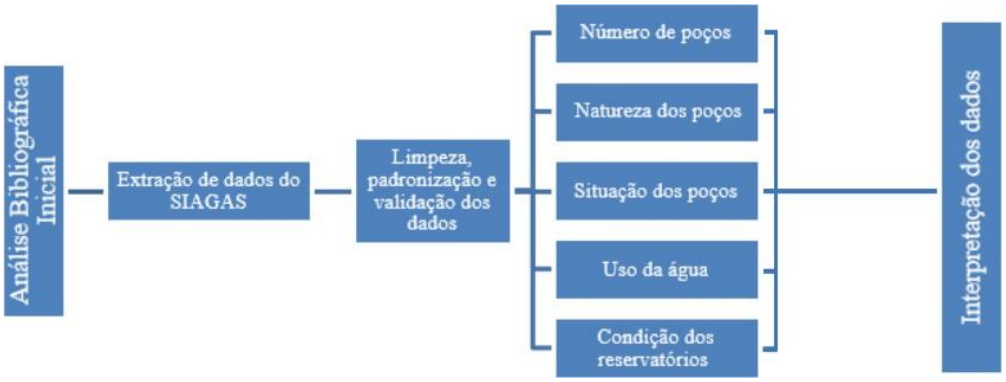


Figura 2. Fluxograma do procedimento metodológico da presente pesquisa.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A busca foi realizada no SIAGAS no segundo semestre de 2025, onde foram extraídas em formato de .csv as informações de poços cadastrados em todos o território do Estado de Pernambuco. Após isso, foram aplicados filtros para identificar os quantitativos cadastrados nos municípios que compreendem a região do Alto Rio Capibaribe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o resultado da análise de dados fornecidos pelo SIAGAS, obteve-se o quantitativo de poços cadastrados na região do Alto Rio Capibaribe, em Pernambuco, bem como sua classificação quanto à natureza, situação, uso da água e condição de operação. No estado de Pernambuco (no segundo semestre de 2025), o SIAGAS contabiliza um total de 45.548 poços, onde destes, 807 se localizam na região do Alto Rio Capibaribe.

Na Figura 3 detalha-se os municípios que constituem a região e o quantitativo de poços cadastrados por município.

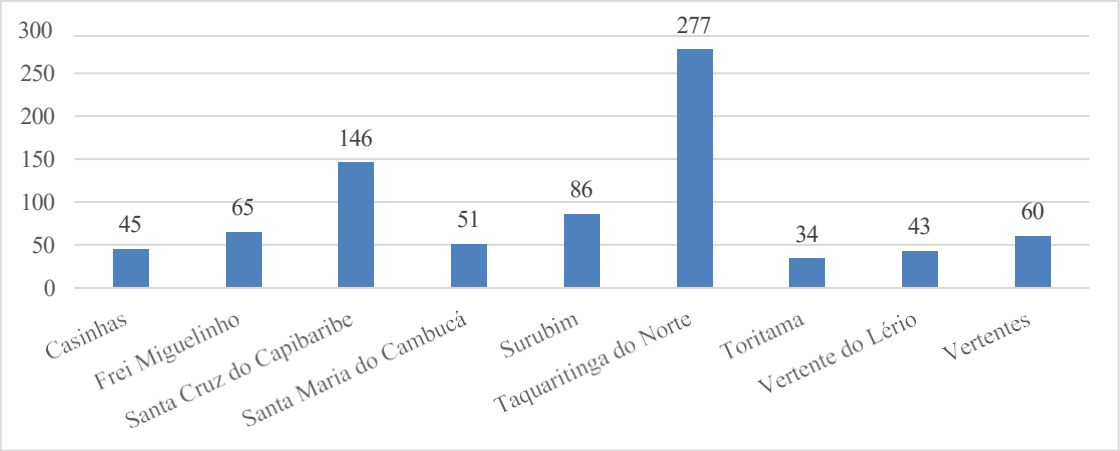


Figura 3. Gráfico do quantitativo de poços por município na região do Alto Rio Capibaribe.
Fonte: Elaboração própria, 2025. Fonte dos dados: SGB (2025).

Ao classificar os pontos levantados quanto à sua natureza, identificou-se que a maioria trata-se de poços tubulares (74,85%), enquanto a segunda maior parcela corresponde aos instrumentos que não tiveram sua natureza informada pela plataforma (22,92%), dando indícios de falha na coleta ou inserção de dados no sistema. Por fim, a menor fatia (2,23%) diz respeito às fontes naturais, poços amazonas e poços de monitoramento. Tal informação pode ser confirmada pela Figura 4.

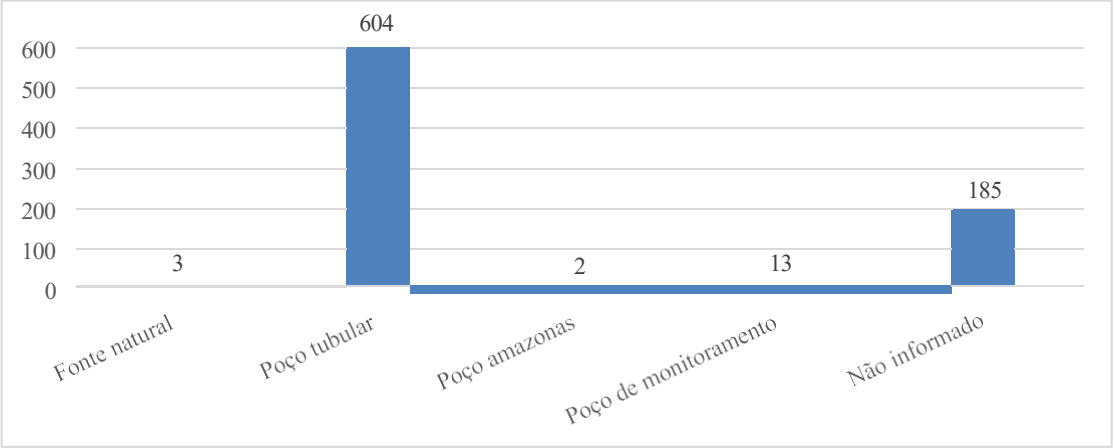


Figura 4. Gráfico da natureza dos poços registrados na região do Alto Rio Capibaribe.
Fonte: Elaboração própria, 2025. Fonte dos dados: SGB (2025).

Por outro lado, quando trata-se da situação de operação dos poços, a classificação é melhor distribuída. Ainda que uma parcela não contenha essa informação (29,37%), aproximadamente 20,32% dos poços constam como operando, em bombeamento, enquanto 12,14% estão equipados, entretanto, sem informação de operação e 11,28% parados. Os demais encontram-se em situações como abandonado (2,35%), colmatado (0,12%), fechado (0,50%), não instalado (9,54%), não utilizável (3,47%), obstruído (7,81%) e seco (3,10%), conforme a Figura 5.

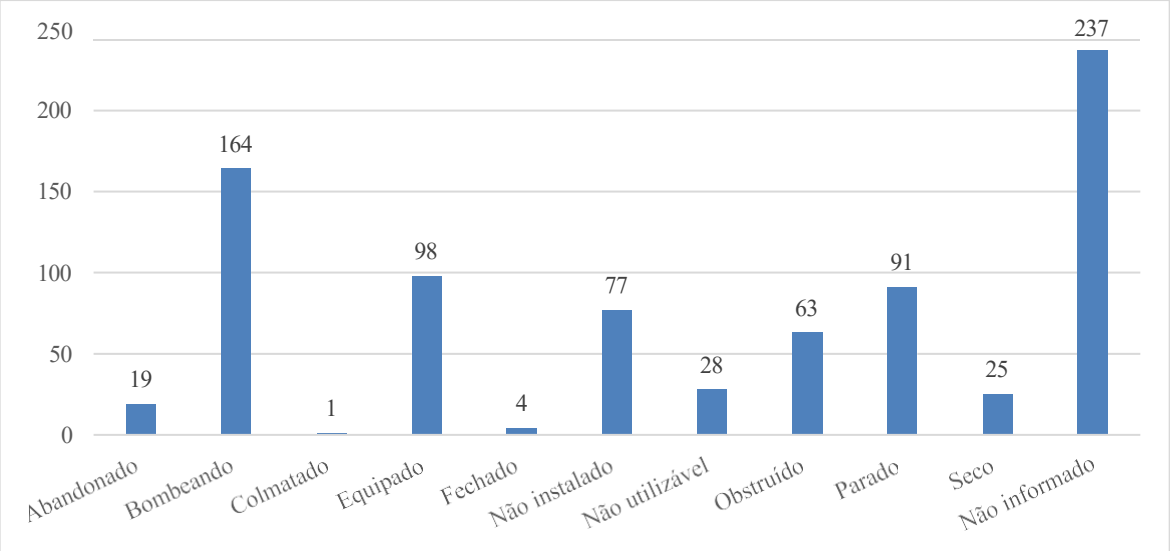


Figura 5. Gráfico da situação dos poços na região do Alto Rio Capibaribe.
Fonte: Elaboração própria, 2025. Fonte dos dados: SGB (2025).

Barros (2019) identificou que os principais motivos para paralisação do uso de poços apresentados pela população estão relacionados a problemas de manutenção, baixa vazão, entupimento (acidental ou proposital) e qualidade da água. No que tange a qualidade da água,

em regiões semiáridas é comum enfrentar problemas relacionados a alto teor de sais contido nas águas dos aquíferos fissurais, necessitando ainda de sistemas de dessalinização, o que pode ser oneroso ou até mesmo inviável (De Oliveira e Alves 2025).

Ao trazer o problema para uma análise do uso da água destes dispositivos, observa-se que 62,58% não tem seu consumo conhecido pelo SGB, o que implica na dificuldade de estudos e aplicação de soluções de engenharia que melhor atendam às necessidades dos usuários. Apesar disso, nota-se que uma parcela considerável é destinada ao abastecimento doméstico/animal (12,14%), somente doméstico (8,05%), irrigação (7,19%) e pecuária (6,32%), totalizando 33,71% aplicados às atividades de uso familiar e/ou primárias, próprias da região abordada. Abaixo, na Figura 6, é possível enxergar com maior clareza este panorama.

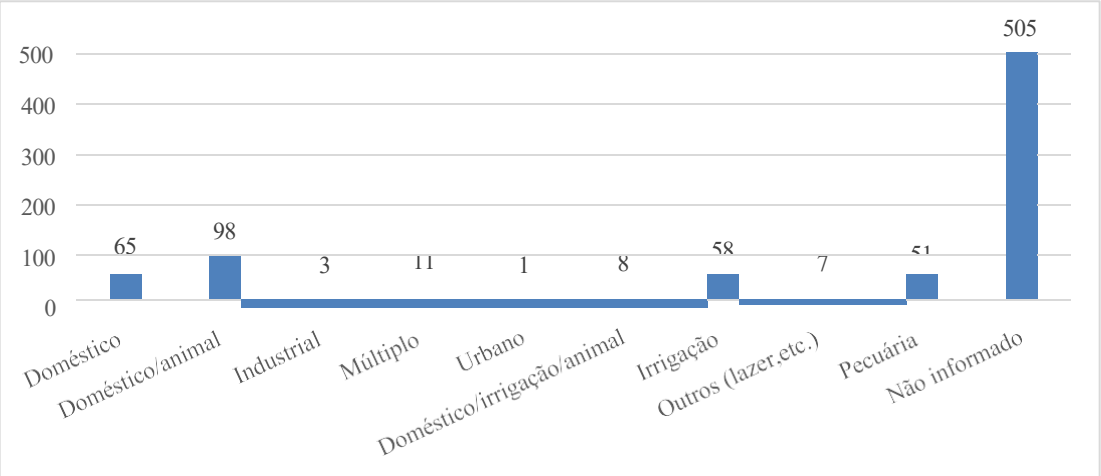


Figura 6. Gráfico do uso da água dos poços no Alto Rio Capibaribe.
Fonte: Elaboração própria, 2025. Fonte dos dados: SGB (2025).

No que se refere à condição dos poços, livre ou confinado, foram encontradas informações para 136 unidades na região do Alto Rio Capibaribe, correspondendo a 16,85% do total. A maioria desses poços é classificada como livre, ou seja, capta água de aquíferos freáticos, cujo nível varia conforme a recarga (chuva, infiltração, rios próximos). Por essa característica, tratam-se de pontos de captação de fácil acesso humano, considerando a profundidade dos poços, porém, mais vulneráveis à contaminação. Apenas um poço foi registrado como confinado (0,12%), enquanto a condição de 670 poços (83,02%) permanece desconhecida pelas autoridades públicas, o que reforça a limitação de informações já observada em parâmetros anteriores. Na Figura 7 visualiza-se o resultado desse levantamento.

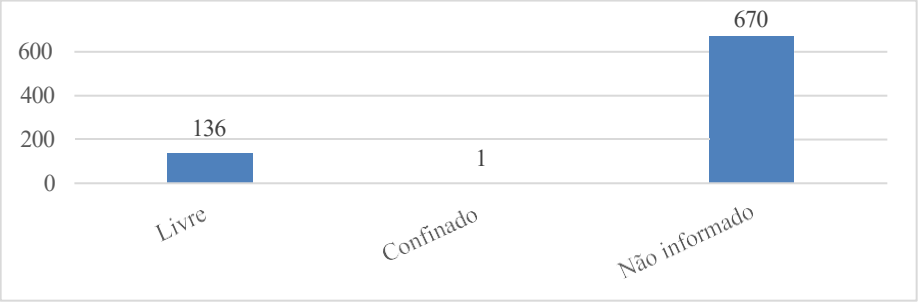


Figura 7. Gráfico da condição da formação aquífera dos poços registrados no Alto Rio Capibaribe.
Fonte: Elaboração própria, 2025. Fonte dos dados: SGB (2025).

Apesar de sua relevância como principal base de dados sobre águas subterrâneas no Brasil, o SIAGAS ainda apresenta limitações quanto ao preenchimento completo das informações dos poços cadastrados. Observa-se que, em muitos registros, dados essenciais sobre a condição dos aquíferos, como o tipo de confinamento e características construtivas, não são informados, comprometendo a precisão das análises e dificultando a elaboração de diagnósticos mais detalhados sobre a situação hídrica local (Franzolin et al. 2018). A

Além dessas limitações relacionadas ao preenchimento das informações no SIAGAS, deve-se destacar a dificuldade inerente ao processo de cadastramento, já que depende da iniciativa dos próprios usuários para realizar o registro junto aos órgãos competentes e, muitas vezes, envolve a necessidade de outorga de perfuração e operação. Outro aspecto relevante é a isenção do cadastro para poços rasos, que frequentemente não possuem dados registrados no sistema, gerando lacunas adicionais. Um exemplo disso é visto no estudo realizado por Paiva et al., (2014) que realizaram um levantamento em campo em um trecho do Alto Rio Capibaribe, numa extensão de 79Km e registrou-se todos os poços escavados na aluvião, cadastrou-se 119 poços, sendo 74% de poços amazonas (cacimbão) e 26% de poços só escavados (cacimbas).

Caetano et al (2020) constatou que a água oriunda da aluvião é a fonte mais segura e permanente para abastecimento de água nas comunidades rurais que compreendem a região estudada. Deste modo, espera-se que o número real de poços operando na região, seja superior ao que se apresenta no SIAGAS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico realizado a partir dos dados do SIAGAS para a região do Alto Rio Capibaribe evidenciou a importância estratégica das águas subterrâneas como alternativa para

o abastecimento em áreas do semiárido pernambucano. Observou-se, entretanto, que o sistema ainda apresenta lacunas significativas de informação, como a ausência de dados sobre a natureza, uso e condição de operação de grande parte dos poços cadastrados, o que limita a confiabilidade das análises e a formulação de políticas públicas mais assertivas, principalmente nessas regiões no interior e com zonas rurais. Necessitando um melhor acompanhamento através de parcerias com órgãos locais para apoiar a APAC e SGB.

Apesar dessas limitações, os resultados apontam que parcela considerável dos poços é destinada a atividades domésticas e de subsistência, confirmando a relevância desse recurso hídrico para as comunidades locais, sobretudo em captação em depósitos aluvionares. Contudo, a elevada proporção de registros incompletos reforça a necessidade de aprimoramento dos mecanismos de coleta, atualização e padronização das informações no SIAGAS.

Nesse sentido, recomenda-se maior integração entre órgãos gestores, universidades e empresas de perfuração, visando a ampliar a qualidade dos dados disponíveis e subsidiar estratégias de gestão mais eficientes. Futuras pesquisas podem explorar, de forma complementar, aspectos qualitativos da água e os impactos socioeconômicos da utilização dos poços, de modo a contribuir para uma visão mais abrangente da gestão hídrica na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo á Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de doutorado à terceira autora (processo 1900-3.01/24). Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, Isa Bettina Bezerra Furtado. 2019. *Paralisação e desperdício: um estudo sobre a qualidade da água de poços inutilizados no município de Itapipoca/CE*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará.

Borba, Alexandre L. S., Costa, Margarida R., Torres, Fernanda S. de M., e Moraes, Alex S.. "A gestão das águas subterrâneas de Pernambuco com a ferramenta de apoio: o SIAGAS." *In: Anais do* XVII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SRHNE), João Pessoa, PB, 24–29 novembro 2024. Associação Brasileira de Recursos Hídricos

(ABRHidro).

Caetano, T. O., de Paiva, A. L. R., da Silva, S. R., Coutinho, A. O. P., Cirilo, J. A., & Cabral, J. J. D. S. P. (2020). Abastecimento rural de água:: uso e demanda em comunidades do Semiárido e a disponibilidade hídrica das aluviões. *Revista de Gestão de Água da América Latina*.

Carvalho, Francisco Antônio Gonçalves de. 2025. *Acesso, gestão e distribuição de água em regiões semiáridas: estudo no Vale do Rio Guaribas, Piauí*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina.

de Oliveira, Roberval Véras, e Alves, José Luiz. 2025. "Importância do programa água doce, como sistema de dessalinização sustentável para produção de água potável no semiárido pernambucano". *ARACÊ* 7 (8): e7559. https://doi.org/10.56238/arev7n8-236.

Franzolin, Thiago Affonso, Katarina Rempel, e Almeida, Alisson Augusto Silva de. 2018. *Metodologia e resultados obtidos pelo projeto Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) nos estados do Acre e de Rondônia*.

Paiva, A. L. R., Caetano, T. O., Silva, D. J., Cabral, J. J. S. P., & Braga, R. A. P.(2014). Ocorrência e características construtivas de poços escavados em aluvião -trecho alto rio Capibaribe - PE.In Anais do 12° Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.

Rocha, Layane C. A. da., Barros, Maykon R. G. de., Ribeiro, George do N., Medeiros, Paulo da C., Oliveira, José E. da S. de. 2020. " Análise de índices de aridez na microrregião Alto Capibaribe - PE". *Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology ISNN: 2447-0740*.

Rodrigues Junior, Jocimar Coutinho, Marcella Cynthia Cavalcante de Araujo, Bárbara Albuquerque Branco de Moraes, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva, e Lourdinha Florêncio. 2024. "Avaliação da pegada hídrica para o cultivo de batata doce na região do Alto Capibaribe, Pernambuco." *Anais do 21º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA)*. Recife: ABES.

Silva, José Erivaldo, e Martins, Maria de Fátima. 2024. "Os impactos da perfuração de poços artesianos no Cariri Oriental paraibano: Um estudo de caso no assentamento Serra do Monte Cabaceiras – PB". *Caderno Pedagógico* 21 (2): e2820. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n2-087.

SGB/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas*. Disponível em: https://siagasweb.sgb.gov.br/. Acesso em: 10/09/2025

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037897

Viabilidade financeira para implementação de um sistema compacto de monitoramento inteligente para pequenas ETAS em comunidades rurais

Viabilidad financiera para la implementación de un sistema compacto de monitoreo inteligente en pequeñas plantas de tratamiento de agua en comunidades rurales.

Financial feasibility for the implementation of a compact intelligent monitoring system for small water treatment plants in rural communities

Wemerson De Carvalho Batista[1], Rafael da Silva de Arruda[2], Heron Carlos da Silva Santos[3] e Silvanete Severino da Silva[4].

[1]Bacharelando em Engenharia de Controle e Automação, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, wemerson.carvalho@ufrpe.br, 0009-0005-0972-2848;
[2]Bacharelando em Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, rafael.silvaarruda@ufrpe.br, 0009-0000-0418-0350;
[3]Bacharel em Sistemas de Informação, UFERSA, Angicos-RN, Brasil, heron.santos@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0009-8973-6498;
[4]Doutorado em Engenharia Agrícola , Docente da UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811.

Eixo Temático III – Tecnologias para Abastecimento de Água
Soluções alternativas de abastecimento no meio rural.

RESUMO

O presente trabalho propõe e avalia a viabilidade técnica e econômica de um sistema compacto de monitoramento inteligente para pequenas Estações de Tratamento de Água (ETAs) em comunidades rurais. O protótipo integra uma placa microcontroladora (ESP32), sensores de pH, turbidez e cor aparente (APDS-9960), armazenamento local e transmissão de dados, com foco em baixo custo e facilidade de manutenção. Além da descrição do projeto e dos testes de bancada realizados, realizou-se uma análise econômica que inclui o investimento inicial e cenários de economia operacional decorrente da automação. Para complementar o payback simples, foram calculados o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) para horizontes de 3 e 5 anos, adotando-se uma taxa de desconto real de 10% ao ano. Os resultados preliminares indicam que, mesmo sem considerar custos de manutenção, o investimento inicial estimado (R$ 2.927,28 — custos detalhados na Tabela BOM) tende a ser atraente nos três cenários de economia mensal avaliados (R$ 300; R$ 500; R$ 700), mostrando VPL positivo na maioria das combinações e TIR compatível com projetos de pequena escala. Ressalta-se que a medição de cor com o sensor APDS-9960 exige validação frente a métodos padronizados (Pt-Co/APHA) e que a análise financeira deve ser refinada incorporando custos recorrentes e incertezas operacionais; propõe-se um protocolo de calibração e um plano de manutenção para mitigar essas limitações.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável, Gestão de Recursos Hídricos, IOT, ODS 6

RESÚMEN

El presente trabajo propone y evalúa la viabilidad técnica y económica de un sistema compacto de monitorización inteligente para pequeñas estaciones de tratamiento de agua (ETA) en comunidades rurales. El prototipo integra una placa microcontroladora (ESP32), sensores de pH, turbidez y color aparente (APDS-9960), almacenamiento local y transmisión de datos, con un enfoque en el bajo costo y la facilidad de mantenimiento. Además de la descripción del proyecto y las pruebas de banco realizadas, se llevó a cabo un análisis económico que incluye la inversión inicial y los escenarios de ahorro operativo derivados de la automatización. Para complementar el simple retorno de la inversión, se calcularon el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rendimiento (TIR) para horizontes de 3 y 5 años, adoptando una tasa de descuento real del 10 % anual. Los resultados preliminares indican que, incluso sin tener en cuenta los costes de mantenimiento, la inversión inicial estimada (2927,28 R$ — costes detallados en la tabla BOM) tiende a ser atractiva en los tres escenarios de ahorro mensual evaluados (300 R$; 500 R$; R$ 700), mostrando un VAN positivo en la mayoría de las combinaciones y una TIR compatible con proyectos a pequeña escala. Cabe destacar que la medición del color con el sensor APDS-9960 requiere validación frente a métodos estandarizados (Pt-Co/APHA) y que el análisis financiero debe refinarse incorporando costos recurrentes e incertidumbres operativas; se propone un protocolo de calibración y un plan de mantenimiento para mitigar estas limitaciones.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, Gestión de recursos hídricos, IoT, ODS 6

ABSTRACT

The present article proposes and evaluates the technical and economic viability of a compact, smart monitoring system for small Water Treatment Plants (WTP) in rural communities. The prototype integrates a microcontroller board (ESP32), pH sensors, turbidity and apparent colour (APDS-9960), local storage and data transmission, focusing on low cost and ease of maintenance. Beyond the project's description and bench tests, an economic analysis was also conducted which includes the initial investment and the operational economics scenarios achieved through the automation. To complement the simple payback, it was calculated the Net Present Value (NPV), and the Internal Rate of Return (IRR) for 3- and 5-years periods, adopting a real discount rate of 10% per year. The preliminary results indicate that, even without considering the maintenance costs, the initial estimated investment (R$ 2,927.28 – cost detailed on the BOM table) tends to be attractive in the three evaluated monthly savings scenarios (R$ 300; R$ 500; R$ 700), demonstrating positive NPV in most combinations and IRR compatible with small scale projects. It is important to notice the colour measurements with the APDS-9960 sensor which requires validation against the standard methods (Pt- Co/APHA) and the financial analysis must be refined to incorporate recurring costs and operational uncertainties; It is proposed a calibration protocol and a maintenance plan to mitigate these limitations.

Keywords: Sustainable Development, Water Resources Management, IoT, SDG 6

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável de qualidade constitui um dos principais desafios enfrentados por comunidades rurais, onde a infraestrutura de saneamento básico é frequentemente limitada e marcada por deficiências técnicas e financeiras. Nesse contexto, Pană et al. (2023) enfatizam que a água é essencial não apenas para garantir a sobrevivência humana, mas também para promover o progresso econômico, a sustentabilidade ambiental e o equilíbrio dos ecossistemas.

Assim, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) desempenham um papel central na segurança hídrica; contudo, muitas vezes operam em condições precárias, com recursos humanos restritos e baixa capacidade de monitoramento contínuo da qualidade da água distribuída, como é o caso do distrito de Xucuru, em Belo Jardim-PE.

Consequentemente, a ausência de mecanismos eficientes de acompanhamento do processo de tratamento aumenta os riscos de falhas operacionais e compromete a saúde da população atendida. Em particular, pequenas ETAs localizadas em áreas remotas enfrentam desafios significativos, como a escassez de mão de obra qualificada e a falta de recursos tecnológicos que possibilitem um controle sistemático, acessível e confiável. Essa realidade reforça, portanto, a necessidade de soluções inovadoras, adaptadas às condições locais e capazes de assegurar eficiência, confiabilidade e sustentabilidade.

Nesse sentido, nos últimos anos, avanços em tecnologias digitais e sistemas inteligentes têm possibilitado o desenvolvimento de ferramentas mais compactas e de menor custo, aplicáveis a diferentes contextos do saneamento. Por exemplo, Abrajano et al. (2024) apresentaram um sistema de baixo custo baseado em Arduino para monitoramento em tempo real de parâmetros como pH, turbidez e temperatura, com envio de dados à nuvem e alertas via SMS, evidenciando uma implementação prática em comunidades rurais isoladas. De maneira complementar, Georgantas et al. (2025) descreveram um sistema econômico utilizando rede LoRa para cobertura extensa, com sensores em microcontrolador e correções para melhorar a precisão, ideal para regiões rurais com difícil conectividade. Além disso, Bogdan et al. (2023) desenvolveram um projeto completo com Arduino UNO, sensores para pH, TDS, turbidez, temperatura e aplicativo móvel, testado em fontes de água rural, fornecendo dados reais e insights sobre limitações técnicas. Apesar dessas inovações, a adoção dessas tecnologias em

comunidades rurais ainda se mostra limitada, sobretudo por questões relacionadas à viabilidade financeira.

Diante dessa lacuna, torna-se imprescindível avaliar em que medida a implementação de sistemas de monitoramento inteligente pode se tornar economicamente factível para pequenas ETAs, considerando os custos de instalação, operação e manutenção em relação aos benefícios proporcionados em termos de eficiência e segurança no tratamento da água. Essa análise permite identificar estratégias para ampliar a adoção de tecnologias inovadoras e, simultaneamente, reduzir desigualdades no acesso à água de qualidade entre áreas urbanas e rurais.

Contudo, o presente artigo tem como objetivo geral avaliar a viabilidade financeira da implementação de um sistema compacto de monitoramento inteligente em pequenas Estações de Tratamento de Água localizadas em comunidades rurais, verificando seu potencial de contribuição para a sustentabilidade operacional, a melhoria da qualidade da água e a promoção da saúde pública.

METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no distrito de Xucuru, município de Belo Jardim-PE, uma comunidade rural com aproximadamente 8.500 habitantes. O abastecimento de água da região é realizado pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), que opera a Estação de Tratamento de Água (ETA) local, responsável por tratar em média 172,8 m³/dia, volume destinado ao suprimento hídrico de toda a população.

2.2 Fundamentação teórica

O delineamento metodológico foi sustentado por revisão de literatura em quatro eixos principais:

i) monitoramento inteligente aplicado a sistemas hídricos;

ii) viabilidade econômica de tecnologias em contextos rurais;

iii) aplicação de sensores de baixo custo e plataformas digitais;

iv) métodos clássicos de análise financeira.

Esse referencial orientou as etapas de coleta, análise e modelagem do sistema compacto de monitoramento proposto.

2.3 Coleta de dados

Os dados primários foram obtidos por meio de informações fornecidas pela Compesa, abrangendo:

- consumo diário de água;
- parâmetros de qualidade da água (pH, turbidez e cor aparente);
- custos operacionais da ETA, incluindo energia elétrica, insumos químicos e manutenção.

Essas informações permitiram caracterizar o funcionamento atual da estação e forneceram subsídios para a modelagem e avaliação do sistema inteligente.

2.4 Concepção do sistema compacto de monitoramento inteligente

2.4.1 Arquitetura geral

O sistema embarcado foi projetado para monitorar, em tempo real, parâmetros físico-químicos da água bruta e tratada em pequenas ETAs. O núcleo do sistema é formado por um microcontrolador responsável pela aquisição, processamento inicial e envio dos dados coletados pelos sensores.

O monitoramento foi concebido em duas modalidades: **local**: por meio de display acoplado ao sistema, possibilitando acompanhamento imediato em campo; e r**emota**: via software de supervisão, permitindo acesso contínuo por técnicos da Compesa.

Essa arquitetura visa maior confiabilidade, detecção rápida de falhas e otimização de recursos financeiros e humanos.

2.4.2 Sensores e módulos utilizados

- **Sensor de pH:** mede acidez/alcalinidade, parâmetro essencial para garantir potabilidade e eficiência da cloração.

- **Sensor de turbidez:** quantifica partículas em suspensão (areia, argila, matéria orgânica), influenciando diretamente a desinfecção.
- **Sensor de cor aparente (APDS-9960):** avalia alterações visuais relacionadas a compostos orgânicos e metais dissolvidos.
- **Módulo IoT (ESP32):** microcontrolador com conectividade Wi-Fi e Bluetooth, responsável pela aquisição, processamento local e transmissão de dados.
- **Módulo RTC DS3231:** relógio em tempo real que assegura precisão na marcação temporal das medições.
- **Módulo Leitor de Cartão Micro SD:** realiza o armazenamento local de dados, garantindo redundância em caso de falhas de conexão.
- **Display LCD 16x2:** permite visualização imediata das leituras no campo.

Além desses, foram utilizados resistores, conectores, jumpers, fios e protoboards para a correta interconexão elétrica, assegurando estabilidade e confiabilidade ao sistema (Figura 1).

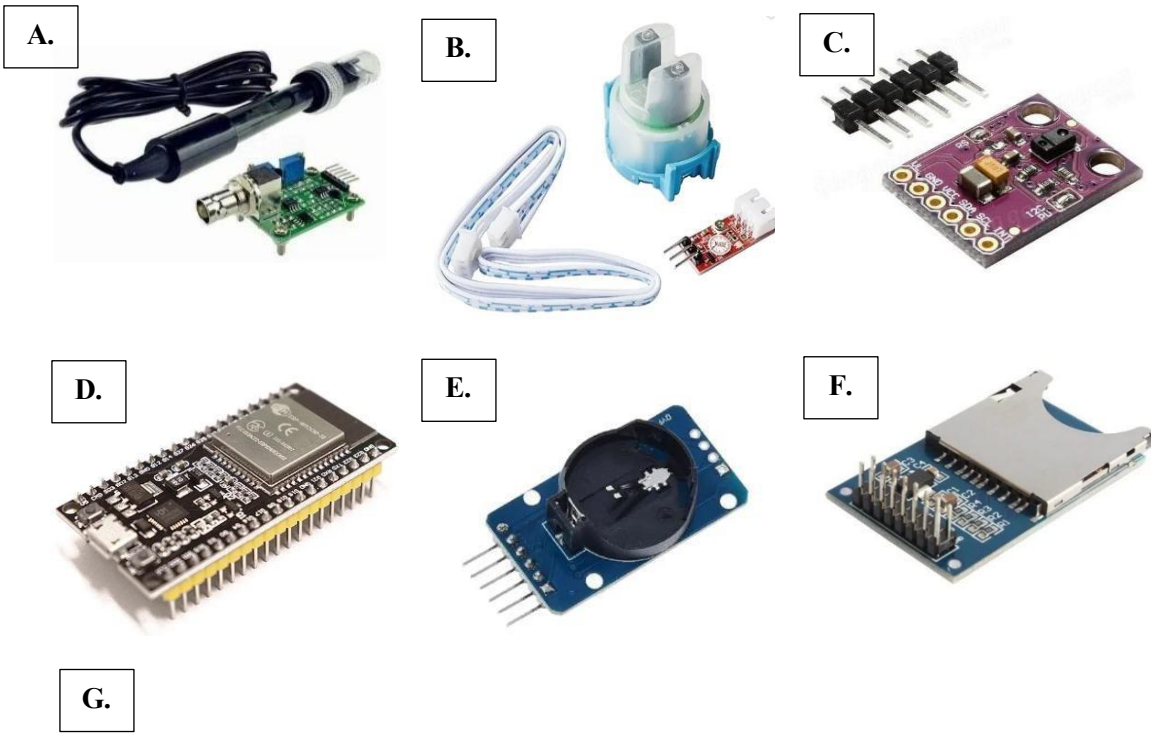


Figura 1 – Seleção de materiais para o orçamento estimado: Sensor de pH (A); Sensor de turbidez (B); Sensor de Cor APDS-9960 (C); Módulo ESP32 (D); Módulo RTC DS3231 (Real Time Clock) (E); Módulo Leitor de Cartão Micro SD (SD Card Shield) (F)**;** e Display LCD 16x2 com backlight azul (G).
Fonte: Google imagens (2025).

2.5 Análise de viabilidade econômica

A viabilidade financeira da implementação do sistema foi avaliada por meio de métricas clássicas de análise de investimentos, com ênfase no método do **Payback**, que determina o tempo necessário para recuperação do capital investido.

A equação utilizada foi (ROSS, WESTERFIELD & JAFFE, 2016):

$$Payback = número\ de\ anos\ até\ que \sum_{t=1}^{n} FC\ A_t \geq I\ \frac{Investimento\ Inicial}{Fluxo\ de\ caixa\ contínuo}$$

- **Investimento Inicial (I):** valor total aplicado no projeto;
- **Fluxo de Caixa Anual (FCA):** economia ou receita líquida obtida com a redução de perdas e otimização da operação.

Nos casos de fluxos não constantes, a análise foi realizada somando os valores de cada período até atingir o montante do investimento inicial.

Além disso, foram incluídos custos de instalação, operação e manutenção, permitindo a comparação entre: a operação convencional da ETA e a operação assistida pelo monitoramento inteligente.

Para complementar a análise financeira baseada no payback simples, foram calculados o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto, considerando

horizontes de 3 e 5 anos. Adotou-se uma taxa de desconto real de 10% ao ano (equivalente a aproximadamente 0,8% ao mês), valor comumente empregado em avaliações de investimentos de pequeno porte no contexto brasileiro.

2.6 Integração metodológica

A integração das etapas de coleta, modelagem do sistema e análise financeira possibilitou uma avaliação sistemática do potencial de implementação do sistema compacto. Assim, foi possível mensurar simultaneamente: a eficiência técnica, relacionada à melhoria da detecção de variações nos parâmetros da água; e a sustentabilidade financeira, vinculada à viabilidade econômica da solução em comunidades rurais. Essa abordagem integrada fornece subsídios para fortalecimento da gestão hídrica, melhoria da qualidade da água e promoção da saúde pública em áreas rurais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) do distrito de Xucuru opera atualmente com três funcionários distribuídos em turnos de 8 horas, responsáveis por realizar medições manuais de pH, turbidez e cor a cada duas horas. Esse modelo de operação, além de demandar custos elevados com pessoal, apresenta limitações técnicas, pois variações rápidas nos parâmetros de qualidade da água podem não ser detectadas em tempo hábil, comprometendo a eficiência do processo de tratamento.

Com a adoção do sistema compacto de monitoramento inteligente proposto, o acompanhamento passaria a ser contínuo e automatizado, permitindo a redução da carga de trabalho presencial. Nesse cenário, apenas um técnico atuaria em regime de sobreaviso, sendo acionado somente quando o sistema identificasse alterações críticas e emitisse notificações automáticas. Essa configuração representa não apenas uma economia significativa em recursos humanos, mas também maior confiabilidade e rapidez na resposta a variações nos parâmetros da água.

O custo estimado para implementação do sistema foi de R$ 2.927,28, contemplando sensores de pH, turbidez e cor, microcontrolador ESP32, RTC DS3231, módulo SD Card Shield, display LCD 16x2 e demais componentes auxiliares. Para a avaliação da viabilidade financeira, aplicou-se o método do Payback Simples, resultando em um tempo de retorno de aproximadamente 5,8 meses, considerando uma economia média mensal de R$ 500,00.

A análise de sensibilidade indicou que, mesmo em cenários conservadores, o investimento permanece viável: economia mensal de R$ 300,00 → retorno em até 9,7 meses; e economia mensal de R$ 700,00 → retorno em apenas 4,2 meses.

Esses resultados evidenciam que o sistema proposto possui robustez financeira frente a diferentes cenários de operação.

Na Tabela 1, apresenta-se a comparação entre os custos reais de operação da ETA de Xucuru e os custos estimados para a operação assistida pelo sistema de monitoramento inteligente, demonstrando as diferenças de investimento e de operação entre os dois modelos.

Item de Análise	ETA Atual (manual)	Sistema compacto proposto	Viabilidade
Funcionários necessários	3 em turnos	1 em regime de sobreaviso	Redução de 67%
Custo mensal com pessoal (estimado)	R$ 5.910,00	R$ 1.970,00	Economia significativa
Frequência das medições	A cada 2 horas	Contínua e em tempo real	Monitoramento mais confiável
Investimento inicial	–	R$ 2.927,28	Retorno rápido
Payback estimado	–	4,2 a 9,7 meses	Financeiramente viável

Tabela 1 – Comparativo entre custos de operação da ETA atual e do sistema compacto de monitoramento inteligente.
Nota: Acesso a planilha BOM e os resultados do NPV: Análise de Dados

Como o investimento inicial foi de R$ 2.927,28 pode-se projetar os três cenários de economia mensal decorrente da automação: conservador (R$ 300,00), intermediário (R$ 500,00) e otimista (R$ 700,00). Embora nesta primeira estimativa não tenham sido incluídos custos recorrentes de manutenção e substituição de sensores, o modelo fornece uma visão mais robusta do desempenho econômico do sistema, permitindo comparar a atratividade do investimento em termos de retorno ao longo do tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de um sistema inteligente de monitoramento para pequenas ETAs rurais é tecnicamente viável e economicamente promissora em cenários de economia operacional realistas. A análise financeira complementar (VPL e TIR) mostra que o investimento inicial pode ser recuperado em horizontes curtos a médios, especialmente nos cenários intermediário e otimista; entretanto, a inclusão de custos recorrentes de manutenção e a depreciação dos sensores podem reduzir a atratividade e, portanto, devem ser incorporadas em avaliações futuras.

Do ponto de vista técnico, sensores de pH e turbidez apresentam potencial adequado para monitoramento contínuo quando acompanhados de rotinas regulares de calibração e manutenção; já a utilização do APDS-9960 para determinação de cor aparente requer validação rigorosa frente a padrões Pt-Co e, se necessário, substituição por colorímetros específicos para garantir conformidade com normas de potabilidade.

Nos trabalhos futuros pode ser realizado ainda, (i) ensaios de validação em campo comparando as leituras do protótipo com instrumentos de referência, (ii) análise econômica incorporando custos de operação/ manutenção, e (iii) desenvolvimento de um plano de implementação que considere alternativas de alimentação (rede elétrica ou solar) e opções de conectividade adequadas ao contexto rural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UABJ), pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento da pesquisa. À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo financiamento por meio do projeto COMPET SUPERIOR, que possibilitou a execução deste trabalho. Também expressamos nosso reconhecimento à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pela parceria e colaboração técnica, fundamentais para a viabilização das atividades de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrajano, Jenny Vi; Khavee Agustus Botangen; Jovith Nabua; Jenalyn Apanay; Chezalea Fay Peña. 2024. "IoT-Based Water Quality Monitoring System in Philippine Off-Grid Communities." arXiv, October 18, 2024. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2410.14619. Acesso em 28 de agosto de 2025.

Georgantas, Ioannis; Spyridon Mitropoulos; Stylianos Katsoulis; Ioannis Chronis; Ioannis Christakis. 2025. "Integrated Low-Cost Water Quality Monitoring System Based on LoRa Network." Electronics 14 (5): 857. Disponível em: https://www.mdpi.com/2079-9292/14/5/857. Acesso em 28 de agosto de 2025.

Bogdan, Răzvan, Camelia Paliuc, Mihaela Crisan-Vida, Sergiu Nimara, e Darius Barmayoun. 2023. Low-Cost Internet-of-Things Water-Quality Monitoring System for Rural Areas. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/23/8/3919. Acesso em 28 de agosto de 2025.

Ma et al. 2025. "Smart IoT-based Water Treatment with a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) System Process." Journal of Water Reuse and Desalination 13 (3): 411–?. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373144217_Smart_IoT-based_water_treatment_with_a_Supervisory_Control_and_Data_Acquisition_SCADA_system_process. Acesso em: 28 de agosto de 2025.

Carriazo-Regino, Yulieth; Rubén Baena-Navarro; Francisco Torres Hoyos; Juan Raul Vergara. 2022. "IoT-Based Drinking Water Quality Measurement: Systematic Literature Review." Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 28 (1): 405–18. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363022904_IoT-based_drinking_water_quality_measurement_systematic_literature_review. Acesso em: 28 de agosto de 2025.

Ross, S. A., Westerfield, R., & Jaffe, J. (2016). Corporate Finance (11th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19037913

ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE MANANCIAIS SUPERFICIAIS NO MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL (PB)

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE MANANTIALES SUPERFICIALES EN EL MUNICIPIO DE PRINCESA ISABEL (PB)

WATER QUALITY ANALYSIS OF SURFACE WATER SOURCES IN THE MUNICIPALITY OF PRINCESA ISABEL (PB)

Cícero Antônio de Souza [1], Adriana Oliveira Araújo [2], Márcia Mirelly André da Silva [3]; Victor Nathan Lima da Rocha[4]

[1]Estudante, IFPB, Princesa Isabel - PB, Brasil, cicero.souza@academico.ifpb.edu.br, 0009-0003-2214-9092;
[2]Professora, IFPB, Princesa Isabel - PB, Brasil, adriana.araujo@ifpb.edu.br, 0000-0003-3372-5668;
[3]Professora, IFBA, Seabra - BA, Brasil, marciamirely2013@gmail.com, 0000-0001-9110-737X;
[4]Professor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, victor.rocha@ifpb.edu.br, 0000-0002-6736-2538.

Eixo Temático 03 – Tecnologias para Abastecimento de Água
Aspectos de qualidade: caracterização e monitoramento de águas para consumo humano.

Eje Temático 03 – Tecnologías para el Abastecimiento de Agua
Aspectos de calidad: caracterización y monitoreo de aguas para consumo humano.

RESUMO

Os mananciais superficiais são fundamentais para o abastecimento humano e o desenvolvimento regional, mas sofrem pressões antrópicas e climáticas que comprometem sua qualidade e disponibilidade. Assim, o estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água dos reservatórios Jatobá II e Macapá, localizados em Princesa Isabel (PB), comparando seus parâmetros físico-químicos com os limites legais e propondo estratégias de manejo sustentável. As amostras foram coletadas em outubro de 2023, período de seca, em dez pontos de cada reservatório. Foram analisados parâmetros in loco, como temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e sólidos totais dissolvidos, com auxílio de sonda multiparâmetro. A transparência foi determinada por Disco de Secchi, enquanto cor e cloretos foram medidos em laboratório do IFPB por meio de kits de potabilidade. Os dados foram tratados estatisticamente, com cálculos de médias, desvios e coeficientes de variação, além da aplicação da correlação de Pearson para identificar relações entre os parâmetros.Os resultados demonstraram diferenças expressivas entre os mananciais. O reservatório Jatobá II apresentou valores dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Portaria GM/MS nº 888/2021, indicando boa qualidade e aptidão para abastecimento público após tratamento convencional. Já o açude Macapá apresentou turbidez, cor aparente e cloretos acima dos limites recomendados, evidenciando impactos ambientais e possíveis fontes de poluição associadas a atividades humanas nas margens. Conclui-se que o monitoramento sistemático da qualidade da água é essencial para a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, especialmente em regiões semiáridas. O uso de ferramentas estatísticas contribui para compreender as interações entre os parâmetros e subsidiar ações de conservação e recuperação

dos mananciais, assegurando o uso racional e a segurança hídrica das comunidades dependentes desses sistemas.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Políticas públicas, Semiárido, Planejamento municipal.

RESÚMEN

Las fuentes de agua superficial son esenciales para el abastecimiento humano y el desarrollo regional, pero están sujetas a presiones antropogénicas y climáticas que comprometen su calidad y disponibilidad. Por lo tanto, el estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de los embalses Jatobá II y Macapá, ubicados en Princesa Isabel, Paraíba, Brasil, comparando sus parámetros físicos y químicos con los límites legales y proponiendo estrategias de gestión sostenible. Se recolectaron muestras en octubre de 2023, durante la estación seca, en diez puntos de cada embalse. Se analizaron parámetros in situ como temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez y sólidos disueltos totales mediante una sonda multiparamétrica. La transparencia se determinó utilizando un disco Secchi, mientras que el color y los cloruros se midieron en el laboratorio del IFPB utilizando kits de potabilidad. Los datos se analizaron estadísticamente, con cálculos de medias, desviaciones y coeficientes de variación, además de la aplicación de la correlación de Pearson para identificar relaciones entre los parámetros. Los resultados demostraron diferencias significativas entre las fuentes de agua. El embalse Jatobá II presentó valores dentro de los estándares establecidos por la Resolución CONAMA N.° 357/2005 y la Ordenanza GM/MS N.° 888/2021, lo que indica buena calidad e idoneidad para el abastecimiento público tras el tratamiento convencional. El embalse Macapá presentó turbidez, color aparente y niveles de cloruro superiores a los recomendados, lo que evidencia impactos ambientales y posibles fuentes de contaminación asociadas a las actividades humanas en las riberas. Se concluye que el monitoreo sistemático de la calidad del agua es esencial para la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos, especialmente en las regiones semiáridas. El uso de herramientas estadísticas ayuda a comprender las interacciones entre los parámetros y a fundamentar las acciones de conservación y recuperación de las fuentes de agua, garantizando el uso racional y la seguridad hídrica para las comunidades que dependen de estos sistemas.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, Planificación municipal

ABSTRACT

Surface water sources are essential for human supply and regional development, but they are subject to anthropogenic and climatic pressures that compromise their quality and availability. Therefore, the study aimed to evaluate the water quality of the Jatobá II and Macapá reservoirs, located in Princesa Isabel, Paraíba, Brazil, comparing their physical and chemical parameters with legal limits and proposing sustainable management strategies. Samples were collected in October 2023, during the dry season, at ten points in each reservoir. On-site parameters such as temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, turbidity, and total dissolved solids were analyzed using a multiparameter probe. Transparency was determined using a Secchi disk, while color and chlorides were measured in the IFPB laboratory using potability kits. The data were statistically analyzed, with calculations of means, deviations, and coefficients of variation, in addition to the application of Pearson's correlation to identify relationships between parameters. The results demonstrated significant differences between the water sources. The Jatobá II reservoir presented values within the standards established by CONAMA Resolution

No. 357/2005 and GM/MS Ordinance No. 888/2021, indicating good quality and suitability for public supply after conventional treatment. The Macapá reservoir presented turbidity, apparent color, and chloride levels above recommended limits, highlighting environmental impacts and possible sources of pollution associated with human activities on the banks. It is concluded that systematic water quality monitoring is essential for the efficient and sustainable management of water resources, especially in semiarid regions. The use of statistical tools helps to understand the interactions between parameters and inform conservation and recovery actions for water sources, ensuring rational use and water security for communities dependent on these systems.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Semiarid, Municipal planning

INTRODUÇÃO

O estudo foi realizado em outubro de 2025, em Princesa Isabel (PB), com foco na análise da qualidade da água dos reservatórios Jatobá II e Macapá, por meio de coletas em campo e análises laboratoriais. A pesquisa justifica-se pela importância do Jatobá II como principal fonte de abastecimento público e pelo uso do Macapá por comunidades locais, permitindo uma comparação entre os mananciais e subsidiando estratégias de manejo sustentável.

O principal objetivo do estudo foi avaliar a qualidade da água nos reservatórios superficiais Jatobá II e Macapá, localizados na cidade de Princesa Isabel (PB). Para alcançar esse propósito, buscou-se comparar os parâmetros físico-químicos da água com os limites estabelecidos pela legislação vigente, em especial a Portaria GM/MS nº 888/2021, que define os padrões de potabilidade para consumo humano (Brasil, 2021), e a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos de água (Brasil, 2005). Além disso, procurou-se aplicar a análise de correlação de Pearson, com a finalidade de identificar possíveis relações entre os parâmetros avaliados em cada reservatório. Outro aspecto importante foi propor medidas e estratégias que possam contribuir para a conservação e o manejo sustentável dos mananciais estudados, de modo a garantir sua utilização segura e responsável pela população.

A importância desta experiência para a área ambiental e para a gestão de recursos hídricos está no fornecimento de informações técnicas sobre a qualidade da água fundamentais para o planejamento e a implementação de estratégias seguras e sustentáveis de abastecimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Manancial Macapá

Construído pela Inspetoria de Obras Contra as Secas (I.F.O.C.S), atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), o manancial Macapá foi inaugurado no dia 7 de setembro de 1923, e possui capacidade de armazenamento de 2.656.000 m³ (Silva, Oliveira, 2012).

Manancial Jatobá II

O Manancial Jatobá II está localizado a aproximadamente 5 km da zona urbana do município de Princesa Isabel, teve sua construção iniciada em 10 de dezembro de 1954 e concluída em dezembro de 1956, com capacidade de armazenamento inicial de 7.600.000 m3, conforme a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA (AESA, 2015).

Coleta e amostragem

A coleta foi realizada uma única vez, em outubro de 2023 (período de seca) e abrangeu 10 pontos por reservatório, conforme observado na Tabela 1. Os pontos de coleta foram definidos de forma estratégica, abrangendo áreas com diferentes níveis de exposição a fatores antrópicos, como atividades agrícolas, residências no entorno e erosão das margens.

Durante a coleta de campo, a atividade foi realizada com a utilização de uma canoa para o deslocamento da equipe e utilização de sonda multiparamétrica (AK87v2) para coleta dos parâmetros nos pontos de cada reservatório conforme as figuras 4 e 5.

Figura 1. Equipe na amostragem dos pontos.

Figura 2. Coleta de multiparâmetros.

Fonte: Elaboração própria (2023).

In loco foram coletados por meio da sonda multiparamétrica os parâmetros de temperatura (°C), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (µS/cm), oxigênio

dissolvido (mg/L de O2) e turbidez (UNT). Ainda, com a utilização do Disco de Secchi mediu-se a transparência da água. Já os parâmetros de cor (mg/L de Pt-Co) e cloreto (mg/L) foram medidos através de Kit de Potabilidade no laboratório do Campus IFPB-PI, utilizando manual de análises físico-químicas de águas residuárias de abastecimento (Silva, Salomão, Ancelmo, 2005). As amostras levadas ao laboratório foram armazenadas em garrafas pet, sendo realizadas posteriormente as análises de forma imediata, não havendo necessidade de preservação.

Análise dos dados

Os dados coletados nos reservatórios foram analisados por estatística descritiva no Excel, obtendo-se as médias de cada parâmetro e comparando-as com os limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 e da Portaria GM/MS nº 888/2021. Além disso, aplicou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) para avaliar a intensidade e a direção da relação linear entre variáveis, considerando que quanto maior o compartilhamento de variância, mais forte é a correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística Descritiva

Nas Tabelas 1 e 2 serão apresentados os dados analisados dos parâmetros físico-químicos da água do manancial Macapá por meio da estatística descritiva. entre os 10 pontos amostrados de cada manancial.

Tabela 1: Análise descritiva dos parâmetros do manancial Macapá

Parâmetros	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Unidade	MS 888/2021	CONAMA N° 357/2005
Oxigênio Dissolvido	14,30	7,20	8,89	2,14	24,08	mg/L O_2	-	6
Temperatura	30,02	27,00	28,53	1,29	4,53	ºC	05 - 30	40
pH	9,53	8,98	9,39	0,16	1,72	-	6,0 a 9,5	6,0 a 9,0.
Condutividade Elétrica	2071,00	1953,00	2018,70	36,60	1,81	µS/cm	-	-
Turbidez	12,60	8,60	**10,47**	1,35	12,95	UNT	5	100
Transparência	52,00	40,00	45,60	3,47	7,61	cm	-	-
Cor	176,00	89,10	**140,01**	24,33	17,38	mg/L de Pt-Co	15	15
Cloreto	407,87	377,89	**391,21**	8,65	2,21	mg/L	250	250

Fonte: Autoria própria (2025).

Na Tabela 1, referente ao açude Macapá, observou-se que os parâmetros cor, cloreto e turbidez apresentaram valores acima dos limites estabelecidos pelas normativas vigentes. A cor aparente apresentou média de 140,01 mg/L Pt-Co, quase dez vezes superior ao limite de 15 mg/L definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Em estudo de Lima (2019), o valor registrado foi de 15 uH, dentro dos padrões, mas o autor ressalta que valores elevados podem estar relacionados à lixiviação de materiais orgânicos e inorgânicos, que aumentam a coloração da água. A concentração de cloretos apresentou média de 391,21 mg/L, acima do limite de 250 mg/L definido pelas mesmas normativas, sendo geralmente associada ao despejo de esgotos domésticos (Von Sperling, 2014; Jardim; De Miranda Guarda, 2017). A turbidez teve média de 10,47 UNT, superando o valor máximo de 5,0 UNT previsto na Portaria GM/MS nº 888/2021. Conforme Correia et al. (2008), esse parâmetro reflete a dificuldade da luz atravessar a água devido a sólidos em suspensão, como argila, silte, matéria orgânica e areia. Por fim, embora a Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabeleça limite para a condutividade elétrica, registrou-se média de 2018,70 µS/cm, indicando elevada concentração de íons dissolvidos, possivelmente associada à salinização e à presença de resíduos urbanos ou industriais. Esse parâmetro, segundo a Funasa (2014), relaciona-se diretamente à capacidade da água em conduzir corrente elétrica.

Na Tabela 2 serão apresentados os dados analisados dos parâmetros físico-químicos da água por meio da estatística descritiva referentes ao manancial Jatobá II.

Tabela 2: Análise descritiva dos parâmetros do manancial Jatobá II.

Parâmetros	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Unidade	MS 888/2021	CONAMA N° 357/2005
Oxigênio Dissolvido	13,70	7,80	10,01	2,07	20,68	mg/L O_2	-	6
Temperatura	28,40	25,80	26,86	0,81	3,02	ºC	05 - 30	40
pH	10,34	8,50	9,31	0,69	7,46		6,0 a 9,5	6,0 a 9,0
Condutividade Elétrica	832,00	584,00	655,88	91,75	13,98	µS/cm	-	-
Turbidez	1,69	0,74	1,04	0,30	28,78	UNT	5	100
Transparência	200,00	120,00	149,33	26,53	17,76	cm	-	-
Cor	37,60	2,40	9,76	11,57	118,48	mg/L de Pt-Co	15	15
Cloreto	247,92	100,96	120,85	47,91	39,64	mg/L	250	250

Fonte: Autoria própria (2025).

Observa-se que todos os parâmetros analisados no manancial Jatobá II apresentaram valores médios dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para corpos d'água de Classe 2, e pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece padrões de qualidade para água potável proveniente de mananciais superficiais após tratamento.

Esse resultado é particularmente significativo, pois indica que, mesmo se tratando de água bruta, a qualidade da água do manancial Jatobá II já atende aos requisitos exigidos para água destinada ao consumo humano após tratamento, conforme definido pela Portaria.

Além disso, os dados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da gestão adequada dos recursos hídricos, sobretudo em regiões semiáridas, onde os impactos antrópicos e a escassez hídrica intensificam os desafios para a preservação dos corpos d'água superficiais.

Correlação de Pearson

Aplicando a correlação de Pearson no manancial Macapá nos parâmetros analisados, conforme o Quadro 1, foram obtidas as seguintes informações:

Correlação de Pearson MACAPÁ	OD	T	pH	CE	Turbidez	Transparência	Cor	Cl
OD	1,00							
T	-0,41	1,00						
pH	-0,72	0,16	1,00					
CE	0,05	0,27	-0,04	1,00				
Turbidez	**0,71**	-0,61	-0,41	-0,06	1,00			
Transparência	**0,65**	-0,08	-0,34	-0,36	0,28	1,00		
Cor	0,10	0,12	0,21	-0,16	0,17	0,17	1,00	
Cloreto	0,23	0,34	0,03	0,20	-0,05	**0,55**	-0,01	1,00

Quadro 1. Correlação de Pearson do manancial Macapá.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

No manancial Macapá, observou-se uma correlação positiva forte entre oxigênio dissolvido (OD) e turbidez (r = 0,71). Em condições naturais, espera-se que valores elevados de turbidez associados à presença de partículas em suspensão que reduzem a penetração de luz levem à diminuição da fotossíntese e, por consequência, à redução da concentração de OD na coluna d'água. Caso o consumo de oxigênio seja exorbitante, ocorrerá a extinção dos organismos aquáticos aeróbios, inclusive peixes. E se o consumo for total, o meio passa a ser anaeróbio e poderá causar odor (Sperling, 2005).

A relação entre oxigênio dissolvido (OD) e transparência de 0,65 indica uma correlação positiva moderada entre esses dois parâmetros, sugerindo que à medida que a transparência da água aumenta, o oxigênio dissolvido também tende a aumentar. Essa correlação pode ser explicada pela influência da turbidez na penetração de luz na água.

No quadro 2 a seguir, será apresentado a correlação de Pearson no manancial Jatobá II.

Correlação de Pearson

JATOBÁ II

	OD	T	pH	CE	Turbidez	Transparência	Cor	Cl
OD	1,00							
T	0,38	1,00						
pH	**0,86**	0,34	1,00					
CE	0,41	-0,07	0,41	1,00				
Turbidez	-0,85	-0,41	-0,79	-0,32	1,00			
Transparência	0,04	-0,21	-0,10	**0,85**	-0,01	1,00		
Cor	-0,41	0,29	-0,09	-0,38	0,21	-0,46	1,00	
Cloreto	0,38	-0,18	**0,53**	-0,09	-0,12	-0,45	-0,15	1,00

Quadro 2. Correlação de Pearson do manancial Jatobá II.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

No reservatório Jatobá II, observou-se forte correlação positiva entre oxigênio dissolvido (OD) e pH (r = 0,86), refletindo maior atividade fotossintética e melhor qualidade ambiental. No açude Macapá, a correlação entre OD e pH foi fraca, possivelmente devido à influência de esgoto doméstico, que promove crescimento excessivo de algas e acidificação da água (Pinto et al., 2010; Souza et al., 2008; Pivelli, 2005). Também foi observada forte correlação positiva entre condutividade elétrica e transparência (r = 0,85), indicando que íons dissolvidos não comprometem a clareza da água, e correlação moderada entre cloretos e pH (r = 0,53). Em síntese, as correlações evidenciam melhores condições ambientais no Jatobá II e maior interferência antrópica no Macapá, refletindo diferenças na dinâmica da qualidade da água entre os mananciais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O açude Macapá apresentou comprometimento da qualidade da água, com turbidez e cor acima dos limites legais, pH no limite superior permitido e condutividade elétrica elevada, indicando alta concentração de íons dissolvidos, possivelmente associada ao descarte de esgoto e resíduos. Em contrapartida, o açude Jatobá II apresentou todos os parâmetros dentro da legislação, confirmando a boa qualidade da água e destacando sua importância estratégica para o abastecimento de Princesa Isabel – PB. Em contrapartida, o açude Jatobá II apresentou todos os parâmetros dentro da legislação, confirmando a boa qualidade da água e destacando sua importância estratégica para o abastecimento de Princesa Isabel – PB. Apesar de não ser utilizado oficialmente, o açude Macapá ainda atende comunidades locais em atividades domésticas, agrícolas e recreativas, o que reforça a necessidade de medidas mitigadoras, como

controle da poluição, saneamento básico, revegetação das margens, gestão de resíduos, conservação do solo e educação ambiental, visando sua recuperação e preservação.

Incluir neste tópico apenas a bibliografia citada no estudo. Este tópico deve ser escrito em ordem alfabética, utilizando fonte Times New Roman, corpo 12 pt, sem recúo na primeira linha, e com recuo de 1,27 cm (1/2") nas subsequentes, alinhado à esquerda, com espaçamento simples entre linhas e espaçamento de 8 pontos (depois) entre as citações. Toda a bibliografia citada no texto deve ser referenciadas conforme as normas estilo Chicago

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). 2015. Boletim informativo sobre volumes de reservatórios monitorados. João Pessoa: AESA.

Brasil. Ministério da Saúde. 2021. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

Lima, A. G. de. 2019. Análise da qualidade da água de um sistema simplificado localizado na zona rural de Princesa Isabel – PB.

Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). 2014. Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS. Brasília: FUNASA.

Von Sperling, M. 2014. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

Jardim, P. B., and V. L. de Miranda Guarda. 2017. "Mata ciliar e qualidade de água em nascentes do município de Ouro Branco, Minas Gerais." Além dos Muros da Universidade: Revista da Cátedra AMDE 2 (2).

Sperling, M. V. 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª ed.

Belo Horizonte: DESA; UFMG. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

Pinto, A. L., G. H. Oliveira, and G. A. Pereira. 2010. "Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do Córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS." *Revista Ceomae* 1 (1): 69–82.

Souza, F. F. P., E. L. Nascimento, J. M. Menezes, and R. K. Miyai. 2008. "Comportamento da temperatura, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, pH, vazão afluente e defluente do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Samuel – Candeias do Jamari – RO – Brasil." *48º Congresso Brasileiro de Química*, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/3/3-237-4663.htm. Acesso em janeiro de 2014.

Piveli, R. P., and M. T. Kato. 2005. *Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos*. São Paulo: ABES.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039161

ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO POTENCIAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO JACAREZINHO (BA) PELO MÉTODO SCS-CN

ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN POTENCIAL EN LA SUBSUBCUENCA DEL ARROYO JACAREZINHO (BA) UTILIZANDO EL MÉTODO SCS-CN

POTENTIAL INFILTRATION ESTIMATION FOR THE SUBWATERSHED OF THE JACAREZINHO STREAM (BA) USING THE SCS-CN METHOD

Pierre Alexandre Souza Ribeiro[1], Tiago Liberalesso[2].

[1] Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CETEC. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cruz das Almas, Brasil. E-mail: pierrealexandre@aluno.ufrb.edu.br, nº de ORCID 0000-0003-1306-0865

[2] Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CETEC. Rua Rui Barbosa, Cruz das Almas - BA, 44380-000.
Email: tiago.liberalesso@ufrb.edu.br, nº de ORCID 0000-0003-1229-6411

Eixo Temático 04 – Manejo de águas pluviais no meio rural
Infiltração e recarga hídrica: poços de infiltração, curvas de nível e restauração de áreas degradadas.

Eje Temático 04 – Gestión del agua de Lluvia en zonas rurales
Infiltración y recarga hídrica: pozos de infiltración, curvas de nivel y restauración de áreas degradadas.

RESUMO

A estimativa da infiltração potencial é uma importante etapa na gestão sustentável dos recursos hídricos, permitindo quantificar a recarga dos aquíferos, prever a disponibilidade de água e dimensionar estrategicamente ações de controle de escoamento superficial e prevenção de enchentes. Este estudo tem como objetivo estimar o potencial de infiltração, pelo Método do Número de Curva (CN), e analisar o comportamento hidrológico de uma microbacia hidrográfica com predominância de solos Franco areno-argiloso (65%) e Franco arenoso (35%) localizada na região do Recôncavo Baiano. Os resultados apontam para uma bacia com alto potencial de recarga das águas subterrâneas, com CN ≈ 51, típico de áreas muito permeáveis. Da mesma forma, a infiltração potencial máxima estimada (S = 244 mm) reforça a aptidão da bacia em reter volumes consideráveis de água no solo e, por consequência, redução do escoamento superficial. Os valores de infiltração inicial, em torno de 48,8 mm, reforçam essa capacidade de retenção, atenuando picos de escoamento superficial na maior dos eventos de chuva. Os resultados demonstraram ainda que a dinâmica de uso do solo na bacia contribui para a infiltração da água e, consequentemente, a recarga de aquíferos. Sendo, portanto, recomendáveis a manutenção e o aprimoramento de práticas conservacionistas de modo a garantir a resiliência hidrológica da microbacia do Riacho Jacarezinho.

Palavras-chave: Bacias rurais; Águas subterrâneas; Manejo sustentável.

RESÚMEN

La estimación de la infiltración potencial es una etapa importante en la gestión sostenible de los recursos hídricos, ya que permite cuantificar la recarga de acuíferos, predecir la disponibilidad de agua y dimensionar estratégicamente acciones de control de escorrentía superficial y prevención de inundaciones. Este estudio tiene como objetivo estimar el potencial de infiltración, mediante el Método del Número de Curva (CN), y analizar el comportamiento hidrológico de una microcuenca hidrográfica con predominancia de suelos Franco areno-arcillosos (65%) y Franco arenosos (35%), ubicada en la región del Recôncavo Baiano, estado de Bahia - Brasil. Los resultados indican una cuenca con un alto potencial de recarga de aguas subterráneas, con un CN ≈ 51, típico de áreas altamente permeables. Asimismo, la infiltración potencial máxima estimada (S = 244 mm) refuerza la aptitud de la cuenca para retener volúmenes considerables de agua en el suelo y, en consecuencia, reducir la escorrentía superficial. Los valores de infiltración inicial, en torno a 48,8 mm, refuerzan esta capacidad de retención, atenuando los picos de escorrentía superficial en la mayoría de los eventos de lluvia. Los resultados aún demostraron que la dinámica de uso del suelo en la cuenca contribuye a la infiltración del agua y, consecuentemente, a la recarga de acuíferos. Por lo tanto, se recomienda el mantenimiento y la mejora de las prácticas de conservación para garantizar la resiliencia hidrológica de la microcuenca del Arroyo Jacarezinho.

Palabras clave: Cuencas rurales, Aguas subterráneas, Gestión sostenible.

ABSTRACT

The estimation of potential infiltration is a critical step in the sustainable management of water resources, as it enables the quantification of aquifer recharge, prediction of water availability, and strategic planning of surface runoff control and flood prevention measures. This study aims to estimate the infiltration potential using the Curve Number (CN) Method and to analyse the hydrological behaviour of a watershed characterised by a predominance of Sandy Clay Loam (65%) and Sandy Loam (35%) soils, located in the Recôncavo Baiano region, Bahia, Brazil. The results indicate a watershed with a high groundwater recharge potential, evidenced by a CN ≈ 51, which is typical of highly permeable areas. Similarly, the estimated maximum potential retention (S = 244 mm) underscores the basin's capacity to retain significant volumes of water in the soil, consequently reducing surface runoff. The initial infiltration values, approximately 48.8 mm, further reinforce this retention capacity by attenuating surface runoff peaks during most rainfall events. The findings also demonstrate that the current land-use dynamics within the watershed contribute to water infiltration and, consequently, aquifer recharge. Therefore, the maintenance and enhancement of conservation practices are recommended to ensure the hydrological resilience of the Jacarezinho stream watershed.

Keywords: Rural watershed, Groundwater, Sustainable management.

INTRODUÇÃO

A gestão adequada dos recursos hídricos assume um importante papel em face das alterações climáticas globais, marcadas pela ocorrência de eventos extremos cada vez mais frequentes e intensos. Na região do semiárido brasileiro, o abastecimento de água é um desafio persistente, agravado pela variabilidade climática e pelas altas taxas de evapotranspiração, que são contabilizadas como perdas no balanço hídrico das bacias hidrográficas. Diante disso, tecnologias estruturais para a promoção da segurança hídrica, como sistemas de captação de água de chuva, exploração de águas subterrâneas e a construção de reservatórios, são alternativas viáveis para a mitigação dos agravantes climáticos da atualidade.

Na zona rural de Cabaceiras do Paraguaçu, município brasileiro do estado da Bahia, a captação das águas subterrâneas é uma alternativa de abastecimento frequentemente utilizada pela população (SANTANA & VALENTIM, 2015). Comparativamente às águas superficiais, as águas subterrâneas apresentam um risco de contaminação menor, porém uma maior dificuldade de remediação quando contaminadas. Fatores como as características do solo e do aquífero e a profundidade do nível saturado influenciam a susceptibilidade ao risco do manancial.

Na região do estudo, as condições hidrogeológicas, associadas a altas taxas de infiltração, permitem a recarga natural dos aquíferos a partir da precipitação, facilitando a perfuração de poços rasos. No entanto, essas características podem também favorecer a contaminação das águas subterrâneas. Solos arenosos ou franco-arenosos (Grupos hidrológicos A e B na classificação do método SCS) funcionam como superfícies permeáveis, onde a água da chuva percola e é direcionada para zonas saturadas subterrâneas. Esse processo é particularmente relevante em regiões semiáridas, onde a recarga depende criticamente de eventos pluviométricos intermitentes e da capacidade do solo de converter precipitação em reserva hídrica subsuperficial (LOPES *et al.,* 2020).

A microbacia do Riacho do Jacarezinho nasce na Serra do Aporá, no município de Cabaceiras do Paraguaçu – BA, percorre o Povoado do Jacarezinho, na zona rural, e deságua no Rio Paraguaçu, no município de Governador Mangabeira. Os usos e ocupação do solo da bacia são predominantemente voltados à agropecuária, além da formação vegetal de natureza estacional decidual (IBGE, 2023). Nesse sentido, as dinâmicas pedológicas e os usos do solo interagem diretamente com as características do terreno, tais como a capacidade de retenção

de água, a drenagem natural e a distribuição da cobertura vegetal. Esses fatores, por sua vez, determinam o regime de escoamento superficial e a capacidade de percolação da água no solo.

Nesse contexto, o geoprocessamento combinado com métodos hidrológicos indiretos pode auxiliar na compreensão das dinâmicas que ocorrem ao nível da bacia hidrográfica. Essas dinâmicas são relevantes para o desenvolvimento de estratégias de uso sustentável, zoneamento ambiental e planejamento hídrico, e, portanto, constituem uma ferramenta útil para auxiliar entes públicos no processo de tomada de decisão no âmbito da gestão territorial e dos recursos hídricos. Diante disso, o estudo teve como objetivo, estimar a capacidade de infiltração potencial da microbacia do Riacho do Jacarezinho mediante a aplicação do método Número de Curva (CN) desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) para quantificar a recarga hídrica subterrânea e avaliar o potencial de escoamento superficial na bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Microbacia do Riacho do Jacarezinho tem sua nascente na Serra do Aporá, no município de Cabaceiras do Paraguaçu (BA) e deságua no Rio Paraguaçu, município de Governador Mangabeira (BA), ambos na região do Recôncavo Baiano. A microbacia está localizada entre as coordenadas 12º36’02” – 12º 33’02” latitude Sul e 39º11’52” – 39º04’54” longitude Oeste.

Os solos predominantes na bacia possuem texturas classificadas como franco-arenosa e franco areno-argilosa, cujos aspectos são de permeabilidade e retenção de água. A primeira (franco-arenosa) predominante em partículas de areia com quantidades moderadas de silte, confere ao solo alta capacidade de infiltração e drenagem eficiente, enquadrando-se no Grupo Hidrológico A. A segunda (franco areno-argilosa), com acréscimo de argila em sua estrutura, mantém considerável permeabilidade, embora com menos capacidade de percolação, podendo ser classificada no Grupo Hidrológico B (ANA, 2018). Ainda em termos de pedologia, o Latossolo Amarelo é a classe predominante na microbacia do Riacho do Jacarezinho. Esta classe é caracterizada por solos altamente intemperizados, isto é, derivados de modificações físico-químicas devido à exposição da rocha na superfície, e é encontrada na classificação hidrológica do solo A e B para as condições brasileiras (SARTORI, 2005 *apud* ANA, 2018).

Em relação à caracterização física e morfométrica da bacia, etapa inicial para qualquer

estudo hidrológico, esta foi realizada através da calculadora de atributos do QGIS, para os seguintes parâmetros: Área total (km²); Comprimento do canal principal (km); Densidade de drenagem (km/km²); Coeficiente de compacidade e Fator de forma, estes últimos adimensionais.

Processamento de dados

O processamento de dados concentrou-se na caracterização físico-hidrológica da bacia mediante informações pedológicas e de cobertura do solo, obtidas através das plataformas do MapBiomas (2024) e do IBGE (2023). A delimitação da área de abrangência da bacia foi realizada com o auxílio do *Software* QGIS, onde os parâmetros morfométricos foram estimados por meio da calculadora de atributos. O Número da Curva (CN) foi obtido mediante ponderação espacial das unidades de solo e cobertura vegetal, considerando a distribuição real de cada classe na bacia. Essa abordagem permitiu estimar indiretamente a capacidade de infiltração do solo a partir do método SCS-CN.

Método SCS-CN

O escoamento superficial na microbacia foi determinado por meio do Método do Número de Curva (CN) desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) dos Estados Unidos da América, com base nos parâmetros de uso e ocupação do solo. O método SCS estabelece que, durante um evento de chuva em uma bacia hidrográfica, a razão entre o volume instantâneo de escoamento superficial direto (Q) e a precipitação total acumulada (P) é igual à razão entre o volume de água infiltrada acumulada (F) e a capacidade máxima de retenção do solo (S), conforme ilustra a Equação 1 (CUNHA *et al.,* 2015).

$$\frac{Q}{P} = \frac{F}{S} \qquad (1).$$

Quando as perdas iniciais (I_a) são diferentes de zero, o volume efetivo de precipitação passível de ser convertido em escoamento superficial corresponde a ($P - I_a$). Nesse caso, a relação fundamental do método SCS assume a forma, e se desenvolve nas equações 2, 3 e 4, apresentadas a seguir:

$$\frac{Q}{P-I_a} = \frac{F}{S} \quad (2) \quad \rightarrow \quad P = I_a + F + Q \quad (3) \quad \rightarrow \text{logo,} \quad Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad (4).$$

Cunha *et al.* (2015) também evidencia que a infiltração potencial máxima (S) é uma medida de resposta hidrológica do sistema, que depende das características do solo e da cobertura do mesmo, descrita pela variável CN, na Equação 5:

$$S(mm) = 25{,}2 \cdot (\frac{1000}{CN} - 10) \quad (5).$$

Além disto, as perdas iniciais (I_a) consistidas pela percolação no solo, no início do evento de precipitação, são calculadas através da Equação 6:

$$I_a = \lambda . S \quad (6), \text{ sendo } \lambda = 0{,}2.$$

O CN foi obtido através dos dados do grupo hidrológico do solo e da cobertura vegetal do banco de dados do MapBiomas (2024). As constantes para cada classe estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Número do CN para o método SCS.

Uso do solo	Grupo hidrológico do solo			
	A	B	C	D
Pastagem	25	59	75	83
Floresta	36	60	70	76
Solo exposto	77	85	90	92

Fonte: Adaptado de SOARES; FIORI & SILVEIRA (2017).

Os grupos hidrológicos do solo dividem-se em Grupo A para solos arenosos com alta capacidade de infiltração, Grupo B para solos areno-argilosos com média capacidade de infiltração, Grupo C para solos médios argilosos com impermeabilidade considerável, e Grupo D para solos argilosos expansivos muito impermeáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da avaliação das características físicas e morfométricas da Microbacia do Riacho do Jacarezinho, foram obtidos os parâmetros descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização física e morfométrica.

Parâmetro	Resultado
Área total	23,24 km²
Comprimento do riacho principal	17,74 km
Coeficiente de compacidade	2,38
Fator de forma	0,07
Densidade de drenagem	0,32

Fonte: Autores (2025).

Os resultados apontam para um fator de forma consideravelmente baixo (menor que 0,5), indicando uma bacia com geometria alongada, e, portanto, menos suscetível a fortes inundações. Da mesma forma, um coeficiente de compacidade maior que 1,0 sugere uma bacia mais alongada e, de forma implícita, um maior tempo de concentração, diminuindo assim a

propensão da bacia a inundações.

Em relação à densidade de drenagem, que corresponde ao comprimento médio de canais da bacia por unidade de área. A microbacia do Riacho Jacarezinho apresenta uma baixa densidade de drenagem (0,32), ou seja, menor contribuição do escoamento superficial e favorecimento para infiltração. Essa condição é frequentemente associada a solos com boa infiltração. Quanto maior a densidade de drenagem, maior o movimento de massas de água para o exutório do sistema, e mais eficiência de drenagem possui a bacia (PADILHA; SOUZA, 2017), fato que é oposto à microbacia em questão.

A Figura 1 apresenta a classificação pedológica da bacia. Nota-se a predominância de solos do tipo Latossolo Amarelo, além das outras classificações geomorfopedológicas existentes nos municípios de Cabaceiras do Paraguaçu (BA) e Governador Mangabeira (BA).

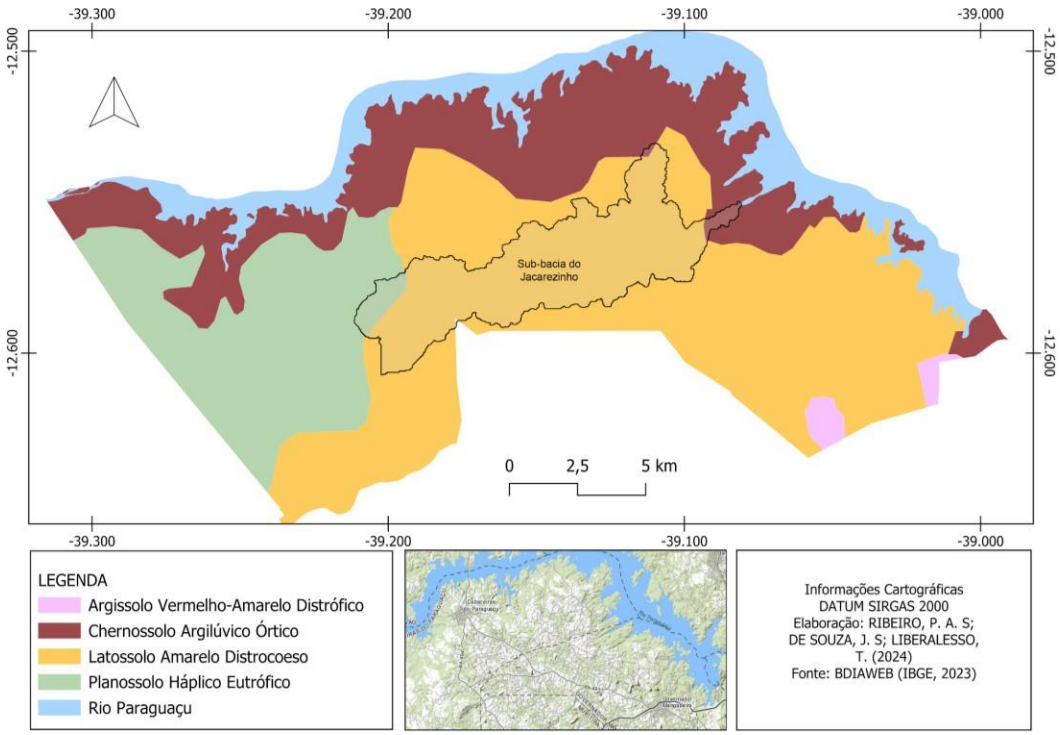


Figura 1. Classificação pedológica da microbacia do Riacho do Jacarezinho.
Fonte: Adaptado do IBGE, 2024.

Em relação à capacidade de infiltração dos solos na bacia, esta foi estimada indiretamente por meio do método do Número da Curva com base nas características de uso e ocupação do solo e no grupo hidrológico predominante. Para tanto, procedeu-se à quantificação das classes de cobertura do solo na microbacia, cuja distribuição espacial é apresentada na Figura 2. Logo, a partir dos percentuais identificados para cada classe, calculou-se o Número

de Curva (CN) baseado na textura do solo (Grupos A e B), conforme apresentado na Tabela 3.

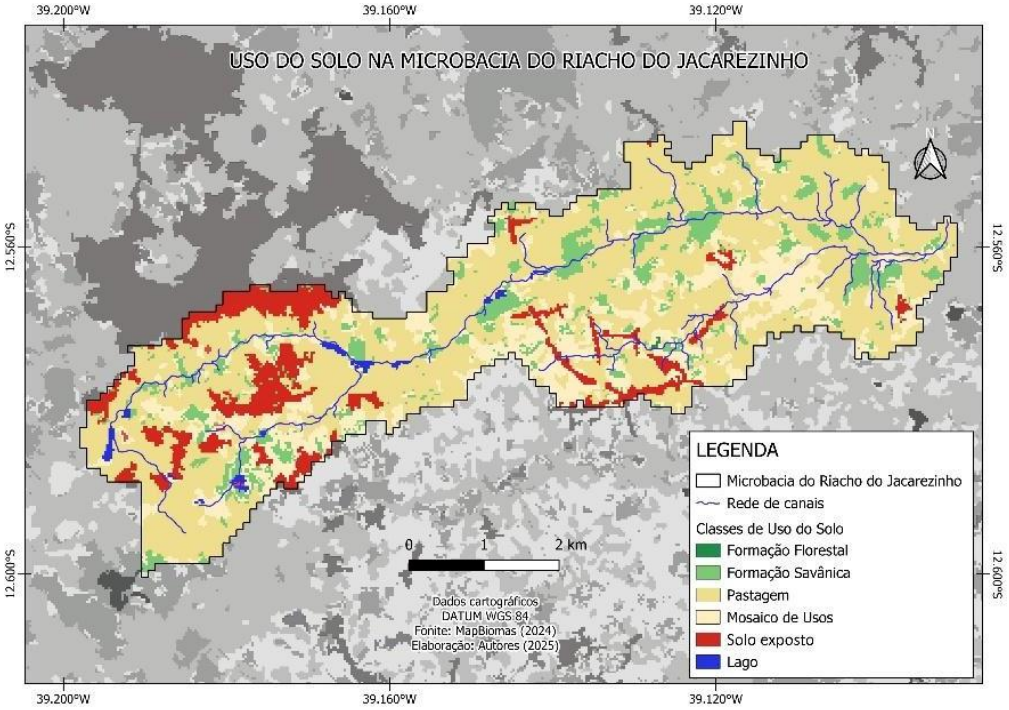


Figura 2. Cobertura do solo da microbacia do Riacho do Jacarezinho
Fonte: Adaptado de Mapbiomas, 2024.

Tabela 3. Cálculo do CN para a cobertura da área de estudo.

Solo	Uso do solo (%)	Valor aritmético (%)	CN	CN Ponderado
Franco areno-argiloso (65%)	Pastagem (75)	48,75	59	28,76
	Floresta (15)	9,75	60	5,85
	Solo exposto (10)	6,50	85	5,53
Franco arenoso (35%)	Pastagem (75)	26,25	25	6,56
	Floresta (15)	5,25	36	1,89
	Solo exposto (10)	3,50	77	2,70
Total		100	-	51,29

Fonte: Autores (2025).

O valor de CN ≈ 51, obtido após arredondamento, demonstra consistência com as características físicas predominantes da área, as quais incluem solos com alta taxa de infiltração, enquadrados nos grupos hidrológicos A e B, e a presença de cobertura vegetal significativa (sobretudo pastagem e floresta). Essas condições conjuntas favorecem a retenção de água e reduzem o escoamento superficial direto.

Valores de CN baixos indicam alta capacidade de infiltração, logo, uma baixa geração de escoamento. Em termos práticos, um $CN \approx 51$ é típico de áreas muito permeáveis com boa cobertura vegetal, com formação florestal conservada e/ou manejo de sistemas agroflorestais,

além de solos arenosos com uma considerável taxa de infiltração, coincidindo com a bacia em questão.

Relativamente à infiltração potencial máxima, os resultados obtidos indicam um potencial de infiltração relativamente alto (S = 244 mm), demonstrando a capacidade da bacia de percolar uma alta carga hídrica antes de gerar escoamento direto, e assim favorecer o armazenamento de água das camadas subterrâneas do solo. Esses valores de S estão alinhados com a literatura científica, a exemplo do estudo de Wróbel e Boczoń (2021) em bacias florestais, que reportou valores de infiltração potencial máxima entre 216 mm e 414 mm em trechos com alta permeabilidade e lençol freático profundo, calculados com base no parâmetro CN. Esses resultados corroboram a constatação de que as diferenças identificadas não são substancialmente impactantes para o armazenamento potencial em bacias de uso rural e florestal. Por sua vez, a infiltração inicial obtida ($I_a = 48{,}8\ mm$), indica que nenhum escoamento superficial será gerado quando a precipitação acumulada for menor ou igual a este valor ($P \leq 48{,}8\ mm$), ocorrendo apenas para precipitações superiores a esse limiar ($P > 48{,}8\ mm$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como objetivo estimar a capacidade de infiltração potencial máxima da microbacia do Riacho do Jacarezinho (BA), localizada na região do Recôncavo da Bahia, mediante a aplicação do método do Número de Curva (CN) de modo a se quantificar o potencial de recarga hídrica subterrânea e avaliar a dinâmica de escoamento superficial na bacia.

Os resultados apontam para uma bacia com elevado potencial de infiltração (S = 244 mm) e baixo Número de Curva (CN ≈ 51), apresentando uma dinâmica hidrológica marcada pela predominância de processos de infiltração e recarga em detrimento do escoamento superficial imediato. Da mesma forma, a magnitude das perdas iniciais ($I_a = 48{,}8\ mm$) confere à bacia uma resistência natural a eventos pluviométricos moderados, direcionando a água, preferencialmente para o armazenamento subsuperficial. Além disso, os resultados também sugerem que o uso atual do solo na bacia – predominantemente rural, com cultivos e pastagens intercalados com fragmentos florestais – contribui para a conservação da água e do solo, comparativamente a bacias urbanizadas. Essa cobertura vegetal existente garante que a maior parte da precipitação seja convertida em infiltração e recarga de aquíferos, minimizando escoamentos superficiais com potencial para erosão.

Esses resultados sugerem, portanto, que o êxito da gestão hídrica na Microbacia do Riacho Jacarezinho, e de outras similares, não reside na implementação de novas práticas conservacionistas, mas na salvaguarda da resiliência hidrológica preexistente. Assegurar a manutenção das condições hidrológicas favoráveis frente a pressões antrópicas crescentes, minimizando a compactação do solo por práticas agrícolas inadequadas, é essencial para garantir a funcionalidade da bacia hidrográfica no ciclo da água. Além disso, é importante ressaltar que a sustentabilidade hídrica da bacia, a longo prazo, depende diretamente da manutenção do equilíbrio entre atividades produtivas e conservação ambiental. O que reforça a necessidade de políticas públicas que incentivem práticas agrícolas sustentáveis e a proteção das áreas de floresta remanescentes.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). 2018. Nota Técnica nº 46/2018/SPR. "Produção de base vetorial com o Curve Number (CN) para BHO 2014 (BHO_CN)": https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA_TECNICA_46_2018_SPR.pdf

Borges, E. F., Mesquita, M., de Morães, D. H. M., Casaroli, D., Junior, J. A., de Oliveira, H. F. E., Flores, R. A., & Morães, V. H. (2020). "Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Grande, oeste da Bahia-BA". *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 31863–31875. https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-584

Cardoso, C. A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., & Martins, S. V.. (2006). "Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ". *Revista Árvore*, 30(2), 241–248. https://doi.org/10.1590/S0100 67622006000200011

Cunha, S. F., Silva, F. E. O., Mota, T. U., Pinheiro, M. C. (2015). "Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4), 837-848. https://biblat.unam.mx/hevila/RBRHRevistabrasileiraderecursoshidricos/2015/vol20/no4/2.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2023. *Portal BdiAWeb*. https://bdiaweb.ibge.gov.br>.

Lopes, J. R. A., Bezerra, J. M., Almeida, N. M. D. P., Gonçalves, G. L., & Mendonça, S. de S. C. (2020). Águas subterrâneas como alternativa de subsistência em uma comunidade rural no semiárido brasileiro. Águas Subterrâneas, 34(2). https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29889

MapBiomas – Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, São Paulo, Brasil: *MapBiomas*, 2025. 67 páginas. http://brasil.mapbiomas.org

Padilha, R. M., Souza, C. A. 2017. "Características morfométricas do relevo e drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Carapá nos municípios de Colíder e Nova Canaã do Norte – MT". *Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento.* https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1777

Santana, A. M. F. da C., e A. C. S. Valentim. 2015. "Qualidade da água armazenada em cisternas para fins potaveis no semiárido baiano." *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos*. https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP020941.

Soares, M. R. G. de J., Fiori, C. O., Silveira, C. T. da ., & Kaviski, E. (2017). "Eficiência do método Curve Number de retenção de Águas Pluviais". *Mercator* (Fortaleza), 16, e16001. https://doi.org/10.4215/rm2017.e16001

Wróbel, M., & Boczoń, A. (2021). "Determining the potential retention of a forest catchment based on the CN parameter". *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(3), 2145-2148. https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-020-00938-z

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039174

IMPACTO DA AUSÊNCIA DE MATA CILIAR NO ENCONTRO DO RIACHO SÍTIO AMARO TRIUNFO-PE: Uma Análise Ambiental

Edísio Antas Diniz Neto[1], Emilly Keronn Ferreira Soares da Silva[2], José Leomarck Alves Araújo[3] e Matheus Sabino da Silva[4].

[1]Discente, IFPB, Princesa Isabel-PB, Brasil, edisio.antas@academico.ifpb.edu.br;
[2]Discente, IFPB, Princesa Isabel-PB, Brasil, emilly.keronn@academico.ifpb.edu.br;
[3]Discente, IFPB, Princesa Isabel-PB, Brasil, leomarck.jose@academico.ifpb.edu.br;
[4]Discente, IFPB, Princesa Isabel-PB, Brasil, matheus.sabino@academico.ifpb.edu.br.

Eixo Temático 04 – Manejo de Águas Pluviais no meio Rural.
Controle da degradação e conservação do solo: terraço, barreiras vegetais e combate ao assoreamento.

RESUMO

A mata ciliar desempenha papel essencial na qualidade da água, na proteção das margens e no equilíbrio ecológico dos rios. No município de Triunfo - PE, especificamente no Sítio Amaro, a ausência dessa vegetação revela a urgência de ações educativas que promovam a conservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais. O presente projeto tem como objetivo sensibilizar os moradores locais sobre a importância da preservação da mata ciliar, estimulando práticas que assegurem a integridade do riacho e a disponibilidade de água de qualidade. As atividades serão realizadas na Associação de Moradores e às margens do riacho do Sítio Amaro. Na associação, ocorrerá um momento de pausa reflexiva e sensibilização coletiva sobre os impactos da degradação ambiental. Em seguida, será ministrada uma oficina estruturada em três etapas: (i) diagnóstico participativo das problemáticas ambientais; (ii) compartilhamento de saberes por meio de rodas de conversa, dinâmicas educativas e recursos visuais como cartazes e projeções; e (iii) prática comunitária com visita orientada ao riacho e plantio de aproximadamente 50 mudas nativas. Serão utilizados materiais como cartolinas, pincéis atômicos, projetor multimídia e mudas regionais. Espera-se que as atividades alcancem todos os moradores, promovendo maior compreensão sobre os benefícios da vegetação ciliar para a conservação do solo e da água. O projeto busca, assim, fomentar atitudes de co-responsabilidade socioambiental, reduzir os impactos da degradação e contribuir para a melhoria da qualidade de vida local.

Palavras-Chave: Preservação ambiental, Sustentabilidade, Recursos hídricos, Conservação.

INTRODUÇÃO

Um elemento fundamental para os recursos hídricos é a mata ciliar, pois sua presença é importante para o meio e sua ausência pode trazer consequências. A mata ciliar cria uma

barreira natural protegendo o solo contra erosão, fato que provoca a perca de nutrientes, contribuindo para a infertilidade do solo, comprometendo a produtividade rural. Ela ajuda a manter o solo fértil evitando que sedimentos sejam levados aos corpos d'água mantendo sua qualidade, já que a vegetação filtra impurezas mantendo a água adequada para o consumo humano, agricultura e vida aquática (SÃO PAULO, 2025). Além disso, estudos apontam que a vegetação ciliar é essencial para a proteção de nascentes e para o controle do assoreamento especialmente em áreas de produção agrícola (SÃO PAULO, 2012).

Entretanto, outro ponto em questão relacionado à mata ciliar seria a regulação do ciclo hidrológico que retém a água por mais tempo criando mais resistência a períodos de seca. Essa vegetação também pode prevenir de enchentes e deslizamentos, além de contribuir para a conservação da biodiversidade uma vez que essas matas são habitats para muitos animais. A sua destruição, assim como assoreamento contribui para a perca da biodiversidade, afetando a pesca sustentável, modificando a produção de oxigênio e a absorção de dióxido de carbono, o que altera diretamente a qualidade do ar e da água (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA, 2025). Um ambiente natural preservado reduz o estresse e pode aumentar o turismo na região, a ausência da mata ciliar reduz a profundidade dos rios, lagos, barragens e açudes, comprometendo a qualidade da água e dificultando seu tratamento. O projeto tem por objetivo promover a sensibilização dos moradores locais quanto à relevância da preservação da mata ciliar, com incentivo de ações para proteção das margens do reservatório e adoção de práticas sustentáveis que assegurem tanto a integridade do leito quanto a qualidade da água. Promover momento de reflexão na comunidade do sítio Amaro em relação aos impactos da degradação ambiental e estimular a participação ativa dos moradores na identificação de problemáticas ambientais locais e o engajamento comunitário em ações de recuperação da vegetação ciliar e valorização dos recursos hídricos.

A vegetação ciliar, além de desempenhar papel ecológico fundamental, é protegida por lei como Área de Preservação Permanente (APP), conforme estabelece o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), reforçando a necessidade de sua conservação no entorno de cursos d'água. No artigo 3°, inciso II diz que a área protegida, possui a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico de fauna e flora, protegendo o solo e assegura o bem-estar das

populações humanas.

No sítio Amaro em Triunfo - PE a implicação seria a ausência de mata ciliar trazendo o assoreamento e por consequência comprometendo a qualidade da água, como também não garantindo a manutenção da água por muito tempo em períodos de estiagem. Inicialmente a comunidade criou sucos em alguns percursos para manter a água por muito tempo, mas precisa de mais incentivo para manter a mata ciliar e a qualidade da água, a fertilidade do solo, a manutenção da biodiversidade, assim contribuindo para o fortalecimento do que já vem sendo construído e posteriormente com a eficiência do projeto pode ser replicadas em outras comunidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades serão realizadas em dois ambientes principais: na Associação de Moradores e às margens do riacho, e serão divididas em três etapas. A etapa inicial terá como objetivo promover reflexão e explicações sobre as consequências da devastação das margens dos cursos hídricos, que podem acarretar problemas em diversos locais. Essa etapa será realizada por meio de uma roda de conversa, com o uso de imagens ilustrativas.

A segunda etapa consistirá em um diagnóstico conjunto com os moradores, onde serão identificadas as consequências específicas da ausência da mata ciliar nas margens do riacho naquele local.

A terceira etapa será mais prática e contará com a parceria do IFPB-PI e da Secretaria de Agricultura. Nessa etapa, será realizado o plantio de 50 mudas em pontos estratégicos ao longo do trecho hídrico, além de um incentivo para que os moradores evitem desmatar as margens dos cursos hídricos, permitindo que a vegetação se restabeleça. Para garantir o sucesso dessa etapa, será realizado um monitoramento para avaliar a quantidade de mudas que sobreviverem.

Figura 1. Riacho largo e raso em período de estiagem sem mata ciliar
Fonte: Elaboração própria, 2025

Figura 2. Riacho largo e raso em período chuvoso.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se que o projeto promova uma mudança de atitude na comunidade, contribuindo para a recuperação da vegetação ciliar e para a preservação dos recursos naturais. Através da sensibilização, espera-se que ocorra um aumento da conscientização ambiental entre os moradores sobre a importância da vegetação ciliar. Além disso, espera-se que haja uma participação mais ativa da comunidade nas atividades propostas pela equipe e que ocorra a cooperação dos moradores na identificação coletiva das principais causas da degradação ambiental naquele trecho. O plantio de aproximadamente 50 mudas nativas em áreas estratégicas do riacho, acompanhado da recuperação vegetal natural, também é esperado, uma vez que o desmatamento nas margens do riacho seja minimizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consequentemente, o projeto visa fortalecer o vínculo entre comunidade, instituições parceiras como o IFPB-PI e poder público para ações futuras de conservação e melhoria da qualidade da água e do solo em médio prazo. Isso contribuirá para a segurança hídrica e alimentar local, promovendo benefícios duradouros para a comunidade e o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.803, de 18 de julho de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 28 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA). Matas ciliares em igarapés da Amazônia: importância e conservação. PPBio – Programa de Pesquisa em Biodiversidade. Disponível em: https://ppbio.inpa.gov.br/noticias/ciliardrucker. Acesso em: 26 set. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Cadernos da Mata Ciliar – Preservação de Nascentes. SIGAM – Sistema de Informação Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/CadernosMataCiliar1PreservacaoNascentes.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039255

MACRODRENAGEM DE PETROLINA – DIRETRIZES PARA ÁREAS RURAIS URBANIZADAS

MACRODRENAJE DE PETROLINA – DIRECTRICES PARA ZONAS RURALES URBANIZADAS

MACRODRAINAGE OF PETROLINA – GUIDELINES FOR URBANIZED RURAL AREAS

Michele Mota Sampaio Lopes Sousa[1].

[1]Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade do Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil, eng.michelemsl@gmail.com, 0009-0006-9104-2653.

Eixo Temático 04 – Manejo de Águas Pluviais no Meio Rural
Gestão e políticas públicas: governança hídrica, plano de segurança da água e integração com o saneamento rural.

Eje Temático 04 – Manejo de Aguas Pluviales en el Medio Rural
Gestión y políticas públicas: gobernanza hídrica, plan de seguridad del agua e integración con el saneamiento rural.

RESUMO

O Plano Diretor de Macrodrenagem constitui um instrumento de planejamento e gestão de longo prazo, voltado à definição de diretrizes – estruturais e não estruturais – destinadas ao controle de inundações e disciplinamento de águas pluviais em áreas urbanizadas, abrangendo as bacias hidrográficas identificadas e delimitadas. A caracterização do Município de Petrolina-PE, para elaboração do plano, foi realizada através de coleta de dados pluviométricos, levantamento de informações socioeconômicas, e mapeamento da área para definição das bacias hidrográficas, através do MDT e QGIS. O principal objetivo deste trabalho é apresentar as medidas, estruturais e não estruturais, arbitradas para as áreas rurais urbanizadas, a fim de mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes dos alagamentos, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população. Para isso, o estudo foi fundamentado na realização de um diagnóstico da situação atual, projeção de população futura e definição de diretrizes para intervenções propostas.

Palavras-chave: Bacias, Medidas, Controle, Estruturais, Não Estruturais.

RESÚMEN

El Plan Director de Macrodrenaje constituye un instrumento de planificación y gestión a largo plazo, orientado a la definición de directrices —estructurales y no estructurales— destinadas al control de inundaciones y la regulación de aguas pluviales en áreas urbanizadas, abarcando las cuencas hidrográficas identificadas y delimitadas. La caracterización del Municipio de Petrolina-PE, para la elaboración del plan, fue realizada a través de la recopilación de datos

pluviométricos, levantamiento de informaciones socioeconómicas y mapeo del área para la definición de las cuencas hidrográficas, mediante MDT y QGIS. El principal objetivo de este trabajo es presentar las medidas, estructurales y no estructurales, determinadas para las áreas rurales urbanizadas, con el fin de mitigar los impactos ambientales y socioeconómicos derivados de las inundaciones, promoviendo la mejora de la calidad de vida de la población. Para ello, el estudio se fundamentó en la realización de un diagnóstico de la situación actual, la proyección de la población futura y la definición de directrices para las intervenciones propuestas.

Palabras clave: Cuencas, Medidas, Control, Estructurales, No Estructurales.

ABSTRACT

The Macrodrainage Master Plan is a long-term planning and management instrument aimed at defining structural and non-structural guidelines for flood control and stormwater management in urbanized areas, covering the identified and delineated river basins. The characterization of the Municipality of Petrolina-PE for the development of the plan was carried out through the collection of rainfall data, survey of socioeconomic information, and mapping of the area to define the river basins using the DTM and QGIS. The main objective of this work is to present the structural and non-structural measures determined for urbanized rural areas, in order to mitigate the environmental and socioeconomic impacts caused by flooding, thus promoting an improved quality of life for the population. To achieve this, the study was based on a diagnosis of the current situation, future population projections, and the definition of guidelines for the proposed interventions.

Keywords: Basins, Measures, Control, Structural, Non-Structural.

INTRODUÇÃO

A expansão demográfica do Município de Petrolina-PE foi impulsionada por políticas do Governo Federal voltadas à requalificação das áreas áridas da caatinga, a fim de transformá-las em um cenário produtivo que acarreta em melhorias na qualidade de vida da população, através da implantação de núcleos irrigados, promovendo o desenvolvimento integrado, rural e urbano.

A Lei Complementar nº 034/2022, instituiu o Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina, e dentre as providências inclui-se a divisão do município em duas macrozonas: rural e urbana. O Art. 26, da referida lei, define Macrozona Rural como a “que corresponde à porção do território destinada à implantação de usos e atividades agropecuárias, agroindustriais, de turismo rural, bem como à conservação e recuperação da vegetação existente e dos recursos hídricos”.

No ano de 2022, deu-se início aos estudos, através da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Mobilidade, para elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Petrolina-PE, no qual delimitou-se 14 bacias hidrográficas que contemplam toda área territorial do município, caracterizando-as de acordo com o diagnóstico atual, ocupação urbana, e respectivas projeções de crescimento, para definição de diretrizes a fim de compor o plano supracitado no que tange o controle de alagamentos e disciplinamento das águas pluviais.

Para delimitação das bacias e sub-bacias, foi utilizado o Modelo Digital do Terreno (MDT), disponibilidado pelo programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), o qual fornece o mapeamento detalhado utilizando o software QGIS, possibilitando a identificação das áreas correspondentes a cada bacia e seus respectivos talvegues (PETROLINA, 2025).

A fim de assegurar uma gestão operacional mais eficiente do sistema, com o intuito de controlar os impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes das expansões populacionais, bem como estabelecer padrões para ocupações territoriais, e sobretudo indicar ações de operação e manutenção dos dispositivos de drenagem, deu-se início aos estudos referentes à elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Petrolina-PE para consolidar as informações levantadas e consequentemente obter de diagnóstico e estabelecer diretrizes.

O presente artigo tem por finalidade apresentar os resultados obtidos a partir dos estudos de macrodrenagem desenvolvidos, com ênfase nas áreas rurais do Município de Petrolina-PE, considerando a caracterização hidrológica e hidráulica das bacias hidrográficas, na identificação de áreas críticas e na proposição de medidas estruturais e não estruturais de intervenção, visando à mitigação de riscos associados ao escoamento superficial e à ocorrência de inundações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Petrolina configura-se como um relevante polo econômico na região do Sertão do estado de Pernambuco. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população do município apresentou um crescimento significativo, passando de 293.962 habitantes em 2010 para 386.791 em 2022 — o que corresponde a um aumento de aproximadamente 32% ao longo de 12 anos. Esse índice de crescimento populacional supera expressivamente a média nacional, que foi de pouco mais de 6%, sendo dez vezes superior à taxa registrada no estado de Pernambuco, de 3%, no mesmo intervalo temporal (IBGE, 2010;

IBGE, 2022).

A economia do município é diversificada, com ênfase nos setores agropecuário, industrial e de serviços. A agropecuária se destaca como um dos principais pilares da atividade econômica, especialmente pela fruticultura irrigada, que posiciona Petrolina entre os maiores exportadores de frutas do Brasil.

Este, e outros setores de crescimento, impulsionam o desenvolvimento econômico de Petrolina, o que consequentemente faz com que os investimentos na indústria, comércio e setores de serviços sejam amplamente intensificados, acarretando em crescimento populacional, tornando-se fundamental o direcionamento de recursos públicos voltados à infraestrutura básica do município, a fim de garantir o crescimento sustentável de Petrolina e consolidar sua posição como um dos principais polos econômicos do estado de Pernambuco.

Como consequência do crescimento exacerbado, tem-se o aumento das áreas impermeabilizadas no município, implicando no aumento de vazões pluviais e áreas de inundação, ultrapassando a capacidade dos dispositivos de drenagem existentes.

Objetivando a elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Petrolina-PE, foi realizada a coleta de dados pluviométricos e levantamento de informações socioeconômicas a fim de caracterizar o município. Além disto, o estudo de ocupação urbana contribuiu para apresentar a evolução ao longo dos anos e corroborar as diretrizes arbitradas para cada bacia estudada.

O levantamento topográfico, realizado em 2022, colaborou para o cadastramento e delimitação das bacias e sub-bacias, indicando as manchas de inundação, pontos críticos de alagamento, identificando áreas passíveis de preservação, áreas sujeitas à desapropriação e áreas vulneráveis a processos erosivos.

O objeto de estudo para a elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem abrange toda a área territorial do município de Petrolina-PE, incluindo tanto as zonas urbanas quanto as áreas rurais com características de urbanização. O principal objetivo é o mapeamento e a delimitação das bacias e sub-bacias hidrográficas, com base no Modelo Digital do Terreno (MDT), fornecido pelo programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), que atualmente representa a base cartográfica de maior precisão disponível para o estado.

Esse MDT foi gerado a partir de levantamento aerotransportado por varredura a laser e

aquisição de ortoimagens de alta resolução, abrangendo toda a superfície territorial de Pernambuco. O modelo resultante apresenta acurácia altimétrica superior a 10 cm, com escala cartográfica de 1:1.000, atendendo aos mais rigorosos padrões de qualidade técnica para estudos hidrológicos e de engenharia.

Nas áreas rurais, o recobrimento aerofotogramétrico foi planejado para a produção de ortofotos na escala 1:5.000, com resolução espacial de 50 cm, incluindo a geração de fotoíndices e seus respectivos metadados. A densidade de pontos altimétricos obtidos foi da ordem de 1 ponto a cada 2 m², com erro altimétrico inferior a 25 cm, assegurando a confiabilidade necessária para a modelagem hidrológica e hidráulica das bacias analisadas.

Foram levantadas, delimitadas e estudadas 14 bacias (Figura 1). A partir dos dados de urbanização fornecidos pelo IBGE no senso de 2022, e considerando projeções futuras de crescimento populacional, buscou-se definir diretrizes para operação mais eficiente do manejo das águas pluviais.

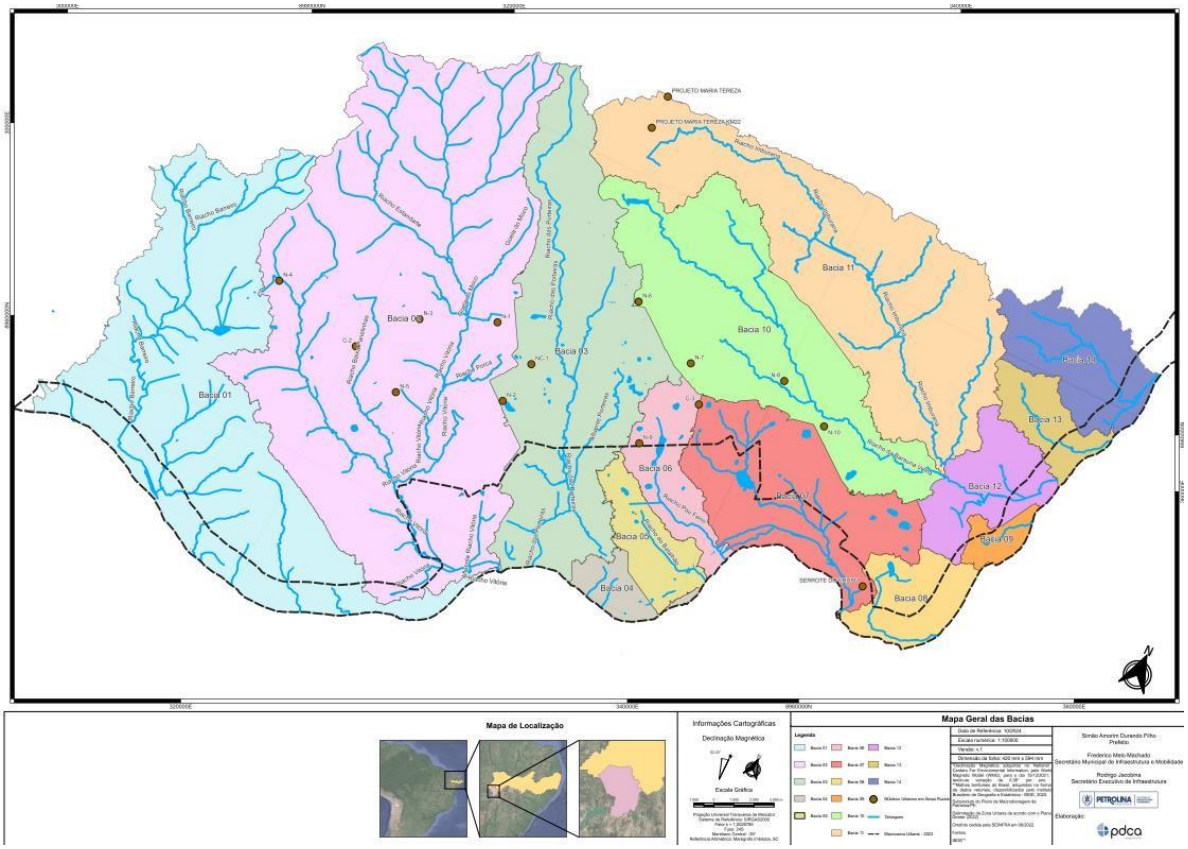


Figura 1. Mapa Geral das Bacias.
Fonte: PETROLINA, 2025.

Em visitas técnicas, realizadas no ano de 2022, foram identificados 53 núcleos urbanos em áreas rurais (Tabela 1).

Tabela 1. Núcleos urbanos em áreas rurais.

Nº	Identificação	Nº	Identificação	Nº	Identificação
01	Projeto N1	19	Tapera	37	KM 22 - Covão
02	Projeto N2	20	Rajada	38	Caititu
03	Projeto N3	21	Projeto NC19	39	Uruás
04	Projeto N4	22	Projeto NC20	40	Pau Ferro
05	Projeto N5	23	Projeto NC21	41	Tapera
06	Projeto N6	24	Projeto NC22	42	Capim
07	Projeto N7	25	Projeto NC23 - R4	43	Agrovila Massangano
08	Projeto N8	26	Projeto NS1	44	Roçado
09	Projeto N9	27	Projeto NS2	45	Agrovila São Francisco
10	Projeto N10	28	Bancada	46	Serrote do Urubu
11	Projeto N11	29	Cristália	47	Atalho
12	Vila 12 - N12	30	Vila Beira Rio	48	Porto da Ilha
13	Projeto C1	31	AS7	49	Caroá
14	Projeto C2	32	AS14	50	Baixa Alegre
15	Projeto C3	33	AS10	51	Bom Jardim
16	Projeto Mª Tereza - KM 25	34	AS11	52	Ponte da Serra
17	Izacolândia	35	AS15	53	Pedrinhas
18	Nova Descoberta	36	Cruz de Salinas		

Fonte: Adaptado PETROLINA, 2025.

Dentre as 14 bacias identificadas e analisadas, quatro delas (02 a 06) correspondem às áreas urbanizadas consolidadas, duas (01 e 07) apresentam estágio primário de urbanização, e nas bacias de 08 a 14 não foram identificadas evidências de urbanização (PETROLINA, 2025). Como objeto de estudo deste trabalho, serão detalhadas as diretrizes básicas de intervenção referentes às bacias que contemplam os núcleos urbanizados inseridos em áreas rurais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como produto dos estudos de macrodrenagem, deve-se ressaltar a definição das diretrizes que determinam:

1. Medidas de controle, estruturais e não estruturais, e proposição de medidas de utilização e manutenção de várzeas;
2. Os princípios e diretrizes gerais de intervenção;
3. As diretrizes de intervenção na área urbana da sede municipal e nos núcleos urbanos da macrozona rural.

As medidas de controle estruturais correspondem às intervenções físicas e obras de engenharia destinadas ao manejo e controle do escoamento superficial, sendo classificadas de acordo com as características hidrológicas e hidráulicas específicas de cada bacia hidrográfica analisada. As principais tipologias de ações estruturais contempladas neste Plano Diretor de Macrodrenagem são:

- **Aceleração do escoamento superficial**: implantação de sistemas de canalização das águas pluviais, com o objetivo de reduzir o tempo de concentração e mitigar pontos críticos de alagamento em áreas urbanizadas;
- **Retardamento do escoamento**: execução de obras que promovam a desaceleração do fluxo, como bacias de detenção e retenção, e a revitalização das calhas naturais, contribuindo para o controle da vazão de pico e a melhoria da qualidade da água;
- **Desvios de escoamento**: construção de estruturas lineares (como canais extravasores ou túneis de derivação) com a finalidade de redirecionar o fluxo para áreas com maior capacidade de infiltração, reduzindo a sobrecarga sobre os sistemas existentes;
- **Proteção de edificações contra inundações**: implementação de medidas tais como elevação de cotas de piso, instalação de barreiras físicas e readequação construtiva para minimizar os danos em áreas sujeitas a alagamentos recorrentes;
- **Controle de processos erosivos**: adoção de práticas de conservação do solo e recomposição da cobertura vegetal, especialmente em áreas de taludes, visando à estabilização do terreno e à prevenção de assoreamento dos corpos hídricos (CANHOLI, 2015).

Estas intervenções deverão ser avaliadas quanto à viabilidade técnica, ambiental e econômica, sendo priorizadas de acordo com o grau de vulnerabilidade das áreas, a efetividade no controle de cheias e redução dos impactos socioambientais.

Na perspectiva de Canholi (2015), as medidas não estruturais priorizam o controle de

ocupação urbana, a conscientização da população e o desenvolvimento de políticas públicas sustentáveis, visando a mitigação dos efeitos adversos do crescimento urbano sobre o regime hidrológico natural. Como principais ações não estruturais têm-se:

- **Regulamentação do uso e ocupação do solo**: por meio de instrumentos legais que disciplinam e controlam a urbanização, bem como delimitam áreas de risco;
- **Educação ambiental**: desenvolvimento de programas de conscientização voltados à proteção do meio-ambiente;
- **Seguro contra enchentes**: promoção de proteção financeira contra danos;
- **Sistemas de previsão e alerta:** implantação de sistemas de monitoramento e emissão de alertas de eventos críticos.

A aplicação dessas medidas tem como objetivo garantir a sustentabilidade dos sistemas de drenagem urbana, promover o uso racional do solo, prevenir inundações e reduzir os riscos associados a eventos meteorológicos extremos. Além disso, contribuem para a integração entre planejamento urbano e gestão dos recursos hídricos, conforme os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001).

As bacias, referentes aos núcleos urbanos inseridos em áreas rurais, objeto de estudo deste trabalho, caracterizam-se como trecho com urbanização em consolidação, onde as áreas de ocupação, e consequentemente as áreas edificadas, são menos densas e as margens dos corpos hídricos ainda estão preservadas. Para esses trechos, foram consideradas as seguintes diretrizes básicas:

1. Estruturais: recuperação de estrutura de canal existente, quando necessário;
2. Não estruturais:
    a. Delimitar Áreas de Proteção Permanente (APP) e áreas não edificáveis ao longo dos riachos ou canais;
    b. Desapropriação em APP ou áreas não edificáveis;
    c. Recuperação de vegetação ciliar em riachos ou canais;
    d. Permitir destinação de efluente em corpos hídricos somente após devido tratamento;

e. Proibir despejo de resíduos sólidos em corpos hídricos;

f. Realização de limpeza, desobstrução e manutenção de canais;

g. Implantar áreas com equipamentos de lazer ao logo de APP e áreas não edificáveis;

h. Prever futuras ampliações do sistema viário ao longo de APP e áreas não edificáveis.

3. Ação combinada: revitalização de corpos hídricos.

No que se refere à delimitação das Áreas de Proteção Permanente (APP), deve-se considerar o que consta na Lei Municipal nº 3.659/2023, que dispõe sobre os limites de APP marginais ao Rio São Francisco no Município de Petrolina. O Art. 4º da Lei Municipal nº 3.659/2023 diz que: "Os projetos a serem aprovados após a vigência desta lei, de parcelamento, construção ou qualquer outro empreendimento, na área de preservação entre os 100 e 500 metros da margem do rio, necessitam estar acompanhados do respectivo Estudo de Avaliação de Impacto Ambiental – EIA e terão sua aprovação de acordo com a avaliação de possíveis impactos urbanísticos e ambientais, pelos órgãos licenciadores urbanístico e ambiental municipais".

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos para elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem do Município Petrolina-PE, visam implementar diretrizes fundamentais para o planejamento urbano, considerando as análises hidrológicas, o atual cenário de ocupação urbana, e as projeções de crescimento populacional, visando garantir qualidade de vida à comunidade disciplinando o fluxo das águas pluviais para mitigar os efeitos das inundações.

Os trechos correspondentes aos núcleos rurais urbanizados, são caracterizados como áreas com urbanização em consolidação, e possuem a maior parte de suas diretrizes voltadas às medidas não estruturais, com intuito de promover o controle de uso e ocupação do solo e programas de manutenção dos dispositivos de drenagem pluvial.

O Poder Público será responsável pela implementação do Plano Diretor de Macrodrenagem, em conformidade com o regulamento definido na Lei Municipal nº 034/2022 – Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina, estabelecendo delimitação de áreas e

desapropriação em APP e áreas não edificáveis, assim como a gestão e manejo das águas pluviais com base nas diretrizes especificadas para cada bacia.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do município de Petrolina-PE, pelo fornecimento de dados e materiais imprescindíveis ao desenvolvimento da pesquisa que viabilizou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Federal nº 9.433/1997. Diário Oficial da República. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 16 de setrmbro de 2025.

BRASIL. Estatuto da Cidade. Lei Federal nº 10.257/2001. Diário Oficial da República. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 16 de setrmbro de 2025.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de Textos. 2a Edição ampliada e atualizada. São Paulo. ISBN: 978-85-7975-160-8. 2015.

IBGE. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=11&uf=00. 15 de setembro de 2025.

IBGE. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/panorama. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

PETROLINA. APP. Lei Municipal nº 3.659/2023. Prefeitura de Petrolina. 2023.

PETROLINA. Plano Diretor Participativo. Lei Complementar nº 034/2022. Prefeitura de Petrolina. 2022.

PETROLINA. Secretaria Municipal de Infraestrutura, Mobilidade – SEINFRA. Plano Diretor de Macrodrenagem – PETROLINA/PE. Abril de 2025. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1aYNzKZ1r2cLevwq7GcB7lhnnhxXnGXOL?usp=sharing. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

SUDERHSA. Manual de drenagem urbana. Região Metropolitana de Curitiba-PR. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curitiba. 2002.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039265

Biodigestores como tecnologia descentralizada para o tratamento de esgoto doméstico em áreas rurais: estudo de caso no bairro Cocuera, Mogi das Cruzes (SP)

Biodigestores como tecnología descentralizada para el tratamiento de aguas residuales domésticas en áreas rurales: estudio de caso en el barrio Cocuera, Mogi das Cruces

Biodigesters as a decentralized technologies for domestic wastewater treatment in rural areas: a case study in the Cocuera neighborhood, Mogi das Cruzes (SP)

Cristiano von Steinkirch de Oliveira[1], Silvio Yoshitaka Kinukawa[2] e c [1]Engenheiro Ambiental pela

Universidade de São Paulo (EESC- USP), Mestre em Gestão e Governança das Águas pelo UNESCO | IHE Delft – Institute for Water Education , Holanda, cristiano@semae.sp.gov.br;
[2]Engenheiro Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), São Paulo, Brasil, silvio@semae.sp.gov.br;
[3]Administrador pela Universidade de Braz Cubas (UBC), Especialista em Gestão Pública Municipal pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pós-graduando em Regulação no Saneamento, Universidade de São Paulo, Brasil, joseluiz@semae.sp.gov.br;

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Tecnologias descentralizadas de tratamento: fossas sépticas, biodigestores, wetlands, reatores e outras soluções de baixo custo para comunidades rurais.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Tecnologías descentralizadas de tratamiento: fosas sépticas, biodigestores, humedales, reactores y otras soluciones de bajo costo para comunidades rurales.

RESUMO

Este relato de experiência apresenta os resultados do Projeto Piloto de Saneamento Rural desenvolvido no município de Mogi das Cruzes, São Paulo, entre 2018 e 2020, com o objetivo de avaliar a aplicabilidade de tecnologias descentralizadas de tratamento de esgoto doméstico em áreas rurais. O estudo foi conduzido no bairro Cocuera, região caracterizada por propriedades localizadas a montante da principal captação de águas superficiais do sistema de abastecimento municipal, em uma área estratégica para a proteção dos mananciais do Sistema Produtor Alto Tietê. A iniciativa resultou de parceria entre o Serviço Municipal de Águas e Esgotos (SEMAE), a Secretaria Municipal de Agricultura (SMAG) e o Instituto Trata Brasil, e contemplou a instalação de sete biodigestores anaeróbios unifamiliares em propriedades rurais, como alternativa de baixo custo à expansão de redes coletoras convencionais.

O processo de implantação envolveu seleção e sensibilização dos beneficiários, diagnóstico de campo, instalação dos equipamentos e monitoramento inicial por meio de análises laboratoriais. Os biodigestores utilizados, fabricados em polietileno de alta densidade (PEAD), são compostos por tanque séptico de fundo cônico seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente, e apresentam como principais vantagens a simplicidade operacional, a baixa necessidade de manutenção e a dispensa de energia elétrica. As análises laboratoriais foram realizadas pelo laboratório credenciado Merieux NutriSciences, sob acompanhamento de

técnicos do SEMAE e do SMAG, e comparadas aos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 8.468/1976 e pela Resolução CONAMA nº 430/2011.

Os resultados evidenciaram desempenho satisfatório dos biodigestores, com eficiências médias de remoção de matéria orgânica próximas a 80% em condições ideais de operação. Entretanto, desafios importantes foram observados, incluindo dificuldades na coleta de amostras representativas, necessidade de adequações em conexões prediais, falta de mão de obra capacitada e heterogeneidade nas condições das propriedades rurais.

Conclui-se que os biodigestores constituem alternativa tecnicamente viável e socialmente apropriada para o tratamento descentralizado de esgoto em comunidades rurais, especialmente em contextos de restrição financeira e geográfica para implantação de redes coletoras. Contudo, a replicação em larga escala requer ações de capacitação técnica local, padronização de procedimentos de instalação, desenvolvimento de estratégias simplificadas de monitoramento e suporte institucional contínuo. Os aprendizados gerados pelo piloto em Mogi das Cruzes fornecem subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas voltadas à universalização do saneamento rural e à proteção de mananciais estratégicos para o abastecimento urbano.

Palavras-chave: Saneamento rural, Biodigestores, Tratamento de esgoto descentralizado, Soluções alternativas, Participação social, Políticas públicas

RESÚMEN

Este relato de experiencia presenta los resultados del Proyecto Piloto de Saneamiento Rural desarrollado en el municipio de Mogi das Cruzes, São Paulo, entre 2018 y 2020, con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de tecnologías descentralizadas de tratamiento de aguas residuales domésticas en áreas rurales. El estudio se realizó en el barrio Cocuera, una región caracterizada por propiedades ubicadas aguas arriba de la principal captación de aguas superficiales del sistema de abastecimiento municipal, en un área estratégica para la protección de las fuentes de agua del Sistema Productor Alto Tietê. La iniciativa fue el resultado de una asociación entre el Servicio Municipal de Agua y Alcantarillado (SEMAE), la Secretaría Municipal de Agricultura (SMAG) y el Instituto Trata Brasil, y contempló la instalación de siete biodigestores anaeróbicos unifamiliares en propiedades rurales, como una alternativa de bajo costo a la expansión de redes de alcantarillado convencionales.

El proceso de implementación involucró la selección y concientización de los beneficiarios, el diagnóstico de campo, la instalación de los equipos y el monitoreo inicial mediante análisis de laboratorio. Los biodigestores utilizados, fabricados en polietileno de alta densidad (PEAD), están compuestos por un tanque séptico de fondo cónico seguido de un filtro anaeróbico de flujo ascendente, y presentan como principales ventajas la simplicidad operacional, la baja necesidad de mantenimiento y la no necesidad de energía eléctrica. Los análisis de laboratorio fueron realizados por el laboratorio acreditado Merieux NutriSciences, bajo el acompañamiento de técnicos del SEMAE y de la SMAG, y fueron comparados con los estándares de vertimiento de efluentes establecidos por el Decreto Estatal Nº 8.468/1976 y por la Resolución CONAMA Nº 430/2011.

Los resultados evidenciaron un desempeño satisfactorio de los biodigestores, con eficiencias medias de remoción de materia orgánica cercanas al 80% en condiciones ideales de operación. Sin embargo, se observaron desafíos importantes, incluyendo dificultades en la recolección de muestras representativas, la necesidad de adecuaciones en las conexiones domiciliarias, la falta de mano de obra calificada y la heterogeneidad en las condiciones de las propiedades rurales.

Se concluye que los biodigestores constituyen una alternativa técnicamente viable y socialmente apropiada para el tratamiento descentralizado de aguas residuales en comunidades rurales, especialmente en contextos de restricción financiera y geográfica para la implementación de redes de alcantarillado colectivas. No obstante, la replicación a gran escala requiere acciones de capacitación técnica local, estandarización de procedimientos de instalación, desarrollo de estrategias simplificadas de monitoreo y apoyo institucional continuo. Los aprendizajes generados por el piloto en Mogi das Cruzes proporcionan valiosos subsidios para la formulación de políticas públicas dirigidas a la universalización del saneamiento rural y a la protección de fuentes de agua estratégicas para el abastecimiento urbano.

Palabras-clave: Saneamiento rural, Biodigestores, Tratamiento descentralizado de aguas residuales, Soluciones alternativas, Participación social, Políticas públicas.

ABSTRACT

This experience report presents the results of the Pilot Project for Rural Sanitation developed in the municipality of Mogi das Cruzes, São Paulo, between 2018 and 2020. The project aimed to evaluate the applicability of decentralized technologies for domestic sewage treatment in rural areas. The study was conducted in the Cocuera neighborhood, a region characterized by properties located upstream from the main surface water intake for the municipal water supply system, in a strategic area for the protection of the water sources of the Alto Tietê Production System. The initiative resulted from a partnership between the Municipal Water and Sewage Service (SEMAE), the Municipal Department of Agriculture (SMAG), and the Trata Brasil Institute. It involved the installation of seven single-family anaerobic biodigesters on rural properties as a low-cost alternative to the expansion of conventional sewer networks.

The implementation process involved the selection and awareness-raising of beneficiaries, field diagnosis, equipment installation, and initial monitoring through laboratory analyses. The biodigesters used, manufactured from high-density polyethylene (HDPE), consist of a septic tank with a conical bottom followed by an upflow anaerobic filter. Their main advantages are operational simplicity, low maintenance requirements, and no need for electrical energy. Laboratory analyses were performed by the accredited lab Merieux NutriSciences, under the supervision of technicians from SEMAE and SMAG, and the results were compared to the effluent discharge standards established by State Decree No. 8,468/1976 and CONAMA Resolution No. 430/2011.

The results demonstrated satisfactory performance of the biodigesters, with average organic matter removal efficiencies close to 80% under ideal operating conditions. However, significant challenges were observed, including difficulties in collecting representative

samples, the need for adjustments in household connections, a lack of skilled labor, and heterogeneity in the conditions of the rural properties.

It is concluded that biodigesters are a technically viable and socially appropriate alternative for the decentralized treatment of sewage in rural communities, especially in contexts of financial and geographical constraints for the implementation of collective sewer networks. However, large-scale replication requires local technical training, standardization of installation procedures, the development of simplified monitoring strategies, and continuous institutional support. The lessons learned from the pilot project in Mogi das Cruzes provide valuable input for the formulation of public policies aimed at universalizing rural sanitation and protecting strategic water sources for urban supply.

Keywords: Rural sanitation, Biodigesters, Decentralized sewage treatment, Alternative solutions, Social participation, Public policies.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O Projeto Piloto de Saneamento Rural foi implementado no bairro Cocuera, município de Mogi das Cruzes (SP), com foco em propriedades rurais situadas a montante da principal captação de águas superficiais do sistema de abastecimento municipal. Localizado no setor leste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o município apresenta relevante contingente populacional, estimado em 28.415 habitantes na área rural e uma população total estimada em 470.302 habitantes (IBGE, 2025). Destaca-se, ainda, que 48% do território municipal integra áreas de proteção e recuperação de mananciais, conforme Lei Estadual nº 15.913/2015, abrangendo três reservatórios do Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT. Este sistema, o segundo maior da RMSP, responde pelo suprimento de água a mais de 4,5 milhões de habitantes, ocupando aproximadamente 33 km², ou 4,75% da área total do município (SP Águas, 2025). Tal configuração evidencia a importância estratégica de Mogi das Cruzes na conservação da qualidade dos recursos hídricos, principalmente, na promoção do saneamento rural.

O Projeto Piloto de Saneamento Rural teve início após a formalização da parceria público-privada por meio do Termo de Cooperação nº 44, de 20 de junho de 2018, entre Secretaria Municipal de Agricultura - SMAG, SEMAE de Mogi das Cruzes e Instituto Trata Brasil, estabelecendo responsabilidades de atuação para cada integrante, cujas atuação estendeu-se com atividades de instalação e monitoramento até a conclusão do projeto em dezembro de 2020.

O objetivo principal foi testar a aplicabilidade de equipamentos comercializados como "biodigestores", os quais são sistemas de tratamento de efluentes descentralizados, cujo com funcionamento é semelhante à de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) com extração de lodo por pressão hidraulica, sem necessidade de caminhão limpa fossa. Para este projeto, foi utilizado o Biodigestor da marca Acqualimp, descrito como uma miniestação de tratamento de esgoto residencial fabricado em polietileno de alta densidade (PEAD) com um sistema de extração do lodo que permite o manuseio e aproveitamento deste resíduo diretamente pelo usuário. O biodigestor adotado neste projeto, foi fabricado com volume de 600 L e dimensões de 0,89 m de diâmetro e 1,65 m de altura, atende até seis pessoas, considerando uma residência baixo padrão, cuja contribuição diária é estimada em 100 litros por morador por dia (ACQUALIMP, 2019). Salienta-se que este tipo de equipamente não é exclusivo da marca supracitada, uma vez que há diversos fabricantes de biodigestores com design e funcionamento similar no mercado. Antecedendo o biodigestor, foram instalados os equipamentos hidrosanitários necessários para a ligação predial em acordo com a norma ABNT NBR 8160/1999, tais como caixas de gordura, caixa de inspeção, respiro, tubos e conexões em PVC, entre outros, bem como sumidouro após, permitindo a infiltração no solo do efluente como destinação final, conforme norma ABNT NBR 17076/2024.

A escolha pelo equipamento neste projeto piloto considerou aspectos técnicos (disponibilidade de tecnologias comerciais, facilidade de instalação e requisitos de operação), institucionais (papéis do SMAG, SEMAE e apoio do Instituto Trata Brasil) e ambientais (proximidade às áreas de captação). A experiência envolveu 11 propriedades beneficiárias em diferentes estágios de instalação e operação, dos quais 7 foram biodigestores idênticos, permitindo avaliar aspectos técnicos, operacionais e sociais da implementação em contexto rural. Além dos biodigestores, foram testados outros equipamentos com tecnologia diversa.

A experiência ganha relevância na área temática de tecnologias descentralizadas de tratamento por demonstrar, na prática, a possibilidade de adoção de biodigestores como soluções alternativas ao saneamento rural. No contexto brasileiro, marcado pela desigualdade no acesso ao saneamento básico, o presente relato a partir de Mogi das Cruzes oferece evidências significativas de que estes sistemas de tratamento de efluentes podem constituir alternativas viáveis, de baixo custo e adaptadas à realidade de comunidades isoladas em áreas rurais.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A implantação de biodigestores unifamiliares no âmbito do Projeto Piloto de Saneamento Rural de Mogi das Cruzes foi concebida como estratégia para avaliar a viabilidade de tecnologias descentralizadas anaeróbias em áreas rurais não atendidas pela rede pública de esgotamento sanitário. O modelo selecionado foi o biodigestor da Acqualimp, um reator anaeróbio pré-fabricado em polietileno de alta densidade (PEAD), composto por tanque séptico de fundo cônico e filtro anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA/UASB) preenchido com material suporte para fixação do biofilme. O sistema dispensa o uso de energia elétrica, possui baixa necessidade de manutenção e, tratando-se de reator anaeróbio de fluxo ascendente, apresenta remoções médias de carga orgânica da ordem de 70–80% para $DBO_{5,20}$ em condições ideais de operação (von Sperling, 2000).

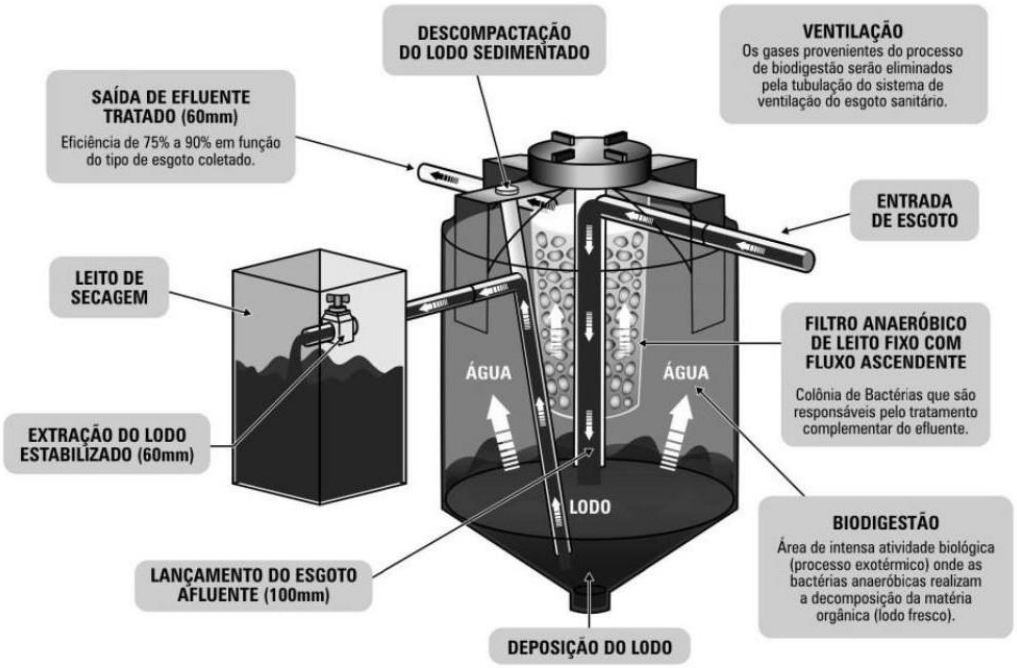


Figura 1. Representação esquemática das partes que compõem o biodigestor.
Fonte: Ficha técnica do produto, Aqualimp, 2019.

A metodologia de implementação contemplou quatro etapas principais:

1. **Seleção dos beneficiários** – realizada pela Secretaria Municipal de Agricultura (SMAG), considerando propriedades situadas a montante da captação de água superficial do município.
2. **Sensibilização e diagnóstico de campo** – visitas técnicas para orientar os proprietários quanto ao uso, manutenção e cuidados necessários para a eficiência do sistema.
3. **Instalação dos biodigestores** – conduzida com apoio técnico do SEMAE e de parceiros, incluindo a definição de localização adequada (respeitando declividade, distância de corpos d'água e acessibilidade para manutenção) e a construção de sumidouros como unidades de disposição final do efluente tratado, conforme as normas norma ABNT NBR 17076/2024.
4. **Monitoramento inicial** – coleta e análise laboratorial de efluentes tratados em unidades selecionadas, realizada por laboratório credenciado (Merieux NutriSciences), com acompanhamento de técnicos do SEMAE. Os parâmetros analisados foram comparados aos limites estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 8.468/1976 e pela Resolução CONAMA nº 430/2011.

No total, sete biodigestores foram entregues a famílias rurais durante a execução do piloto, distribuídos em diferentes propriedades do bairro Cocuera e adjacências. Dentre estes, pelo menos quatro encontravam-se em operação plena até dezembro de 2020, tratando águas negras e cinzas domésticas de modo integrado. Os demais apresentavam pendências de instalação final ou de adequação das conexões prediais, o que refletiu diretamente no desempenho observado. A Tabela 1 sintetiza as unidades de biodigestores monitoradas, com destaque para as características de operação.

Tabela 1. Unidades de biodigestores instaladas no Projeto Piloto de Saneamento Rural de Mogi das Cruzes (2018–2020)

Proprietário	Localização	nº de moradores
Benedito T. Gishifu	Rod. Prof. Alfredo Rolim de Moura	até 6
Getúlio D. Emori	Estrada G. Kobayashi	6
Edson K. Suenaga	Estrada S. Ueda	6
Massataka Yamashita	Estrada Yamashita	2
Marcelo K. Imada	Rod. Prof. Alfredo Rolim de Moura	até 6
Osvaldo Matsuo	Estrada Takaoka	4–6

Fonte: Relatório de acompanhamento do Projeto Piloto de Saneamento Rural de Mogi das Cruzes (2020)

Devido à restrições orçamentárias, foram realizadas coletas e análises laboratoriais em apenas um sistema de biodigestor, aquele de propriedade de Edson K. Suenaga. Embora apenas uma das análises tenha contemplado unidade anaeróbia, os resultados forneceram subsídios para a avaliação da eficiência dos sistemas. As amostragens foram conduzidas por coletor habilitado do laboratório Merieux NutriSciences Corporation, com acompanhamento de técnicos do SEMAE e do SMAG. No processo de avaliação, os parâmetros de esgoto bruto restringiram-se à quantificação de matéria orgânica, enquanto o efluente tratado foi analisado em conformidade com os padrões de lançamento estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 8.468/1976 e pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Os resultados foram comparados diretamente aos valores máximos permitidos pelo Artigo 18 do referido Decreto e pelo Artigo 21 da Resolução CONAMA nº 430/2011, não tendo sido incluídos parâmetros de qualidade voltados ao reuso agrícola, conforme disposto na Resolução CNRH nº 54/2005. Ressalta-se, adicionalmente, que os beneficiados foram orientados quanto à diretriz da NBR 13.969/1997, a qual veda a utilização de esgoto tratado, mesmo após desinfecção, para irrigação de hortaliças e frutas rastejantes, como melão e melancia.

Tabela 2. Análise laboratorial do efluente do biodigestor de propriedade do Edson K. Suenaga no dia 22/06/2021.

nº do laudo	Entrada	Saída	Eficiência
337030/2019-0	DQO 10900 mg/L	DQO 342 mg/L	97%
	$DBO_{5,20}$ 349 mg/L	DBO 75,1 mg/L	78%

Fonte: Laudo laboratorial Merieux NutriSciences Corporation: Resumo dos resultados da amostra n° 205390/2021-0 e 205384/2021-0.

As análises laboratoriais realizadas na unidade da propriedade de Edson K. Suenaga, indicaram desempenho satisfatório em termos de redução de carga orgânica, ainda que limitado por fatores de campo, como obstruções na tubulação de entrada e ausência de padronização nas ligações prediais, uma vez que se tratava de casa antiga. A análise foi realizada no dia 22/06/2021, há mais de um ano e meio da instalação do sistema no dia 06/12/2019, demonstrando maturidade do biofilme no tratamento.

Figura 2. Foto do biodigestor e leito de secagem após a instalação no sítio de Edson K. Suenaga.
Fonte: Elaboração própria, 2019

O aumento observado na carga orgânica da amostra de entrada deveu-se ao fato de a coleta ter sido realizada a partir do leito de secagem, após a extração do lodo estabilizado, uma vez que não havia possibilidade de coletar um afluente homogêneo diretamente. No dia da amostragem, procedeu-se à operação de remoção do lodo estabilizado para o leito de secagem, realizada por diferença de carga hidráulica após a abertura do registro. Para viabilizar o processo, o proprietário utilizou uma vareta de bambu para promover a descompactação do lodo acumulado no fundo do reator. Essa operação elimina a necessidade de caminhões limpa-fossa para a retirada do material, constituindo uma vantagem significativa para a replicação da tecnologia em comunidades rurais de difícil acesso. Após a extração, caracterizada pela remoção de um efluente de aspecto semissólido ou pastoso, foi então coletado o efluente líquido destinado à análise laboratorial. Já o efluente de saída do equipamento foi coletado diretamente a partir da tubulação de saída para a sumidouro instalado para a infiltração no solo como disposição final do efluente tratado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação de biodigestores unifamiliares em propriedades rurais do bairro Cocuera evidenciou tanto o potencial de aplicabilidade da tecnologia como solução descentralizada de saneamento, quanto os desafios práticos para sua consolidação em escala municipal.

Do ponto de vista técnico-científico, o piloto reforça evidências já descritas na literatura nacional sobre a aplicabilidade dos biodigestores como solução descentralizada de baixo custo,

especialmente em contextos de baixa densidade populacional e restrições financeiras para a expansão de redes coletoras. Além disso, contribui ao campo das políticas públicas ao fornecer dados empíricos sobre a necessidade de padronização de equipamentos, capacitação de mão de obra local e estratégias de monitoramento simplificadas como fatores críticos para o sucesso da adoção em escala municipal.

Os resultados laboratoriais obtidos no biodigestor da propriedade de Edson K. Suenaga indicaram desempenho satisfatório na redução de matéria orgânica, ainda que condicionado por limitações de campo. O aumento significativo da carga orgânica na amostra de entrada decorreu da dificuldade de acesso ao esgoto doméstico, o que levou à coleta por meio do extrator de lodo estabilizado, comprometendo a representatividade do afluente. Ainda assim, os biodigestores demonstraram eficiência considerável na remoção da carga orgânica.

Do ponto de vista tecnológico, os biodigestores apresentaram vantagens, uma vez que não requerem energia elétrica, possuem menor custo de manutenção e maior simplicidade operacional. Tais características ampliam sua viabilidade em localidades dispersas, com infraestrutura limitada e baixo poder aquisitivo dos usuários. Entretanto, a eficiência média inferior em relação aos sistemas aeróbios, ou outros mais avançados, deve ser considerada no planejamento de políticas públicas, sobretudo em áreas de relevância hídrica estratégica, como mananciais de abastecimento urbano.

Do ponto de vista institucional e social, observou-se que a heterogeneidade das condições das propriedades beneficiadas influenciou diretamente a performance dos sistemas. Em alguns casos, houve necessidade de readequação das conexões prediais, especialmente para assegurar a correta segregação de águas negras e cinzas. Além disso, a ausência de mão de obra local capacitada dificultou a instalação e o monitoramento inicial, demandando apoio técnico contínuo por parte do SEMAE e do SMAG. Esses fatores apontam para a importância de programas de capacitação comunitária e de padronização dos procedimentos de instalação, a fim de reduzir custos e garantir uniformidade no desempenho.

De forma geral, a experiência demonstra que os biodigestores são uma alternativa tecnicamente viável e socialmente apropriada para o saneamento rural descentralizado, desde que inseridos em um modelo de gestão que contemple: (i) assistência técnica permanente; (ii) mecanismos simplificados de monitoramento da eficiência; (iii) padronização dos equipamentos; e (iv) estratégias de manutenção de baixo custo. O piloto também evidencia a

necessidade de alinhar a escolha das tecnologias descentralizadas com critérios de sustentabilidade ambiental, aceitação social e capacidade institucional de suporte, de modo a ampliar a replicabilidade em outras comunidades rurais e regiões de mananciais estratégicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência de implantação de biodigestores unifamiliares no bairro Cocuera, em Mogi das Cruzes, demonstrou a viabilidade dessa tecnologia como alternativa descentralizada para o tratamento de esgoto doméstico em áreas rurais. Os resultados laboratoriais evidenciaram capacidade de remoção de matéria orgânica compatível com referências técnicas da literatura, ainda que condicionada por limitações operacionais decorrentes da coleta de amostras e da heterogeneidade das condições de instalação.

Conclui-se que os biodigestores representam uma solução promissora para a universalização do saneamento em áreas rurais, especialmente em contextos de restrições financeiras e geográficas para a implantação de redes coletoras convencionais. Contudo, sua efetiva replicação em escala municipal e regional requer a integração entre critérios técnicos, suporte institucional e aceitação social. Os aprendizados gerados pelo piloto em Mogi das Cruzes oferecem subsídios relevantes para o aprimoramento de políticas públicas de saneamento rural e para o fortalecimento da governança hídrica em áreas de mananciais estratégicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acqualimp. 2019. “Manual técnico de instalação do biodigestor Acqualimp”. São Paulo.

Agência de Águas do Estado de São Paulo - SP Águas. 2025. *Sistema Produtor Alto Tietê: informações técnicas e operacionais*. São Paulo. Disponível em: https://www.spaguas.sp.gov.br/site/sistema-produtor-alto-tiete/. Acesso em: 29 set. 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1997a. *NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro: ABNT.

———. 1997b. *NBR 13969: Tanques sépticos — Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos*. Rio de Janeiro: ABNT.

———. 2024. *NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte-Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2011. *Resolução no. 430, de 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). 2005. *Resolução no. 54, de 28 de novembro de 2005*. Estabelece diretrizes, modalidades e critérios gerais para reuso não potável de água. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Estado de São Paulo. 1976. *Decreto Estadual no. 8.468, de 8 de setembro de 1976*. Regulamenta a Lei no. 997, de 31 de maio de 1976, sobre prevenção e controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro.

Von Sperling, Marcos. 2005. "Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos". 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. p. 452.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039270

Abordagem Técnica e Sanitária para o Lançamento de Efluentes em Corpos d'Água sob a Perspectiva da Legislação Brasileira

Abordaje Técnico-Sanitario de la Descarga de Efluentes en Cuerpos de Agua desde la Perspectiva de la Legislación Brasileña

Technical and Sanitary Approach to the Discharge of Effluents into Water Bodies from the Perspective of Brazilian Legislation

Maria Tereza Gomes dos Santos[1].

[1]Pós Graduanda, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil, mariaterezagomes744@gmail.com, 0009-0002-1534-9902.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Gestão e disposição final de efluentes: critérios para lançamento no solo e corpos hídricos, e segurança sanitária do descarte.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Manejo y disposición final de efluentes: criterios de liberación al suelo y cuerpos de agua, y seguridad sanitaria de la disposición

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Management and final disposal of effluents: criteria for release into soil and water bodies, and sanitary safety of disposal.

RESUMO

A urbanização crescente, o aumento populacional e a intensificação das atividades industriais vêm ampliando a demanda por água potável e a geração de efluentes, o que acarreta impactos ambientais significativos e riscos à saúde pública. A falta de coleta e tratamento de esgotos em várias regiões do Brasil contribui para o lançamento de poluentes em corpos d'água, comprometendo diferentes usos, a biodiversidade aquática e a segurança hídrica. Diante desse contexto, a legislação ambiental brasileira assume papel essencial na proteção dos recursos hídricos e na definição de padrões de qualidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar os critérios técnicos e sanitários para o lançamento de efluentes em corpos d'água à luz da legislação brasileira, destacando os desafios de aplicação das normas e as oportunidades de aprimoramento. A pesquisa foi desenvolvida como uma revisão bibliográfica e documental, baseada em literatura científica, legislação federal e estadual, normas da ABNT e relatórios de órgãos ambientais. Foram analisadas as principais bases legais, incluindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), a Resolução CONAMA nº 357/2005, que classifica os corpos hídricos e estabelece padrões de qualidade, e a Resolução CONAMA nº 430/2011, que define condições e limites para o lançamento de efluentes. Também foram considerados estudos e exemplos nacionais e internacionais que permitiram verificar parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como DBO, DQO, metais pesados e coliformes, em comparação aos limites estabelecidos. Os resultados mostraram que, mesmo com um arcabouço legal consistente, ainda existem fragilidades na execução e fiscalização, associadas à carência de

infraestrutura de saneamento, à necessidade de monitoramento contínuo e à adaptação das normas às particularidades regionais. Recomenda-se, portanto, o fortalecimento da fiscalização, o aumento dos investimentos em sistemas de tratamento, a promoção da educação ambiental e o incentivo ao uso de tecnologias limpas nas atividades industriais. Essas ações são fundamentais para garantir a preservação dos recursos hídricos, a saúde da população e a sustentabilidade ambiental. Conclui-se que a integração entre políticas públicas, setor produtivo e sociedade civil é indispensável para a efetividade das normas e a manutenção da qualidade da água para as gerações futuras.

Palavras-chave: Efluentes, Recursos hídricos, legislação ambiental, Saneamento, Qualidade da água

RESÚMEN

La creciente urbanización, el crecimiento poblacional y la intensificación de las actividades industriales han incrementado la demanda de agua potable y la generación de efluentes, generando importantes impactos ambientales y riesgos para la salud pública. La falta de recolección y tratamiento de aguas residuales en varias regiones de Brasil contribuye a la liberación de contaminantes en cuerpos de agua, lo que compromete diversos usos, la biodiversidad acuática y la seguridad hídrica. En este contexto, la legislación ambiental brasileña desempeña un papel crucial en la protección de los recursos hídricos y la definición de estándares de calidad. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los criterios técnicos y sanitarios para el vertido de efluentes en cuerpos de agua a la luz de la legislación brasileña, destacando los desafíos para la aplicación de estos estándares y las oportunidades de mejora. La investigación se realizó mediante una revisión bibliográfica y documental, con base en literatura científica, legislación federal y estatal, normas de la ABNT e informes de organismos ambientales. Se analizaron los principales marcos legales, incluyendo la Política Nacional de Recursos Hídricos (Ley n.º 9.433/1997), la Resolución CONAMA n.º 357/2005, que clasifica los cuerpos de agua y establece estándares de calidad, y la Resolución CONAMA n.º 430/2011, que define las condiciones y límites para la descarga de efluentes. También se consideraron estudios y ejemplos nacionales e internacionales, lo que permitió la verificación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, como DBO, DQO, metales pesados y coliformes, con respecto a los límites establecidos. Los resultados mostraron que, incluso con un marco legal consistente, aún existen debilidades en la implementación y la supervisión, asociadas con la falta de infraestructura de saneamiento, la necesidad de monitoreo continuo y la adaptación de las normas a las particularidades regionales. Por lo tanto, se recomienda fortalecer la supervisión, aumentar la inversión en sistemas de tratamiento, promover la educación ambiental y fomentar el uso de tecnologías limpias en las actividades industriales. Estas acciones son esenciales para garantizar la preservación de los recursos hídricos, la salud de la población y la sostenibilidad ambiental. La conclusión es que la integración entre las políticas públicas, el sector productivo y la sociedad civil es esencial para la eficacia de las normas y el mantenimiento de la calidad del agua para las generaciones futuras.

Palabras clave: Efluentes, Recursos hídricos, Legislación ambiental, Saneamiento, Calidad del agua

ABSTRACT

Growing urbanization, population growth, and the intensification of industrial activities have

increased the demand for drinking water and the generation of effluents, leading to significant environmental impacts and public health risks. The lack of sewage collection and treatment in several regions of Brazil contributes to the release of pollutants into water bodies, compromising various uses, aquatic biodiversity, and water security. In this context, Brazilian environmental legislation plays a crucial role in protecting water resources and defining quality standards. This study aimed to evaluate the technical and sanitary criteria for the discharge of effluents into water bodies in light of Brazilian legislation, highlighting the challenges of enforcing these standards and opportunities for improvement. The research was conducted as a bibliographic and documentary review, based on scientific literature, federal and state legislation, ABNT standards, and reports from environmental agencies. The main legal frameworks were analyzed, including the National Water Resources Policy (Law No. 9,433/1997), CONAMA Resolution No. 357/2005, which classifies water bodies and establishes quality standards, and CONAMA Resolution No. 430/2011, which defines conditions and limits for effluent discharge. National and international studies and examples were also considered, allowing for the verification of physical, chemical, and microbiological parameters, such as BOD, COD, heavy metals, and coliforms, against established limits. The results showed that, even with a consistent legal framework, there are still weaknesses in implementation and oversight, associated with the lack of sanitation infrastructure, the need for continuous monitoring, and the adaptation of standards to regional specificities. Therefore, it is recommended to strengthen oversight, increase investment in treatment systems, promote environmental education, and encourage the use of clean technologies in industrial activities. These actions are essential to ensure the preservation of water resources, the health of the population, and environmental sustainability. The conclusion is that integration between public policies, the productive sector, and civil society is essential for the effectiveness of standards and the maintenance of water quality for future generations.

Keywords: Effluents, Water resources, Environmental legislation, Sanitation, Water quality

INTRODUÇÃO

A sociedade moderna vem desenvolvendo um elevado padrão de consumo e produção, o que está também relacionado ao crescimento populacional, estimulando um aumento na exploração dos recursos de forma desordenada, acarretando críticos quadros de degradação ambiental (BRAGA et al., 2002).

Dentro desse panorama, ressalta-se que o crescimento populacional, a urbanização acelerada e o incremento das atividades industriais acarretam maior demanda por água potável e crescimento na geração de efluentes, com implicações significativas para a gestão dos recursos hídricos.

A Agência Nacional de Águas (ANA) aponta uma significativa insuficiência no que diz respeito aos serviços de coleta e tratamento de esgotos no Brasil, o que resulta no lançamento diário de altas cargas de DBO nos corpos de água, desencadeando consequências negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2017). Consoanete a isso, o Fundo das Nações

Unidas para a Infância (UNICEF) aponta que aproximadamente 4,1 bilhões de pessoas não têm acesso ao esgotamento sanitário adequado e 2,1 bilhões não têm acesso a serviços de água potável (UNICEF, 2019).

Nesse contexto, Costa (2022) destaca que a contaminação hídrica decorrente do lançamento de esgoto não tratado compromete a fauna, a flora e a saúde humana, expondo a população a doenças infecciosas.

A gestão do lançamento de efluentes no Brasil está alicerçada em uma base legal importante. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) estabelece a água como sendo um bem de domínio público e de valor econômico, instituindo instruções para uma utilização prudente, bem como a preservação da qualidade dos recursos hídricos. Consoante a isso, a Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica os corpos de água e estabelece níveis de qualidade, enquanto a Resolução CONAMA nº 430/2011 regulariza as condições e os padrões de lançamento de efluentes, elencando parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que devem ser acatados pelos empreendimentos.

Além das normas federais, as legislações estaduais e municipais traçam condições e requisitos locais, levando em consideração tanto as características regionais, como também a disponibilidade hídrica e os usos múltiplos da água. O cumprimento desses padrões de qualidade e de emissão é indispensável para a proteção da saúde pública, garantia da manutenção dos ecossistemas aquáticos e proteção da sustentabilidade do uso da água para as gerações futuras.

Assim, esse trabalho tem por objetivo avaliar os critérios técnicos e sanitários para o lançamento de efluentes em corpos d'água à luz da legislação brasileira, dentificando desafios na aplicação das normas e oportunidades de aprimoramento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como revisão bibliográfica e documental, baseada em literatura científica, legislação federal e estadual, guias da ABNT e relatórios de órgãos ambientais.

As etapas metodológicas seguidas no desenvolvimento deste estudo encontram-se apresentadas, em síntese, na Figura 1.

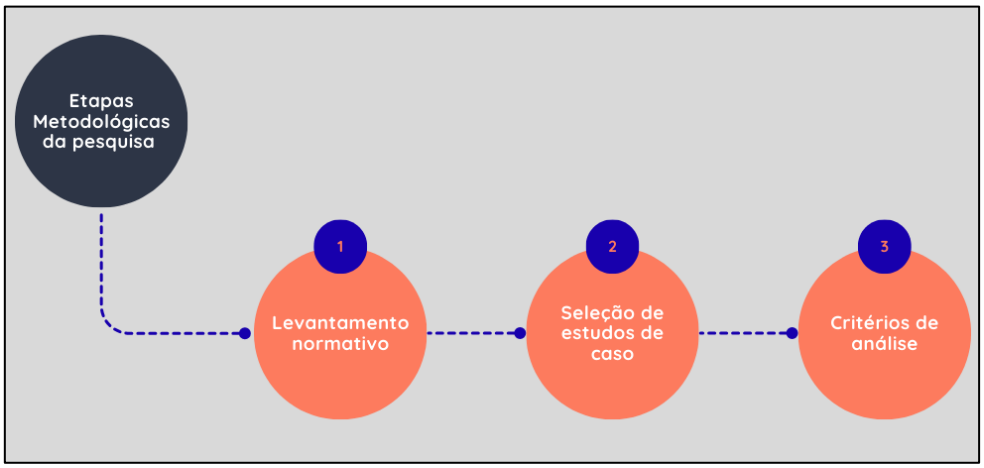


Figura 1. Etapas Metodológicas da Pesquisa
Fonte: Elaboração própria, 2024.

A Primeira etapa da pesquisa fez-se na identificação e análise das normas e resoluções pertinentes, incluindo diretrizes do CONAMA (Resoluções 357/2005 e 430/2011), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), IBAMA e órgãos estaduais e municipais. Essa etapa permitiu que fosse possível a observação das bases legais que integram-se ao saneamento no Brasil.

Porteriormente, na segunda etapa, foi possível executar a escolha de exemplos representativos para ilustrar a aplicação prática da legislação e dos parâmetros técnicos. Para isso foi necessário buscar na literatura títulos que abordassem a relação existente e a aplicação da legislação vigente. Essa investigação ocorreu a nível Brasil, nível América Latina e a nível mundial. Para tanto, foram usados como ferramenta de pesquisa o Google acadêmico e o portal de periódicos CAPES.

Por fim, foi estabelecido também um critério de análise, contando com a verificação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos exigidos para lançamento de efluentes, com ênfase em Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), metais pesados e indicadores de contaminação microbiológica (coliformes), comparando-os com os limites de emissão estabelecidos pela legislação em vigor atualmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Resolução CONAMA nº 430/2011 define parâmetros de lançamento de efluentes em corpos d'água, incluindo pH (5-9), temperatura (inferior a 40ºC e variação máxima de 3ºC no corpo receptor), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de

Oxigênio), sólidos em suspensão totais, óleos e graxas, além de ausência de materiais flutuantes e sedimentáveis grosseiros.

A legislação estadual pode adaptar e/ou complementar as normas Federais de acordo com suas necessidades e características locais. Dessa forma, é possível estabelecer critérios próprios e mais restrititivos de acordo com as condições do local. Assim, a fiscalização e o licenciamento que são realizados pelos órgãos ambientais estaduais podem e devem estabelecer a aplicação de normativas próprias.

No entanto, existe ainda diversos percalços atrelados à execução e fiscalização das legislações e normativas vigentes, sejam elas em nível federal ou estadual, o que acaba por influenciar diretamente na saúde do meio ambiente, bem como do eixo social como um todo. Nesse sentido, é válido destacar o quadro intenso de problemáticas relacionadas a impactos ambientais elencados ao lançamento de efluententes nos corpos d'água, sobretudo em função das atividades antrópicas.

Logo, apesar d'os recursos hídricos apresenarem extrema importância por serem utilizados em diversas finalidades, nas últimas décadas este recurso vem sendo ameaçado, sofrendo grandes impactos (Moraes e Jordão, 2002).

Em conformidade a isso, é importante levar em consideração o fato de que o descarte inadequando de efluentes pode apresentar danos em diversas vertentes. O lançamento de esgoto doméstico sem tratamento em corpos d'água causa diversos prejuízos ambientais e sociais, tornando as águas receptoras impróprias para diversos tipos de uso, como, abastecimento doméstico, comercial, agrícola e recreação (THEBALDI et al., 2011).

Outro fator importante a ser discutido, faz referência à veiculação de doenças a partir da água contaminada. De acordo com Tundisi (2006, p.28), "a contaminação e o aumento das substâncias tóxicas na água e de vetores de doenças de veiculação hídrica estão diretamente relacionados com o saneamento básico e condições inadequadas de tratamento das águas contaminadas por vários processos".

De modo geral, ressalta-se a importância do tratamento de despejos industriais para mitigar os impactos ambientais nos secossistemas. Von Sperlling (1996) destaca que a queda dos níveis de oxigênio a partir da poluição por matéria orgânica é extremamente danosa aos corpos d'água, atingindo toda a comunidade aquática, podendo ser fatal para determinadas espécies. Além disso, Wilhelm (2022) aponta que, conforme sua composição, os efluentes

podem ser classificados como agentes de poluição das águas e representar grande ameaça à saúde pública

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada mostra que o lançamento de efluentes em corpos d'água no Brasil ainda representa um desafio significativo para a preservação dos recursos hídricos e para a saúde pública. Embora o país possua uma estrutura legal sólida, com destaque para a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e as Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, a eficiência dessas normas está seujeita à execução de fiscalização contínua, investimentos em infraestrutura de saneamento e integração entre os entes federativos.

Os resultados evidenciam que, mesmo com a existência de padrões claros para parâmetros físico-químicos e microbiológicos, mantêm-se falhas na aplicação das exigências legais, principalmente em regiões com menor capacidade técnica e financeira. A limitação na coleta e tratamento de esgoto, ligada à urbanização acelerada, bem como ao crescimento populacional, aentua a poluição dos corpos d'água, prejudicando usos múltiplos, a biodiversidade aquática e a segurança hídrica.

Nesse sentido, recomenda-se o fortalecimento dos mecanismos de monitoramento, a ampliação de investimentos em sistemas de tratamento de efluentes e a atualização periódica das normas, de forma a considerar novos contaminantes e as particularidades regionais. A promoção de educação ambiental e o incentivo à adoção de tecnologias limpas pelas atividades industriais também se mostram estratégias essenciais para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos.

Por fim, destaca-se que a proteção da qualidade da água é condição fundamental para o desenvolvimento sustentável. A articulação entre políticas públicas, setor produtivo e sociedade civil é indispensável para assegurar que as próximas gerações tenham acesso a recursos hídricos de qualidade, garantindo a manutenção dos ecossistemas e a saúde da população.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Deixo aqui registrados os agradecimentos à UFPB e à UFCG pela gama de conhecimento ofertado indispensável para a construção deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional das Águas. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017. (OK)

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (2005). Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2011). Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília

Brasil. (1997). Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília.

COSTA, Gedeão Rodrigues et al. Saneamento básico: sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.PARAMÉTRICA, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: https://www.periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/273. Acesso em: 14 ago 2025.

MORAES, Danielle. S. L; JORDÃO, Berenice. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. Revista de Saúde Pública. v. 36, p. 370-374, 2002.

THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S. da; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino.Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 15, n. 3, 2011.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão dos recursos hídricos. REVISTA USP, São Paulo, n. 70, p. 24-35, jun/ago 2006. https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35.

UNICEF; OMS. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities. New York: Fundo das Nações Unidas para a Infância

(UNICEF) e Organização Mundial da Saúde (OMS), 2019.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG. v.1, 2.ed. 1996. 243p.

Wilhelmm, C. T.(2022).Processo combinado de coagulação/floculação e eletrocoagulação no tratamento de efluente de abatedouro.Trabalho de Conclusãode Curso, Universidade Federal de Mato Grosso.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039274

ALTERNATIVAS PARA O GERENCIAMENTO DE LODOS NA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PENDÊNCIAS, RIO GRANDE DO NORTE

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS EN LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE PENDÊNCIAS, RIO GRANDE DO NORTE

ALTERNATIVES FOR SLUDGE MANAGEMENT IN THE STABILIZATION LAGOON OF THE MUNICIPALITY OF PENDÊNCIAS, RIO GRANDE DO NORTE

Rodolfo Rodrigo de Souza Farias[1], Maria Alaide Dos Santos [2], Rita de Cássia Braga Assunção[3] e Osvaldo Nogueira de Sousa Neto[4].

[1]Engenheiro Civil, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, rodolfofariastopografo@gmail.com, 0009-0002-0363-9654;
[2] Graduanda em C&T, UFERSA,Angicos, RN, Brasil, maria.santos62469@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0009-6354-2839;
[3] Graduanda em C&T, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, rita.assuncao@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0000-7907-3277;[4]Prof. Doutor, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, osvaldo.neto@ufersa.edu.br, 0000-0002-6256-4333.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

RESUMO

O lodo é o resíduo sólido resultante do tratamento de águas residuais e seu gerenciamento adequado é essencial para minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública. O presente estudo teve como objetivo analisar o processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização localizada no município de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O processo metodológico consistiu em uma pesquisa exploratória e descritiva, de natureza qualitativa, que contou com visitas à lagoa de estabilização de Pendências. Foram analisadas as implicações do acúmulo de lodos na lagoa para o tratamento do esgotamento sanitário, bem como as medidas para realização do tratamento e gerenciamento do lodo produzido. Apesar das limitações, a estação de tratamento de esgoto apresenta um sistema de gerenciamento de lodos adequado. A adoção de técnicas como a compostagem associada ao reuso na agricultura e na industra ceramista permite o tratamento adequado do lodo, bem como, a redução de sua disposição inadequada no ambiente.

Palavras-chave: Esgotamento sanitário, Residuos sólidos, Reúso

RESÚMEN

Los lodos son el residuo sólido resultante del tratamiento de aguas residuales y su gestión adecuada es esencial para minimizar los impactos ambientales y proteger la salud pública. El

presente estudio tuvo como objetivo analizar el proceso de manejo de lodos en una laguna de estabilización ubicada en el municipio de Pendências, en el estado de Rio Grande do Norte, Brasil. El proceso metodológico consistió en una investigación exploratoria y descriptiva, de carácter cualitativo, que incluyó visitas a la laguna de estabilización de Pendências. Se analizaron las implicaciones de la acumulación de lodos en la laguna para el tratamiento de aguas residuales, así como las medidas para llevar a cabo el tratamiento y gestión de los lodos producidos. A pesar de sus limitaciones, la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con un sistema adecuado de gestión de lodos. La adopción de técnicas como el compostaje, combinadas con la reutilización en la agricultura y la industria cerámica, permite un tratamiento adecuado de los lodos y reduce su vertido indebido al medio ambiente.

Palabras clave: Alcantarillado sanitario, Residuos sólidos, Reutilización

ABSTRACT

Sludge is solid waste resulting from wastewater treatment and its appropriate management is essential to minimize environmental impacts and protect public health. This study aims to analyze the sludge management process in a stabilization lagoon located in the municipality of Pendências, in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. The methodological process consisted of an exploratory and descriptive investigation, of a qualitative nature, which included visits to the Pendências stabilization lagoon. The implications of the accumulation of sludge in the lagoon for the treatment of wastewater were analyzed, as well as the measures to carry out the treatment and management of the sludge produced. Despite its limitations, the wastewater treatment plant has an adequate sludge management system. The adoption of techniques such as composting, combined with reuse in agriculture and the ceramics industry, allows for adequate treatment of sludge and reduces its undue spillage into the environment.

Keywords: Sanitary sewage, Solid waste, Reuse

INTRODUÇÃO

A análise do processo de gerenciamento de lodos em lagoas de estabilização é relevante diante do aumento da população mundial e da demanda por água tratada. O lodo é composto por resíduos sólidos de origem orgânica e inorgânica, como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, entre outros. A formação do lodo também é atribuída aos floculantes, hidróxidos de alumínio e ferro, e aos polímeros condicionantes usados para aprimorar a potabilização da água (GERVASONI, 2014).

As lagoas de estabilização são construções simples que se baseiam na movimentação de terra de escavação e preparação dos taludes. Além disso, uma lagoa de estabilização de águas residuárias é um reservatório escavado no solo que entra em ação com o lançamento das

águas residuárias, passando por um processo de autodepuração ou estabilização natural, seguido de fenômenos físicos, químicos, bioquímicos e biológicos (COSTA, 2015).

A coleta e o tratamento adequado de esgoto e lodo gerado no processo são atividades extremamente importantes para a saúde pública. A principal causa epidemiológica do aumento da incidência de doenças transmitidas pela água é a contaminação de corpos d'água e mananciais. É crucial ter precauções desde a destinação correta de efluentes e resíduos até o tratamento de lodo (TRUPPEL, 2002).

Considerando os possíveis impactos ambientais decorrentes do gerenciamento inadequado do lodo e a quantidade produzida, o objetivo deste estudo foi analisar o processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização em Pendências, Rio Grande do Norte. Alem disso, avaliar as implicações do acúmulo de lodos, propor medidas de tratamento e gerenciamento adequado para este residuo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgoto ou lagoas de estabilização gerenciada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), localizada no município de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O município situa-se na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Vale do Açu, limitando-se com os municípios de Macau, Pedro Avelino, Afonso Bezerra, Alto do Rodrigues e Carnaubais (Figura 1).

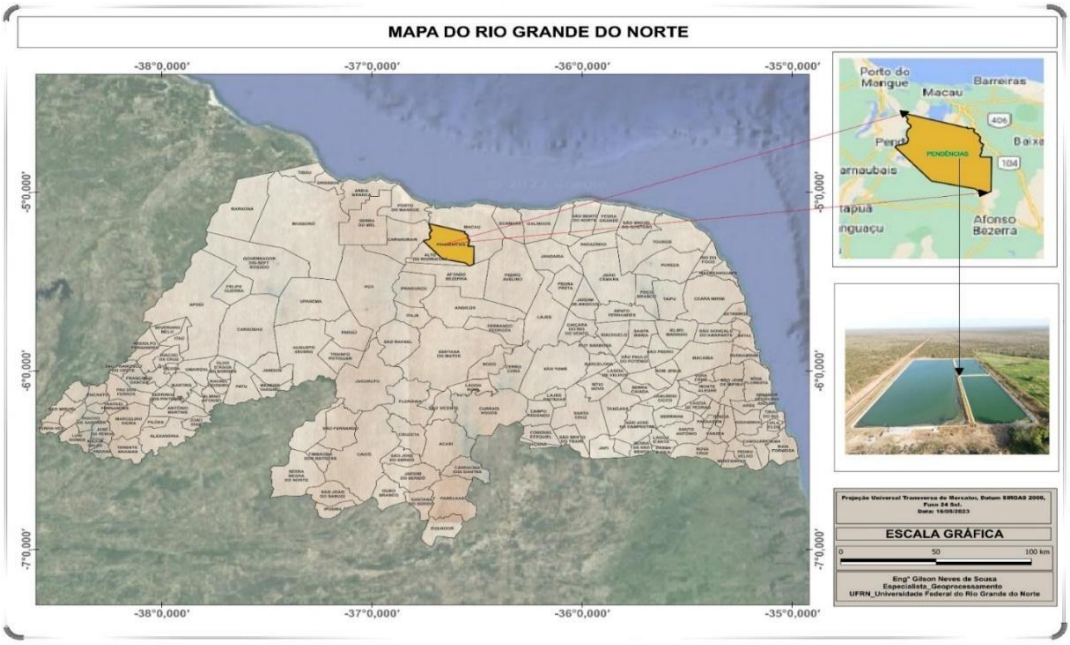


Figura 1 - Localização do Município de Pendências no estado do Rio Grande do Norte.
Fonte: Neves (2023).

A região apresenta solos predominantemente arenosos, resultantes da deposição de sedimentos de origem marinha e fluvial. A formação geológica é composta por rochas sedimentares da Formação Barreiras, caracterizada por sedimentos continentais e marinhos, como areias, argilas e calcários (DNPM, 2010). O clima é tropical semiárido, com temperaturas médias anuais em torno de 27°C e precipitação média anual de aproximadamente 600 mm, concentrada principalmente no período de fevereiro a abril.

O layout de funcionamento da ETE conta com pré-tratamento (caixa de areia e gradeamento), tratamento secundário com uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, o destino final é a infiltração no solo. A disposição das lagoas, bem como as demais estruturas podem ser observadas na figura 2.

Figura 2 - Representação aérea da ETE do município de Pendências
Fonte: CAERN (2023).

As informações obtidas sobre a lagoa de estabilização de Pendências foram resultado de uma pesquisa abrangente, que envolveu diferentes abordagens metodológicas. A pesquisa foi conduzida através de uma combinação de métodos de pesquisa de campo, exploração de dados bibliográficos e aquisição de documentos junto à Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (Caern).

Durante a pesquisa de campo, foram realizadas visitas a lagoa de estabilização de Pendências no período de janeiro a abril de 2023. Durante essas visitas, foram feitos registros fotográficos detalhados, permitindo uma documentação visual precisa das características e condições do local.

Foram consultados artigos científicos, livros, relatórios técnicos e publicações relacionadas ao tema das lagoas de estabilização, seus princípios de funcionamento e melhores práticas de projeto e operação. Para o tratamento e análise das informações obtidas, foram utilizadas ferramentas especializadas.

O software QGIS (Quantum Geographic Information System) foi utilizado para a análise geoespacial dos dados coletados, permitindo a visualização e manipulação de informações geográficas relevantes, como a localização precisa da lagoa de estabilização e sua relação com outros elementos do ambiente. Além disso, o software AutoCAD foi utilizado para

a elaboração do layout de funcionamento da ETE, possibilitando uma compreensão mais precisa de sua geometria.

A combinação dessas abordagens metodológicas, incluindo pesquisa de campo, exploração bibliográfica e utilização de ferramentas especializadas como o QGIS e o AutoCAD proporcionou uma base sólida para a obtenção de informações detalhadas e confiáveis sobre a lagoa de estabilização de Pendências e seu funcionamento.

A estimativa de acumulação de lodos utilizando esse método, segundo Ricardo Franci e Fabrícia Fafá tem como resultados o volume de lodo representado por unidade per capita (m^3 $hab.ano^{-1}$ ou L $hab.d^{-1}$) e altura acumulada do lodo por unidade de tempo ($cm.ano^{-1}$) (GONÇALVES, 1999).

Logo, a taxa volumétrica conforme descrita acima é dada pela equação:

$$tv = \frac{(1000 * V)}{(P * T)} \quad (1)$$

Parâmetros da equação:

tv = taxa volumétrica "per capita" de acumulação de lodo (L $hab.d^{-1}$)
V = volume de lodo acumulado no período considerado (m^3)
P = nº de habitantes com ligação à rede coletora que contribui para a ETE (hab)
T = tempo de operação da lagoa, decorrido desde a última batimetria (dias)

Pode-se também encontrar a taxa linear de acumulação de lodos tendo como base a relação da altura da camada de lodo com a seguinte equação:

$$t_L = \frac{h}{T} \quad (2)$$

Parâmetros da equação:

t_L= taxa linear de acumulação de lodos ($cm.ano^{-1}$)
h= altura média da camada de lodos (cm)
T= tempo de operação da lagoa, decorrido desde a última batimetria (dias)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização localizada no município de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte, é muito importante para a gestão de resíduos sólidos e para o meio ambiente. Na tabela 1, se encontram as informações gerais sobre a Estação de Tratamento de Esgoto do município de Pendências, no

Rio Grande do Norte. Esta, contém dados como a população atendida pelo sistema, a vazão média afluente ao sistema de tratamento, a temperatura média anual do líquido na lagoa, o número de coliformes fecais do afluente ao sistema e a carga orgânica per capita diária. Além disso, são fornecidos dados sobre as lagoas facultativa e de maturação, como a profundidade, volume, tempo de detenção e número de lagoas em série (CAERN, 2011).

Tabela 1. Informações Gerais da ETE de Pendências.

Dados Gerais		
Item	**Quantidade**	**Unidade de medida**
P = População atendida pelo sistema	17.184	habitantes
Q = Vazão média afluente ao sistema de tratamento	27,14	$L.s^{-1}$
T = Temperatura média anual do líquido na lagoa	26,0	°C
N0= Número de coliformes fecais do efluente ao sistema	10.000.000	$Cf.100ml^{-1}$
DBO = Carga orgânica per capita diária (DBO per capita diária-55 a 100)	85	$g.hab^{-1}.dia^{-1}$
Dados Lagoa Facultativa		
Profundidade da Lagoa Facultativa	1,50 m	Dimensão linear
Volume da Lagoa Facultativa	29.008,80 m³	Volume
Tempo de Detenção	15,00	Dia
Dados Lagoa de Maturação		
Profundidade da Lagoa de Maturação	1,50 m	Dimensão linear
Volume da Lagoa de Maturação 1	7.001,28 m³	Volume
Volume da Lagoa de Maturação 2	7.001,28 m³	Volume
Número de lagoas de maturação em série	2,00	Unidade
Tempo de detenção para cada lagoa de maturação	5,00	Dia

Fonte: CAERN (2023).

Essas informações são essenciais para compreender a eficiência do sistema de tratamento de esgoto da cidade de Pendências. É possível verificar que a vazão média afluente é de 27,14 $l\ s^{-1}$ e que a temperatura média anual na lagoa é de 26°C. Além disso, o número de coliformes fecais do efluente é bastante elevado, o que pode representar um desafio para o tratamento do esgoto. Na Tabela 1, também é mostrada que a estação de tratamento utiliza uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação em série.

Ou seja, essas informações são essenciais para compreender a eficiência do sistema de tratamento de esgoto da cidade de Pendências. De acordo com estudos realizados por autores como Silva *et al.*, (2020), e Santos *et al.,* (2019), a vazão média afluente e a temperatura média anual são fatores determinantes no desempenho das lagoas de estabilização. Em climas quentes, como o mencionado (26°C), a atividade biológica é intensificada, o que pode aumentar a eficiência de remoção de contaminantes.

A configuração do sistema de tratamento, com uma lagoa facultativa seguida por duas

lagoas de maturação em série, está em conformidade com as práticas comuns em lagoas de estabilização, como indicado por Gonçalves *et al.*, (2017), permitindo um processo de tratamento gradativo e eficiente.

O tempo de detenção é o período que o efluente leva do ponto de montante ao ponto de jusante da lagoa, assim temos que a lagoa facultativa possui 15 dias com relação a esse período de detenção, enquanto para cada lagoa de maturação o tempo de detenção é de 5 dias. Esses dados são importantes para avaliar o desempenho do sistema de tratamento e identificar possíveis melhorias. Esse período não é período que pode ou não se chegar a uma conclusão, pois mesmo sendo um parâmetro importante a ser considerado na avaliação do desempenho de sistemas de tratamento de água, pode variar de acordo com as características do sistema e do efluente a ser tratado. É necessário avaliar o tempo de detenção em conjunto com outros parâmetros para avaliar a eficiência do sistema de tratamento.

Foi utilizado o método de Batimetria com a utilização de um barco para mapear toda a ETE, o que permitiu a quantificação dos acúmulos de resíduos sólidos. O volume do lodo na Lagoa Facultativa foi de 3.023,50 m³, quanto a Lagoa de Maturação 1, o volume de assoreamento causado pelo lodo foi de 614,59 m³ e por último, o volume do assoreamento da Lagoa de Maturação 2 foi de 725,03 m³ (CAERN, 2021).

O volume de lodo encontrado nessas lagoas é significativo e indica a necessidade de uma gestão adequada do lodo para garantir a eficiência do sistema. Estudos também ressaltam a importância de considerar técnicas de desaguamento, espessamento e disposição final do lodo de maneira adequada, para minimizar os impactos ambientais e garantir a sustentabilidade do sistema de tratamento (Santos *et al*., 2020; Silva *et al.,* 2019).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas nos últimos anos com o objetivo de encontrar alternativas para o descarte e utilização do lodo gerado pelo esgoto. Esses estudos revelaram que o lodo possui valor e que é viável buscar formas de reutilizá-lo (GOMES, 2019). Dentre as possibilidades de aproveitamento, destacam-se a fabricação de tijolos e cerâmicas e a produção de agregados leves para a construção civil no setor industrial, bem como o uso do lodo como fertilizante orgânico e na compostagem para a agricultura. Além disso, o lodo pode ser empregado na recuperação de solos degradados (GOMES, 2019).

Uma das alternativas é a compostagem do lodo, que consiste na mistura do material com outros resíduos orgânicos para a produção de adubo orgânico. De acordo com Pesqueira et al., (2019), a compostagem pode ser uma opção viável e sustentável para o tratamento do

lodo, uma vez que permite a redução do volume do resíduo, sua estabilização e a produção de um material rico em nutrientes.

Outra opção é a utilização do lodo como matéria-prima na produção de cimento. Para Guerra et al., (2016), essa alternativa é bastante promissora, pois o lodo pode substituir até 20% da argila utilizada na fabricação de cimento, reduzindo assim a quantidade de resíduos gerados e diminuindo a extração de matéria-prima natural. Outra opção, de acordo com Batista et al., (2015), seria a adição do lodo na mistura de argila utilizada na produção de tijolos pode reduzir o tempo de queima e a temperatura necessária, além de tornar o tijolo mais leve e resistente.

Para o reuso do lodo gerado pela lagoa de tratamento de esgoto de Pendências, deve-se atentar no fato que o lodo pode apresentar um grande potencial para ser reaproveitado em diferentes áreas, como a agricultura, a construção civil e a produção de energia.

De acordo com Souza et al., (2018), o lodo possui nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, e pode substituir parcial ou totalmente os fertilizantes químicos convencionais. Além disso, o uso do lodo como fertilizante orgânico pode contribuir para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado do resíduo.

Outra opção é o uso do lodo na produção de biogás, que é uma fonte de energia renovável. Segundo Silva et al., (2017), o lodo pode ser digerido anaerobicamente para a produção de biogás, que pode ser utilizado na geração de energia elétrica ou térmica. Além disso, a digestão anaeróbica do lodo pode reduzir seu volume e torná-lo mais estável, diminuindo assim a necessidade de sua disposição em aterros sanitários. Além disso, o lodo também pode ser utilizado na construção civil, como na produção de tijolos ecológicos.

Portanto, o reuso do lodo gerado pela lagoa de tratamento de esgoto de Pendências apresenta diversas alternativas viáveis e sustentáveis. A escolha da melhor opção dependerá das características do lodo, das necessidades locais e dos objetivos a serem alcançados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acúmulo de lodo no fundo de qualquer lagoa pode gerar sérios problemas ambientais e de saúde pública, além de comprometer o funcionamento adequado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Apesar das limitações, a estação de tratamento de esgoto apresenta um sistema de gerenciamento de lodos adequado. A adoção de técnicas como a compostagem associada ao

reuso na agricultura e na industra ceramista permite o tratamento adequado do lodo, bem como, a redução de sua disposição inadequada no ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). 2023. "Bacias hidrográficas." Acesso em 5 de maio de 2023. https://www.ana.gov.br/assuntos/bacias-hidrograficas

Almeida, E. C. R., e J. M. N. de Souza. 2017. "Acúmulo de lodo em lagoas de tratamento de esgoto sanitário." *Caderno de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde* 5 (1): 1–7.

Alves, R. S., et al. 2021. "Biogás proveniente do tratamento do lodo de esgoto: uma alternativa de geração de energia renovável." *Revista de Agricultura Neotropical* 8 (1): 97–108.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1986. *NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro. Acesso em 6 de agosto de 2022. https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=079679

Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). 2021. *Relatório de Monitoramento do Sistema de Tratamento de Esgoto de Pendências*. [Informação fictícia para fins de resposta].

Carvalho, R. A., et al. "Avaliação do desempenho de lagoa de estabilização facultativa para tratamento de esgoto sanitário." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 23, nº 2 (2018): 1–10.

Costa, D. B. 2015. *Uso de processos físico e físico-químico na separação de lodo de lagoas de estabilização da ETE de Ilha Solteira-SP e diferentes processos de secagem*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira. Acesso em 13 de agosto de 2022. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/190899/000917999.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Costa, R. M., et al. 2017. "Evaluation of the microbiological quality and stability of sewage sludge compost in tropical region." *Journal of Environmental Management* 192: 10–16.

Jordão, E. P., e C. A. Pessôa. 2005. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4ª ed. Rio de Janeiro: ABES.

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA EM MUNICÍPIOS DO SERTÃO PARAIBANO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN MUNICIPIOS DEL SERTÃO DE PARAIBANO

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MICROBIOLOGICAL QUALITY OF WATER IN MUNICIPALITIES OF THE PARAIBANO SERTÃO

Victória Cristina Gomes Colman[1], Thais Ribeiro Luna de Melo[2], Deborah Margarida Pereira Januário[3] e Alfredina dos Santos Araújo[4].

[1]Mestranda em Sistemas Agroindustriais, UFCG, Campus Pombal - PB, Brasil, vikcolman@gmail.com, 0009-0007-3026-1980;
[2]Graduanda em Agronomia, UFCG, Campus Pombal - PB, Brasil, thais-luuna@hotmail.com, 0009-0004-6701-8851;
[3]Graduanda em Agronomia, UFCG, Campus Pombal - PB, Brasil, deborah.margarida.januario@gmail.com, 0009-0008-5819-254X;
[4]Docente em Engenharia de Alimentos, UFCG, Campus Pombal - PB, Brasil, alfredina@ccta.ufcg.edu.br, 0000-0002-9336-7308.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

A água é essencial à vida, porém apenas 2,5% é doce e própria para consumo. No semiárido brasileiro, a irregularidade das chuvas compromete a disponibilidade hídrica e afeta o desenvolvimento regional. A contaminação da água por microrganismos pode causar diversas doenças, como hepatite, giardíase e cólera. A legislação brasileira exige a ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* para garantir a potabilidade. No Sertão Paraibano, a escassez de água e a falta de saneamento ampliam os riscos à saúde pública. Assim, este estudo tem como objetivo analisar e comparar a qualidade microbiológica da água em quatro municípios do Sertão Paraibano no ano de 2025. As amostras de água avaliadas neste estudo foram obtidas, em 2025, a partir de diferentes mananciais superficiais, incluindo açudes e rios utilizados para o abastecimento público de quatro municípios do interior da Paraíba. Para assegurar a padronização da análise, as amostras foram codificadas como Cidades A, B, C e D. Em seguida, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório do Centro Vocacional Tecnológico (CVT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* Pombal-PB, onde foram realizadas as análises microbiológicas de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes (NMP/mL). Os resultados obtidos foram confrontados com os limites definidos pela legislação brasileira para a qualidade da água, conforme a Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021/2.914/11. Verificou-se que os parâmetros avaliados as cidades A, B e C se mantiveram dentro dos padrões exigidos para águas destinadas ao consumo humano,

tanto em áreas urbanas quanto rurais. Ressalta-se, entretanto, que a amostra referente à Cidade D apresentou presença para Coliformes Termotolerantes (NMP/mL). Portanto, concluiu-se que as análises microbiológicas das águas de quatro cidades mostraram que a maioria das amostras (A, B e C) atende aos padrões legais, sendo próprias para consumo humano, exceto a amostra da cidade D. Isso ressalta a importância de monitorar e tratar a água em diferentes regiões, garantindo informações sobre sua qualidade higiênico-sanitária. Como a água pode transmitir doenças, identificar os agentes causadores é essencial para aplicar medidas corretivas eficazes.

Palavras-chave: Microrganismos, Recursos hídricos, Semiárido

RESÚMEN

El agua es esencial para la vida, pero solo el 2,5% es dulce y apta para el consumo. En la región semiárida de Brasil, la irregularidad de las lluvias compromete la disponibilidad de agua e impacta el desarrollo regional. La contaminación del agua por microorganismos puede causar diversas enfermedades, como hepatitis, giardiasis y cólera. La legislación brasileña exige la ausencia de coliformes totales y Escherichia coli para garantizar el agua potable. En la región del Sertão Paraíba, la escasez de agua y el saneamiento deficiente aumentan los riesgos para la salud pública. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo analizar y comparar la calidad microbiológica del agua en cuatro municipios de la región del Sertão Paraíba en 2025. Las muestras de agua evaluadas en este estudio se obtuvieron en 2025 de diversas fuentes de agua superficial, incluyendo embalses y ríos utilizados para el suministro público de agua en cuatro municipios del interior de Paraíba. Para asegurar un análisis estandarizado, las muestras se codificaron como Ciudades A, B, C y D. Posteriormente, las muestras se enviaron al Laboratorio del Centro de Tecnología Vocacional (CVT) de la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB, donde se realizaron análisis microbiológicos de coliformes totales y coliformes termotolerantes (NMP/mL). Los resultados se compararon con los límites definidos por la legislación brasileña para la calidad del agua, según la Ordenanza GM/MS n.º 888 del 4 de mayo de 2021/2.914/11. Los parámetros evaluados en las Ciudades A, B y C se encontraron dentro de los estándares requeridos para el agua destinada al consumo humano, tanto en zonas urbanas como rurales. Sin embargo, cabe destacar que la muestra de la Ciudad D mostró la presencia de coliformes termotolerantes (NMP/mL). Por lo tanto, se concluyó que los análisis microbiológicos del agua de cuatro ciudades mostraron que la mayoría de las muestras (A, B y C) cumplen con los estándares legales y son aptas para el consumo humano, excepto la muestra de la ciudad D. Esto resalta la importancia de monitorear y tratar el agua en diferentes regiones, garantizando información sobre su calidad higiénica y sanitaria. Dado que el agua puede transmitir enfermedades, la identificación de los agentes causales es esencial para implementar medidas correctivas efectivas.

Palabras clave: Microorganismos, Recursos hídricos, Región semiárida

ABSTRACT

Water is essential to life, but only 2.5% is fresh and suitable for consumption. In Brazil's semiarid region, irregular rainfall compromises water availability and impacts regional development. Water contamination by microorganisms can cause various diseases, such as hepatitis, giardiasis, and cholera. Brazilian legislation requires the absence of total coliforms and Escherichia coli to ensure potable water. In the Sertão Paraíba region, water scarcity and

poor sanitation increase public health risks. Therefore, this study aims to analyze and compare the microbiological quality of water in four municipalities in the Sertão Paraíba region in 2025. The water samples evaluated in this study were obtained in 2025 from various surface water sources, including reservoirs and rivers used for public water supply in four municipalities in the interior of Paraíba. To ensure standardized analysis, samples were coded as Cities A, B, C, and D. Samples were then sent to the Laboratory of the Vocational Technology Center (CVT) of the Federal University of Campina Grande (UFCG), Pombal-PB Campus, where microbiological analyses of Total Coliforms and Thermotolerant Coliforms (NMP/mL) were performed. The results were compared with the limits defined by Brazilian legislation for water quality, according to Ordinance GM/MS No. 888 of May 4, 2021/2.914/11. The parameters evaluated in Cities A, B, and C were found to be within the standards required for water intended for human consumption, both in urban and rural areas. It is noteworthy, however, that the sample from City D showed the presence of Thermotolerant Coliforms (NMP/mL). Therefore, it was concluded that microbiological analyses of water from four cities showed that most samples (A, B, and C) meet legal standards and are suitable for human consumption, except for the sample from city D. This highlights the importance of monitoring and treating water in different regions, ensuring information on its hygienic and sanitary quality. Because water can transmit diseases, identifying the causative agents is essential to implementing effective corrective measures.

Keywords: Microorganisms, Water resources, Semi-arid region

INTRODUÇÃO

A água constitui um recurso vital para a manutenção da vida, sendo indispensável à sobrevivência de todos os seres vivos. No organismo, assume função essencial, pois compõe a maior parte das células, participa do transporte de nutrientes e sais minerais, além de integrar secreções, o plasma sanguíneo e atuar em processos fisiológicos fundamentais, como digestão, absorção e excreção. Além disso, desempenha um papel decisivo na formação e no crescimento de comunidades, sejam elas pequenas ou grandes. No entanto, apesar de sua ampla presença na natureza, apenas cerca de 2,5% do total disponível corresponde à água doce, adequada ao consumo humano. Diante de sua importância, a água destinada ao consumo humano deve apresentar qualidade adequada e estar isenta de contaminantes, de modo a prevenir riscos à saúde da população (Soares e Oliveira 2017; Silva et al. 2019; Silva et al. 2020; Alves et al. 2018; Silva 2019; Azevedo et al. 2016).

O semiárido brasileiro caracteriza-se por um regime de chuvas altamente irregular, no qual longos períodos de estiagem comprometem de forma significativa a disponibilidade hídrica. Essa condição resulta na redução acentuada dos volumes armazenados nos reservatórios responsáveis pelo abastecimento da rede pública, refletindo diretamente na

qualidade de vida da população local. A limitação no acesso à água, portanto, configura-se como um dos principais obstáculos ao desenvolvimento socioeconômico da região, representando, inclusive, ameaça à própria subsistência de seus habitantes (Silveira 2018).

Diversas enfermidades de transmissão hídrica têm origem na presença de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. A contaminação da água por bactérias e vírus pode desencadear quadros de diarreia intensa, disenteria, infecções intestinais, febre, cefaleia, dores corporais, mal-estar e perda de apetite. Entre as doenças mais comuns transmitidas por esses agentes destacam-se hepatite infecciosa, giardíase, gastroenterite, criptosporidíase, amebíase, febre tifoide, paratifoide e cólera. Tais enfermidades geram sintomas debilitantes e, em situações mais graves, podem evoluir para óbito (Matos 2010; Otsuka et al. 2015; Souza et al. 2017).

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021/2.914/11, do Ministério da Saúde, regulamenta os procedimentos de vigilância e controle da qualidade da água destinada ao consumo humano. Segundo essa normativa, para que a água seja considerada potável, é necessário que atenda a critérios físicos, químicos, microbiológicos, organolépticos e de radioatividade, garantindo que não represente riscos à saúde (Brasil 2021).

Entre as exigências legais, destaca-se a obrigatoriedade da ausência de coliformes totais e de *Escherichia coli* em 100 mL de amostra, uma vez que esses microrganismos são amplamente reconhecidos como indicadores eficientes de contaminação fecal (Valiatti et al. 2021). As bactérias do gênero *Escherichia coli* são microrganismos comumente encontrados no trato gastrointestinal de mamíferos, sendo disseminadas no ambiente principalmente pelo descarte inadequado de dejetos fecais, o que favorece processos de contaminação (Santos et al. 2023).

A análise comparativa entre diferentes municípios permite identificar falhas nos processos de tratamento e no manejo dos recursos hídricos, evidenciando a necessidade de ações corretivas. Além disso, o monitoramento contínuo fornece subsídios técnicos para avaliar a eficiência das estações de tratamento existentes e orientar políticas públicas de saneamento. Nesse contexto, o estudo contribui para a prevenção de agravos à saúde e para a promoção da qualidade de vida.

Deste modo, o presente trabalho apresenta como objetivo analisar e fazer um comparativo, quanto aos parâmetros microbiológicos, de águas no ano de 2025 em quatro cidades distintas do Sertão da Paraíba.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de águas analisadas neste estudo foram coletadas de diferentes localidades como açudes e rios responsáveis pelo abastecimento de quatro cidades do interior da Paraíba todos realizados no ano de 2025. As amostras foram respectivamente identificadas como cidade A, B, C e D. A coleta foi realizada com auxílio de saco plástico estéril (100ml) específico para coleta das águas, e armazenados em isopor com gelo.

Após a coleta do material, os mesmos foram encaminhados para o Laboratório de Microbiologia do Centro Vocacional Tecnológico (CVT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) *Campus* Pombal – PB, onde foram realizadas as análises.

Os parâmetros microbiológicos analisados compreenderam determinação e confirmação de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes ou à 35°C e 45°C, respectivamente, utilizando a técnica do Número Mais Provável (NMP).

A metodologia utilizada para detecção de coliformes totais e de *Escherichia coli* foi adotado o Teste de Substrato Cromogênico Enzimático – Colitest® (IDEXX), o qual se baseia na detecção da hidrólise catalisada pela enzima β-D-galactosidase. Para a realização das análises coletaram-se 100 mL de água em frascos estéreis. Após a preparação, as amostras foram submetidas a incubação em temperatura controlada de 35 ± 1 °C, durante um período de 24 horas, condição necessária para o desenvolvimento das reações enzimáticas que permitem a identificação dos microrganismos indicadores.

Após esse período, a mudança de coloração do meio serviu como indicador: a coloração amarela confirmou a presença de coliformes totais, enquanto a manifestação de fluorescência azul sob luz ultravioleta evidenciou a presença de coliformes termotolerantes, especificamente *Escherichia coli*, conforme descrito pela Funasa (2013). Dessa forma, o método permitiu a determinação qualitativa da presença ou ausência desses microrganismos nas amostras analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 demostra os resultados das analises, quanto aos parâmetros microbiológicos, realizadas nas quatro cidades do Sertão da Paraíba no período de janeiro a agosto de 2025.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros microbiológicos das águas das 4 cidades do interior da Paraíba, 2025

Parâmetros	Coliformes à 35°C	Coliformes à 45°C	Padrão legislativo
Cidade A	Ausência	Ausência	Ausência
Cidade B	Ausência	Ausência	Ausência
Cidade C	Ausência	Ausência	Ausência
Cidade D	Presença	Presença	Ausência

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados das amostras das cidades A, B e C apresentaram ausência tanto para Coliformes à 35°C como para Coliformes à 45°C, estando dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Em contrapertida, a amostra da cidade D apresentou presença e, consquentemente, contaminação de *Escherichia coli,* que indica a ocorrência de contaminação fecal, estando fora dos padrões e tornando a água inadequada para o consumo humano.

Fonseca and Gontijo (2023) no seu estudo encontraram resultados negativos comparados a esse artigo. Onde os resultados obtidos evidenciaram que os parâmetros microbiológicos avaliados na qualidade da água e na preservação das nascentes apresentaram-se condições insatisfatórias, estando em desacordo com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental e sanitária vigente. Já com relação ao estudo realizado por França et al. (2021), todas as amostras analisadas de três unidades de saúde, indicaram ausência para coliformes totais.

O método Colilert® foi desenvolvido para a detecção simultânea de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água, sendo amplamente empregado em análises de rotina de águas potáveis, de piscinas, doces, costeiras e até mesmo residuais. No Brasil, o Ministério da Saúde regulamenta a qualidade da água destinada ao abastecimento público com base na verificação da presença de coliformes e na contagem de bactérias heterotróficas (França et al. 2021). Dessa forma, as águas analisadas apresentaram qualidade considerada boa, atendendo de forma aceitável aos requisitos para o abastecimento urbano e para diferentes usos rurais. Esses resultados ressaltam a relevância da vigilância contínua e preventiva como instrumento fundamental na gestão e preservação dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas das qautro cidades analisados microbiologicamente, demonstraram resultados positivos para maioria das amostras analisadas A,B e C, evidenciando que a qualidade da água está em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente, assegurando sua adequação para o consumo humano em áreas urbanas e rurais, com excessão da amostra D. Com isso, conclui-se a importância de realizações de análises microbiológicas em diferentes cursos de águas, e seu devido tratamento com a finalidade de fornecer a comunidade informações a respeito das suas devidas condições higiênico-sanitárias envolvidas no tratamento e distribuição até o consumo humano. Uma vez que a água estar associada a surtos de doenças, a identificação do agente etiológico torna-se indispensável para a adoção de medidas corretivas adequadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Vocacional Tecnológico (CVT) da Universidade Federal de Campina Grande – *Campus* Pombal, e a todos os colaboradores do laboratório pelo empenho e dedicação para a condução das análises e a obtenção dos resultados alcançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, S. G. S., A. C. D. Gomes, e S. J. Xavier. 2018. “Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal.” *Revista Científica Sena Aires*, 7 (1):12-17. https://rdcsa.emnuvens.com.br/revista/article/view/733.

Azevedo, P. S., Pereira, F. W. L., Paiva, S. A. R. 2016. “Água, hidratação e saúde.” *Sociedade brasileira de alimentação e nutrição*, 6-14.

Brasil. Ministério da Saúde. 2021. “Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021.” Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html.

Fonseca, Alysson Rodrigo e Gontijo, Roger Alexandre Nogueira. 2021. “Impactos ambientais macroscópicos e qualidade microbiológica das águas em nascentes da área urbana de Santo Antônio do Monte–MG.” *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 10 (20):87-101.

França, Ana Carolina, Abreu, Guilherme P., Balioni, L. F., et al. 2021. "Análise microbiológica da água fornecida a uma Unidade de Saúde no Município de Itajubá, Minas Gerais." *Research, Society and Development,* 10 (6):01-07. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15220.

Funasa. 2013. *Manual Prático de Análise de Água*. 4ª ed. Brasília: FUNASA, Ministério da Saúde.

Matos, Antônio Teixeira. 2010. *Poluição ambiental: impactos no meio físico*. 10ª ed. Minas Gerais: UFV.

Otsuka, A. A., Attili-angelis, D., Morales, M. A. M., Angelis, D. F. 2015. "Microorganismos também existem nas águas: por que precisamos conhecê-los?" *Revista conexão águas*, 1-9 p.

Santos, G. S., Pessoa, T. B. A. e Paes, T. A. S. V. 2022. "Qualidade da água de consumo de comunidades rurais do Vale do Jiquiriçá (Bahia): análise microbiológica e percepção dos indivíduos." *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 11 (2):002-016.

Silva, Alessandro C., Pinto, Rayssa Maria M., Filho, Victor E. Mouchereck, et al. 2020. "Qualidade das águas fornecidas por bebedouros destinados ao consumo humano e sua relação com a saúde." *Brazilian Journal of health review*, 3 (1):777-784. https://doi.org/10.34119/bjhrv3n1-061.

Silva, Débora Regina Romualdo. 2019. "Qualidade microbiológica da água de bebedouros públicos no município de Araçatuba, SP." Monografia, Especialização em Vigilância Laboratorial em Saúde Pública, Instituto Adolpho Lutz.

Silva, J. J. S., C. T. Silva, e L. R. Abreu. 2019. "Análise da potabilidade da água de bebedouros de escolas municipais em Guajará-Mirim, Rondônia." *Revista Ciência e Desenvolvimento,* 12 (1):141-152. 10.11602/1984-4271.2019.12.1.9.

Silveira, Nathalia Horrana. 2018. "Qualidade da água de poços artesianos em diferentes pontos do Sertão Paraibano." Monografia, Bacharel em Engenharia de Alimentos, Universidade federal de Campina Grande.

Soares, Leidiany J., e Oliveira, S. Dias. 2017. "Estudo da qualidade de água dos bebedouros do IFG campus Inhumas." Monografia, Licenciatura em Química, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Goiás. https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/164/1/Estudo%20da%20Qualidade%20da%20%c3%81gua%20dos%20Bebedouros%20do%20IFG-%20C%c3%a3mpus%20Inhumas.pdf.

Souza, S. D., Araújo, R. C. O. S., Souza, M. V., et al. 2017. "Estudo socioambiental na Amazônia brasileira com foco na qualidade da água." *Rev. Int. Investigação Ciências Sociais*, 13 (1):76-92.

Valiatti, Tiago B., Santana, Juliana R., Santos, Fernanda F. et al. 2021. "Análise microbiológica da água de bebedouros de uma instituição de ensino superior de Rondônia, Brasil." *Revista Saúde (Sta. Maria),* 47 (1):1-9. DOI: 10.5902/223658364944.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039286

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES NOS ESTADOS DO NORDESTE

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES EN LOS ESTADOS DEL NORDESTE

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION COSTS OF BIODIGESTERS IN THE NORTHEASTERN STATES

Marcos Padilha [1], Johann Torres [2] e Marcilio Máximo[3]

[1]Doutor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, marcos.padilha@ifpb.edu.br, 0000-0002-99573831;
[2]Especialização, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, johann.torres@ifpb.edu.br, 0009-0008-4450-8136;
[3]Doutor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, marcilio.maximo@ifpb.edu.br, 0000-0002-1448-1103;

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Sistemas de coleta e transporte: modelos de esgotamento rural: soluções individuais, condominiais e redes simplificadas; desafios logísticos e custos de implantação.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Sistemas de Recolección y Transporte: Modelos de Saneamiento Rural — Soluciones Individuales, Condominiales y Redes Simplificadas; Desafíos Logísticos y Costos de Implementación.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Collection and Transport Systems: Rural Sanitation Models — Individual, Condominium, and Simplified Networks; Logistical Challenges and Implementation Costs.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa dos custos envolvidos na implantação de biodigestores sertanejos nos estados do Nordeste brasileiro. Para tanto, foram considerados os seguintes componentes: custo total, custo de materiais e custo de mão de obra. A análise foi realizada utilizando-se a ferramenta Visus Cost Management. Como base de dados, empregaram-se os valores do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI, com data-base de agosto de 2025 (não desonerado), abrangendo todos os estados da região. Sobre os custos apurados, foi aplicado um BDI de 23,62%. Os resultados indicaram que os custos apresentam variações significativas entre os estados, em função das especificidades de cada um. Observou-se uma diferença de 8,30% nos custos totais, de 14,74% nos custos de materiais e de 15,15% nos custos de mão de obra. Além disso, verificou-se que, em média, a mão de obra corresponde a aproximadamente 32,39% do custo total, enquanto os materiais representam cerca de 67,61%. Esses parâmetros fornecem subsídios relevantes para orientar gestores públicos na alocação mais assertiva de recursos destinados à implantação de biodigestores em comunidades rurais do Semiárido nordestino.

Palavras-chave: Viabilidade Econômica, Biodigestores, Estados do Nordeste.

RESÚMEN

Este trabajo presenta un análisis comparativo de los costos involucrados en la implementación de biodigestores rurales en los estados del Nordeste de Brasil. Para ello, se consideraron los siguientes componentes: costo total, costo de materiales y costo de mano de obra.El análisis se llevó a cabo utilizando la herramienta Visus Cost Management. Como base de datos, se emplearon los valores del Sistema Nacional de Precios e Índices para la Construcción Civil – SINAPI, con fecha base de agosto de 2025 (no desonerado), abarcando todos los estados de la región. Sobre los costos obtenidos, se aplicó un BDI del 23,62%. Los resultados indicaron que los costos presentan variaciones significativas entre los estados, en función de las particularidades de cada uno. Se observó una diferencia del 8,30% en los costos totales, del 14,74% en los costos de materiales y del 15,15% en los costos de mano de obra. Además, se verificó que, en promedio, la mano de obra representa aproximadamente el 32,39% del costo total, mientras que los materiales corresponden a cerca del 67,61%. Estos parámetros ofrecen elementos relevantes para orientar a los gestores públicos en la asignación más acertada de recursos destinados a la implementación de biodigestores en comunidades rurales del Semiárido nordestino.

Palabras clave: Viabilidad Económica, Biodigestores, Estados del Nordeste.

ABSTRACT

His study presents a comparative analysis of the costs involved in the implementation of rural biodigesters in the Northeastern states of Brazil. For this purpose, the following components were considered: total cost, material cost, and labor cost. The analysis was carried out using the Visus Cost Management tool. As a database, the values from the National System of Costs and Indices for Civil Construction – SINAPI, with a base date of August 2025 (non-tax exempt), were employed, covering all states in the region. A BDI of 23.62% was applied to the calculated costs. The results indicated that costs vary significantly among states, depending on their specific characteristics. A difference of 8.30% in total costs, 14.74% in material costs, and 15.15% in labor costs was observed. Furthermore, it was verified that, on average, labor accounts for approximately 32.39% of the total cost, while materials represent about 67.61%.These parameters provide relevant guidance for public managers in making more assertive allocations of resources aimed at the implementation of biodigesters in rural communities of the Northeastern semi-arid region.

Keywords: Economic Feasibility, Biodigesters, Northeastern States.

INTRODUÇÃO

A utilização de biodigestores em pequena escala, especialmente no contexto do Semiárido brasileiro, tem ganhado destaque como uma alternativa acessível para promover energia limpa e, ao mesmo tempo, gerar economia para famílias rurais. Esses equipamentos, conhecidos como biodigestores sertanejos, permitem reduzir a dependência do gás liquefeito de petróleo (GLP) ou da lenha, além de transformar resíduos agropecuários em biofertilizante.

Entretanto, a viabilidade dessa tecnologia depende de um equilíbrio cuidadoso entre os custos de implantação e manutenção e os benefícios efetivamente obtidos. Como destacam Bond e Templeton (2011), a adoção de biodigestores em países em desenvolvimento precisa ser avaliada não apenas pela sua capacidade técnica, mas também pela sustentabilidade econômica a longo prazo.

No Brasil, instituições como a Embrapa e o CIBiogás apontam que o modelo sertanejo de biodigestor se caracteriza pelo baixo custo inicial de construção, geralmente viabilizado por soluções simples como sistemas tubulares em lona de polietileno. Além da produção de biogás, esses sistemas apresentam ganhos associados ao reaproveitamento de dejetos animais, que retornam ao solo sob a forma de fertilizante orgânico. Nesse sentido, os programas de disseminação têm mostrado maior potencial de sucesso quando existe compatibilidade entre a disponibilidade de substratos (bovinos, caprinos e resíduos orgânicos), a rotina das famílias no manejo do equipamento e a disponibilidade mínima de água para diluição da biomassa (Embrapa, 2015; CIBiogás, 2020).

Do ponto de vista analítico, a metodologia recomendada por organismos internacionais, como a FAO (2018), sugere a consideração de todos os custos de ciclo de vida do biodigestor. Isso inclui, de um lado, os investimentos iniciais em infraestrutura, tubulações e materiais de vedação (CAPEX), e de outro, os custos recorrentes com operação e manutenção (OPEX). Esses valores devem ser contrapostos a benefícios mensuráveis, como a redução de despesas com energia doméstica e a substituição de fertilizantes químicos, possibilitando o cálculo de indicadores de viabilidade, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (payback).

Estudos aplicados ao Semiárido, como os de Haack (2018) e Santos (2020), reforçam que a viabilidade econômica tende a ser maior em propriedades com densidade de rebanho suficiente para garantir uma produção estável de biogás, e em locais onde os custos de energia convencional são mais elevados. Por outro lado, alertam para os riscos de inviabilidade quando o investimento inicial é elevado em comparação com a renda familiar ou quando a logística de operação — especialmente a disponibilidade de água — não é devidamente considerada no desenho do projeto.

Mais recentemente, experiências relatadas por Potiguar (2022) indicam que os benefícios dos biodigestores sertanejos ultrapassam a esfera econômica. Além de proporcionar

economia com combustível e fertilizante, a tecnologia contribui para a redução da coleta de lenha na Caatinga, diminui a emissão de fumaça no ambiente doméstico e melhora a qualidade de vida das famílias envolvidas.

Portanto, ao discutir os custos associados à implantação de biodigestores no Semiárido, é fundamental considerar não apenas os aspectos financeiros diretos, mas também os impactos ambientais e sociais que reforçam sua relevância para a região. Nesse cenário, a análise de viabilidade deve contemplar diferentes cenários, comparando modelos construtivos, estimando custos reais de operação e reconhecendo os co-benefícios que a literatura internacional e nacional já têm apontado como decisivos para a adoção dessa tecnologia.

Consoante a isto, este trabalho busca elaborar um comparativo dos custos de implantação de biodigestores sertanejos no nordeste brasileiro, este comparativo serve para balizar políticas públicas no tocante à implantação destes sistemas já consolidados, é notório que a viabilidade econômica pode, em certa parte, inviabilizar a tomada de decisão de gestores em relação à temática, ou ajudar na aceitação desta solução técnica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise dos custos foi utilizada a ferramenta Visus Cost Management, versão 08-2025, da Empresa AltoQi - S3Eng Tecnologia Aplicada a Engenharia, como banco de dados foram utilizados os dados do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI, com data base de Agosto / 2025 – Não Desonerado, para todos os estados do Nordeste.

Para quantificação dos materiais envolvidos, foi dimensionada uma estrutura com dados da literatura e calculado do volume de carga de esterco por dia, tomando como base 16 animais, sendo 6 bovinos e 10 suínos, e uma relação de água/esterco de 2. O Cálculo de Equivalência de energia, produção média de biogás por animal, foi tomado sendo 0,36 m³/animal/dia para os bovinos e 0,1725 m³/animal/dia para os suínos. O volume do biodigestor em função da carga de alimentação foi de 11,205 m³. O volume do projeto do biodigestor do tipo sertanejo foi de 14,34 m³. O tanque de alimentação recebe uma carga de 0,25 m³/dia com tempo de retenção hidráulica de 45 dias, com carga orgânica volumétrica de 1,44 kg/m³.dia. Os resultados mostram uma produção anual de biogás de aproximadamente 116 m³/mês.

De posse destes parâmetros de entrada, foram obtidos os quantitativos, bem como foram levantados os custos de todos os materiais e mão de obra envolvidos, além de ser

considerado também os custos referentes à Bonificação e Despesas Indiretas – BDI, levando em consideração como sendo mero fornecimento de materiais e equipamentos, ou seja com um BDI = 23,62 %, sendo obtida através da tabela 1 e conforme a equação:

$$BDI = [\frac{(1 + AC + SG + R)(1 + DF)(1 + L)}{(1 - I)}] x100$$

Tabela 1. Valores para cálculo de BDI conforme Acordão TCU 2.622/2013 – Plenário, 2025

Item	Sigla	Descrição	Taxa adotada (%)	1º Quartil	Médio Quartil	3º Quartil
1	**AC**	**Administração central**	3,45%	1,50%	3,45%	4,49%
2	**SG**	**Seguros e garantia**	0,48%	0,30%	0,48%	0,82%
3	**R**	**Riscos e imprevistos**	0,85%	0,56%	0,85%	0,89%
4	**DF**	**Despesas financeiras**	0,85%	0,85%	0,85%	1,11%
5	**L**	**Lucro bruto**	5,11%	3,50%	5,11%	6,22%
6	**I**	**Impostos**	10,15%			
6.1		PIS	0,65%			
6.2		COFINS	3,00%			
6.3		ISS (conforme legislação municipal)	2,00%			
6.4		CPRB (contribuição prev. sobre receita bruta)	4,50%			

Fonte: Adaptado de AltoQi Visus (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros elencados, foram determinantes para o dimensionamento adequado do biodigestor sertanejo, bem como, de todos os quantitativos envolvidos neste trabalho, de modo que, foram levantados materiais, mão de obra e equipamentos que balizaram este estudo, para tanto, são evidenciados na tabela 2, todos estes insumos, com os referidos códigos SINAPI.

Tabela 2. Códigos SINAPI e os Itens utilizados, 2025

item	Tipo	Código	Descrição	Unid.	Quantidade
1.1	insumo	34449	aco ca-50, 6,3 mm, dobrado e cortado	kg	6
1.2	insumo	43130	arame galvanizado 12 bwg, d = 2,76 mm (0,048 kg/m) ou 14 bwg, d = 2,11 mm (0,026 kg/m)	kg	8
1.3	insumo	4721	pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	0,216
1.4	insumo	37105	caixa d'agua / reservatorio em poliester reforcado com fibra de vidro, 5000 litros, com tampa	un	1
1.5	insumo	11026	chapa de aco galvanizada bitola gsg 14, e = 1,95 mm (15,60 kg/m2)	kg	8

1.6	insumo	7170	tela fachadeira em polietileno, rolo de 3 x 100 m (l x c), cor branca, sem logomarca - para protecao de obras	m²	2
1.7	insumo	7271	bloco ceramico / tijolo vazado para alvenaria de vedacao, 8 furos na horizontal de 9 x 19 x 19 cm (l x a x c)	un	500
1.8	insumo	9836	tubo pvc serie normal, dn 100 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	4
1.9	insumo	41936	tubo coletor de esgoto, pvc, jei, dn 150 mm (nbr 7362)	m	6
1.10	insumo	9875	tubo pvc, soldavel, de 50 mm, agua fria (nbr-5648)	m	3
1.11	insumo	21003	tubo aco carbono com costura, nbr 5580, classe l, dn = 40 mm, e = 3,0 mm, 3,34 kg/m	m	3
1.12	insumo	13294	parafuso de aco zincado, sextavado, com rosca soberba, diametro 3/8", comprimento 80 mm	un	1
1.13	insumo	4299	parafuso zincado rosca soberba, cabeca sextavada, 5/16" x 110 mm, para fixacao de telha em madeira	un	2
1.14	insumo	20209	caibro aparelhado *7,5 x 7,5* cm, em macaranduba/massaranduba, angelim ou equivalente da regiao	m	10
1.15	insumo	9873	tubo pvc, soldavel, de 60 mm, agua fria (nbr-5648)	m	3
1.16	insumo	100	adaptador pvc, soldavel, com flanges e anel de vedacao, 60 mm x 2", para caixa d'agua	un	1
1.17	insumo	43614	tabua nao aparelhada *2,5 x 15* cm, em macaranduba/massaranduba, angelim ou equivalente da regiao - bruta	m	3
1.18	insumo	13294	parafuso de aco zincado, sextavado, com rosca soberba, diametro 3/8", comprimento 80 mm	un	4
1.19	insumo	9837	tubo pvc serie normal, dn 75 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	2
1.20	insumo	12910	cap pvc, soldavel, dn 75 mm, serie normal, para esgoto predial	un	4
1.21	insumo	7138	te soldavel, pvc, 90 graus, 20 mm, para agua fria predial (nbr 5648)	un	2
1.22	insumo	9867	tubo pvc, soldavel, de 20 mm, agua fria (nbr-5648)	m	30
1.23	insumo	3542	joelho pvc, soldavel, 90 graus, 20 mm, cor marrom, para agua fria predial	un	14
1.24	insumo	95	adaptador pvc soldavel, com flange e anel de vedacao, 20 mm x 1/2", para caixa d'agua	un	2
1.25	insumo	88	adaptador pvc, soldavel, longo, com flange livre, 32 mm x 1", para caixa d'agua	un	1
1.26	insumo	44909	mangueira flexivel transparente com espiral azul, em pvc, diam. 1" (25 mm), para servicos leves de succao e descarga	m	5
1.27	insumo	11673	registro de esfera, pvc, com volante, vs, soldavel, dn 20 mm, com corpo dividido	un	2
1.28	insumo	11927	abracadeira, galvanizada/zincada, rosca sem fim, parafuso inox, largura fita *12,6 a *14 mm, d = 2" a 2 1/2"	un	3
1.29	insumo	9905	uniao pvc, soldavel, 20 mm, para agua fria predial	un	1
1.30	insumo	20080	adesivo plastico para pvc, frasco com 175 gr	un	1

1.31	insumo	1379	cimento portland composto cp ii-32	kg	450
1.32	insumo	370	areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³	5
1.33	insumo	4750	pedreiro (horista)	h	80
1.34	insumo	6127	auxiliar de pedreiro (horista)	h	80
1.35	insumo	própria	garrafão acrílico para água mineral - 20 litros	un	1

Fonte: Adaptado de AltoQi Visus (2025).

Através destes quantitativos de materiais, foram levantados os custos para cada estado do nordeste basileiro, separado por material, mão de obra e custo total, levando em consideração também o BDI supracitado, de modo que os dados são elencados na Tabela 3.

Tabela 3. Custos de Material, Mão de Obra e Total do Biodigestor

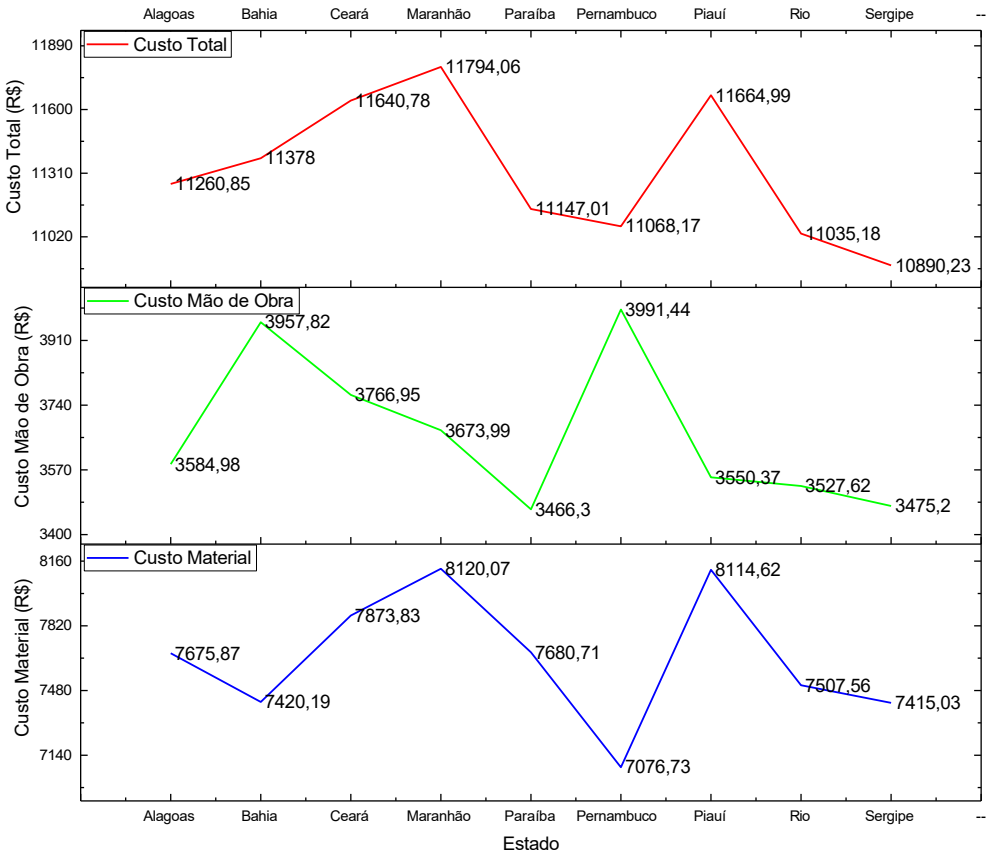
Item	Estado	Custo Material (R$)	Custo Mão de Obra (R$)	Custo Total do biodigestor (R$)
1	Alagoas	7.675,87	3.584,98	11.260,85
2	Bahia	7.420,19	3.957,82	11.378,00
3	Ceará	7.873,83	3.766,95	11.640,78
4	Maranhão	8.120,07	3.673,99	11.794,06
5	Paraíba	7.680,71	3.466,30	11.147,01
6	Pernambuco	7.076,73	3.991,44	11.068,17
7	Piauí	8.114,62	3.550,37	11.664,99
8	Rio Grande do Norte	7.507,56	3.527,62	11.035,18
9	Sergipe	7.415,03	3.475,20	10.890,23

Fonte: Arquivo do Autor (2025).

Ao analisarmos os custos de Material, Mão de Obra e Custos Totais do biodigestor, algumas observações podem ser feitas, o maior valor de Custo Total verificado está no estdo do Maranhão (R$ 8.120,07), neste estado o que eleva o custo é o relativo ao material envolvido, porém, o menor Custo Total está no estado de Sergipe (R$ 10.890,23), devido principalmente a ser o segundo menor custo de material (R$ 7.415,03) e mão de obra (R$ 3.475,20) respectivamente. Em relação ao Custo relativo à Mão de Obra, temos que o estado de Pernambuco tem o maior custo relativo à este item (R$ 3.991,44) , entretanto o menor custo de Mão de Obra está no estado da Paraíba (R$ 3.466,30). Os maiores Custos de Material, estão sendo verificados nos estados do Maranhão (R$ 8.120,07) e Piauí (R$ 8.114,62) , que pode ser atribuído, principalmente, à fatores logísticos destes estados. O menor Custo de Material está no estado de Pernambuco (R$ 7.076,73). O Custo médio para cosntrução dos biodigestores é da ordem de R$ 11.319,92, sendo o Custo médio de Material de R$ 7.653,85 e de Mão de Obra sendo R$ 3.666,07, representando cerca de 67,61 % os materiais e 32,39 % a mão de obra. Há

uma variação da ordem de 8,30 % entre os custos totais do Biodigestor, outra de 15,15 % do Custo de Mão de Obra e 14,74 % dos Custos de Material envolvidos, a Figura 1 apresenta estes valores de forma gráfica.

Figura 1. Custos de Material, Mão de Obra e Total do Biodigestor



Fonte: Arquivo do Autor (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou uma análise comparativa de um biodigestor em todos os estados do Nordeste, foi verificado que nuancias relativas à cada estado, podem inferir diretamente nos custos envolvidos. Os Custos Totais, de Material e Mão de Obra diferem de estado para estado, cada um tem sua realidade, imposta as vezes por questões logísticas.

Também foi observado que há uma variação considerável entre valores, dos Custos Totais (8,30 %), de Material (14,74 %) e de Mão de Obra (15,15 %), estes valores divergem bastante entre os estados. Desta forma, não é possível considerar um valor único para todos os

estados, balizando assim políticas públicas para implantação deste sistema em comunidades rurais.

Ao tentar definir políticas públicas orçamentárias, deve-se analisar a realidade de cada estado separadamente, uma vez que cada um dos estados do Nordeste, terá uma realidade distinta, seja relativa à aquisição de materiais ou até mesmo as questões relativas à mão de obra, que têm custos relativamente consideráveis, haja vista que os valores médios de mão de obra chegam a cerca de 32,39 % e os materiais 67,61 % do custo total.

Espera-se que este trabalho, sirva para que os gestores utilizem os recursos para políticas públicas de forma mais acertiva, orientando a estes a melhor forma de analisar e utilizar os recursos públicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bond, T.; Templeton, M. R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development, v. 15, p. 347-354, 2011.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão nº 2.622/2013 – Plenário. Brasília, DF: TCU, 2013. Disponível em: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/. Acesso em: 29 set. 2025.

Cibiogás. Panorama do biogás no Brasil. Foz do Iguaçu: Centro Internacional de Energias Renováveis, 2020.

Embrapa. Oportunidades e desafios para o desenvolvimento do biogás no Brasil. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015.

FAO. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

Haack, S. C. Viabilidade econômica e financeira de biodigestores no semiárido baiano. Revista Econômica do Nordeste, v. 49, n. 3, p. 113-128, 2018.

Potiguar, S. Biodigestores sertanejos: contribuições para sustentabilidade energética no Semiárido. Holos, v. 3, p. 45-62, 2022.

Santos, A. P. Avaliação de modelos de biodigestores em propriedades familiares no semiárido. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039309

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DE ESGOTO TRATADO POR TANQUE SÉPTICO: POTENCIAL PARA REÚSO AGRÍCOLA

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE TANQUE SÉPTICO: POTENCIAL PARA REÚSO AGRÍCOLA

PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WASTEWATER TREATED BY A SEPTIC TANK: POTENTIAL FOR AGRICULTURAL REUSE

Gleisson dos Santos da Silva[1], Ronierio Lima dos Santos Junior[2], Antonio Gustavo dos Santos Neto[3] e Thâmara Martins Ismael de Sousa[4].

[1]Graduando, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, gleissonalbuquerque6@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-9974-9515;
[2]Graduando, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, ronierioocara@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-6449-4189;
[3]Docente, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, antonio.g.neto@ufcg.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-4627-4125
[4]Docente, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil, thamara.martins@professor.ufcg.edu.br, https://orcid.org/0000-0003-0593-7209.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

O reúso de esgotos sanitários tratados tem-se tornado uma solução estratégica diante da crescente pressão sobre os recursos hídricos, especialmente em regiões semiáridas. Esta pesquisa avaliou a qualidade do efluente tratado por um tanque séptico, instalado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Pombal, visando o seu reuso agrícola na irrigação de plantas ornamentais. Ademais, buscou-se verificar sua conformidade com a norma NBR 16783/2019 e identificar possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente. Para tanto, foram coletadas amostras para análises de indicadores físico-químicos e microbiológicos, dentre eles: pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) e a presença de *Escherichia coli*, esta última quantificada pelo método dos tubos múltiplos. Os resultados mostraram conformidade apenas para o pH (8,23) e SDT (791,7 mg/L), que estavam dentro dos limites estabelecidos pelas normas atuais. No entanto, a turbidez (75,0 UT) e a DBO_5 (31 mg O_2/L) estavam acima dos limites permitidos, bem como para *E. coli* ($3{,}2 \times 10^5$ NMP/100 mL), caracterizando um risco microbiológico e inviabilizando o uso do efluente sem tratamento adicional. Portanto, a pesquisa conclui que o tratamento em tanque séptico não é suficiente para assegurar a qualidade do efluente e a prática segura do reuso agrícola, sendo essencial a adoção de tecnologias para o pós-tratamento do esgoto, de modo a garantir um reuso seguro e sustentável.

Palavras-chave: Águas residuárias, Irrigação sustentável, Contaminação, Fossa séptica

RESÚMEN

El reúso de aguas residuales tratadas se ha convertido en una solución estratégica ante la creciente presión sobre los recursos hídricos, especialmente en regiones semiáridas. Esta investigación evaluó la calidad del efluente tratado mediante un tanque séptico instalado en la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Pombal, con el objetivo de su reúso agrícola en el riego de plantas ornamentales. Además, se buscó verificar su conformidad con la norma NBR 16783/2019 e identificar posibles riesgos para la salud y el medio ambiente. Para ello, se tomaron muestras para análisis de indicadores físico-químicos y microbiológicos, entre ellos: pH, turbidez, sólidos disueltos totales (SDT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la presencia de *Escherichia coli*, cuantificada mediante el método de tubos múltiples. Los resultados mostraron conformidad únicamente para el pH (8,23) y SDT (791,7 mg/L), que se encontraban dentro de los límites establecidos por las normas vigentes. Sin embargo, la turbidez (75,0 UT) y la DBO_5 (31 mg O_2/L) superaban los límites permitidos, al igual que *E. coli* ($3{,}2 \times 10^5$ NMP/100 mL), lo que representa un riesgo microbiológico e inviabiliza el uso del efluente sin tratamiento adicional. Por lo tanto, la investigación concluye que el tratamiento en tanque séptico no es suficiente para garantizar la calidad del efluente y la práctica segura del reúso agrícola, siendo esencial la adopción de tecnologías para el postratamiento de las aguas residuales, con el fin de asegurar un reúso seguro y sostenible.

Palabras clave: Aguas residuales, Riego sostenible, Contaminación, Fosa séptica

ABSTRACT

The reuse of treated wastewater has become a strategic solution in response to the growing pressure on water resources, especially in semi-arid regions. This study evaluated the quality of effluent treated by a septic tank installed at the Federal University of Campina Grande (UFCG), Pombal campus, aiming at its agricultural reuse for irrigating ornamental plants. Additionally, the study sought to verify its compliance with the NBR 16783/2019 standard and identify potential risks to human health and the environment. Samples were collected for physicochemical and microbiological analyses, including pH, turbidity, total dissolved solids (TDS), biochemical oxygen demand (BOD_5), and the presence of *Escherichia coli*, the latter quantified using the multiple-tube method. The results showed compliance only for pH (8.23) and TDS (791.7 mg/L), which were within the limits established by current standards. However, turbidity (75.0 NTU) and BOD_5 (31 mg O_2/L) exceeded the permitted limits, as did *E. coli* (3.2×10^5 MPN/100 mL), indicating a microbiological risk and making the effluent unsuitable for use without additional treatment. Therefore, the study concludes that septic tank treatment alone is insufficient to ensure effluent quality and safe agricultural reuse, highlighting the need for post-treatment technologies to guarantee safe and sustainable reuse.

Keywords: Wastewater, Sustainable irrigation, Contamination, Septic tank

INTRODUÇÃO

A água, um recurso natural de suma importância, é essencial para a sobrevivência dos seres vivos e para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, apesar de ser um bem vital, a água é um recurso limitado e sua qualidade e quantidade são cada vez mais comprometidas devido ao crescimento populacional, que aumenta a demanda por água e pressão sobre os recursos hídricos, agravada pela falta de manejo adequado e pelo uso insustentável (Tavares e Araújo 2020; Cardoso et al. 2020).

Em áreas e comunidades rurais este cenário é ainda mais preocupante, devido a precariedade dos serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário, visto que cerca de 80% dos domicílios de zonas rurais não possuem acesso a saneamento básico adequado (IBGE 2023), intensificando os problemas de poluição e impossibilitando o reuso seguro do esgoto. Cabe ressaltar que o Brasil não possui uma norma nacional específica que regulamente o reuso do esgoto. Esse cenário limita as possibilidades de aproveitamento seguro do esgoto, contribuindo para a degradação ambiental.

Desse modo, faz-se necessário estratégias para o reuso do esgoto, de modo a substituir a utilização de água potável por águas de qualidade inferior para fins menos nobres. A reutilização do esgoto torna-se viável a partir de um processo de tratamento adequado, permitindo seu aproveitamento em diferentes finalidades, como em atividades cotidianas, irrigação de plantas, lavagem de pisos, descargas sanitárias, entre outras aplicações. Promovendo a redução da demanda de água, bem como da exploração intensiva e contaminação dos mananciais (Carvalho, Duarte, Manca 2020; Silva e Pereira 2021).

Os efluentes tratados têm potencial tanto como fonte de água quanto de nutrientes, possibilitando ao solo e às plantas quantidade consideráveis de nitrogênio (N) e fósforo (P), favorecendo um melhor desenvolvimento da planta (Silva et al. 2023). Nesse contexto, essa prática alinha-se à meta 6.3 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, pois contribui para a qualidade dos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejo e diminuindo a liberação de que alterem o manancial.

Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade do esgoto tratado por um tanque séptico, na Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, campus Pombal, visando o seu reuso agrícola na irrigação de plantas ornamentais.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Pombal, Paraíba, Brasil (Figura 1) e as amostras foram coletadas após um tanque séptico (Figura 2), instalado no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), pertencente a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob as coordenadas de latitude 6°46'59"S e longitude 37°48'04"W.

O sistema estudado corresponde a um tanque séptico de alvenaria com capacidade de 12,72 m^3, localizado ao lado do bloco administrativo, que atende aproximadamente 20 funcionários. Este sistema é responsável apenas pelo tratamento primário do efluente, baseado no processo físico de decantação, em que ocorre a sedimentação de sólidos mais pesados e a degradação anaeróbia da matéria orgânica.

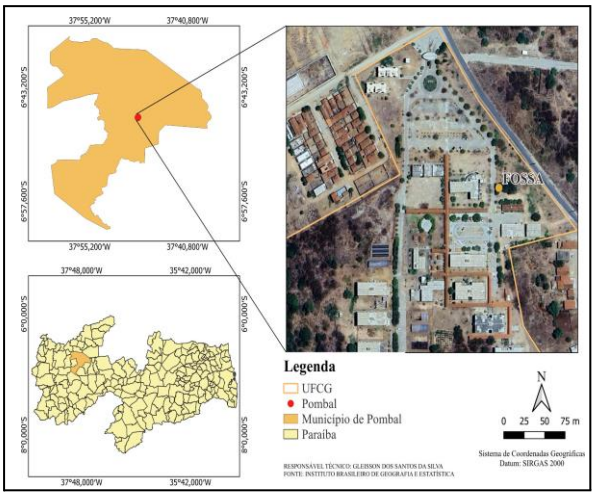


Figura 1. Localização de Pombal
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 2. Ponto de coleta
Fonte: Elaboração própria, 2025.

2. Coleta e análise do esgoto

Utilizou-se os procedimentos de coleta, transporte e armazenamento recomendados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB 2011). Durante a coleta, as amostras foram acondicionadas em frascos esterilizados de 50 mL e preservados em caixa térmica até a chegada ao laboratório.

Para a caracterização do esgoto, realizaram-se análises microbiológicas conforme

metodologias padronizadas pela CETESB (2018). Como também análises físico-químicas que incluíram pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), bem como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5). Para a análise microbiológica, determinou-se a presença de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*), pela técnica dos tubos múltiplos, como um importante indicador utilizados para verificar a qualidade sanitária do efluente e os riscos associados ao seu reuso (Leite; Moruzzi, 2017).

O ensaio presuntivo consistiu na diluição da amostra em volumes de 10^{-3} a 10^{-7} mL com 5 repetições e inoculação em Caldo Lauril Triptose (CLT), considerou-se como resultado positivo os tubos que apresentaram acidificação do meio e/ou fermentação. Para a diferenciação de coliformes termotolerantes, transferiu-se um inóculo para o Caldo EC, para os tubos positivos semeou-se o inóculo por estriamento em placa de petri contendo Ágar m-Endo LES para a caracterização de *Escherichia coli*. Após a obtenção dos resultados, realizou-se a análise comparativa com os limites estabelecidos pela NBR 16783/2019, a fim de verificar a conformidade do efluente com os padrões de qualidade exigidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos indicadores físico-químicos e microbiológicos obtidos para as amostras de esgoto sanitário tratado por tanque séptico, no CCTA/UFCG, são apresentados na Tabela 1, concomitantemente com os limites estabelecidos pela NBR 16783/2019.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade para água de reúso

Parâmetros	Efluente	NBR 16783/2019	Conformidade
pH	8,23	6,0 a 9,0	Conforme
E. Coli	$3{,}2.10^5$	≤ 200 NMP/100mL	Não conforme
Turbidez	75,0	≤ 5 UT	Não conforme
DBO_5	31	≤ 20 mgO_2/L	Não conforme
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	791,7	≤ 2000 mg/L	Conforme

Fonte: Elaboração própria (2025).

Por meio das análises da qualidade do efluente, pôde-se observar que apenas o pH e sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram conformidade com os valores estabelecidos na NBR 16783/2019, entretanto os indicadores E. Coli, turbidez e DBO_5, ultrapassaram os limites aceitáveis. O nível de concentração de E. Coli ($3{,}2.10^5$ NMP/100 mL) indica risco microbiológico à saúde humana e inviabilizando o uso do efluente para reuso sem tratamento complementar, uma vez que valores tão acima do recomendado podem favorecer a disseminação de doenças de veiculação hídrica. Os dados microbiológicos assemelham-se aos resultados reportados por Barcelos et al. (2021), quando avaliou-se a eficiência de fossa séptica na redução de microrganismos. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo apresentando eficiência parcial na remoção de carga orgânica, esses sistemas não foram projetados para atingir padrões de reuso, mas sim para promover uma primeira etapa de tratamento.

Nesse sentido, Braga e Lima (2014), destacam que diversas enfermidades, causadas por bactérias, podem ser transmitidas direta ou indiretamente quando águas contaminadas por dejetos fecais são utilizadas na irrigação. Do mesmo modo, a literatura nacional aponta que efluentes provenientes de sistemas convencionais raramente atingem padrões de qualidade adequados, representando elevado risco de transmissão de doenças e limitando o potencial de reuso (HESPANHOL, 2008).

Paralelamente, os resultados de turbidez (75,0 UT) e DBO_5 (31 mg $O_2 \cdot L^{-1}$) indicam elevados teores de matéria orgânica e sólidos em suspensão. A alta turbidez sugere ineficiência na remoção de sólidos, corroborando os achados de Souza et al. (2015), que relataram valor semelhante (80,88 UT). Em contrapartida, a DBO_5 obtida neste estudo é consideravelmente inferior à registrada por Colares e Sandri (2013), que reportaram 482,66 mg $O_2 \cdot L^{-1}$ para sistemas de fossas séptica

Ademais, os resultados encontrados neste estudo não indicam o reuso agrícola do esgoto na irrigação de plantas ornamentais na UFCG, campus Pombal, pois o mesmo pode apresentar riscos patogênicos à saúde dos usuários, especialmente em situações de manejo inadequado. Nesse sentido, faz-se necessária a aplicação de tecnologias como pós-tratamento, como wetlands construídos que podem remover até 99,5% de DBO e Coliformes, conforme estudos de Singh et al. (2023) e Nivala et al. (2023). Tem-se também como possibilidade filtração lenta, de acordo com trabalhos de Júnior, Merij e Gerardini (2020) Lima, Michelan e Silva (2021), esse sistema tem eficiência de até 70% na remoção de DBO e mais de 70% para coliformes, de modo a ter-se uma redução da carga microbiana e adequação aos limites normativos, bem como proporcionar o reuso seguro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proporcionou a avaliação preliminar da qualidade do esgoto tratado no tanque séptico, instalado na UFCG, campus Pombal, visando o seu reuso na irrigação de plantas ornamentais. Constatou-se que somente o sistema isolado não assegura a adequação do efluente ao uso proposto, enfatizando a necessidade da utilização de tecnologias que complementam o tratamento e atendimento à normativas.

Assim, pode-se afirmar que, apesar de o reaproveitamento de águas residuais ser uma opção viável, é essencial que ele seja realizado com a adoção de tecnologias específicas de tratamento adicional, para assegurar a segurança, a sustentabilidade ambiental e o cumprimento das normas legais. Pesquisas futuras poderão explorar o uso de variadas combinações de tecnologias, analisando não só a eficácia na melhoria da qualidade da água, mas também sua viabilidade financeira e prática em comunidades de pequeno porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2019. NBR 16783: *"*Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações". Rio de Janeiro: *ABNT*. https://enperspectiva.uy/wp-content/uploads/2023/02/NBR16783-Arquivo-para-impressAo.pdf.

Barcelos, C. S., G. P. da Silva, M. P. Resende, e Z. H. de Souza. 2021. "Eficiência de tanque séptico sob análise microbiológica do efluente final." In *XVI Semana Universitária, XV Encontro de Iniciação Científica e VIII Feira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 1. https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/anais-semana-universitaria/pt_BR/article/view/1426.

Braga, Marcos Brandão, e Carlos Eduardo Pacheco Lima. 2014. "Reúso de água na agricultura". Brasília, DF: *Embrapa*. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1009908.

Campos, Clarissa Melo, Elzânia Sales de Oliveira. 2015. "Avaliação do desempenho de fossas sépticas biodigestoras no semiárido piauiense." *Revista Ambiente & Água* 10 (2): 414–24. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1542

Cardoso, D. K., L. V. O. Fernandes, C. E. Fernandes, L. I. F. de A. Fernandes, e E. D. Argolo. 2020. "Reutilização de água: uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências / Water reuse: an alternative to waste and saving water in homes." *Brazilian Journal of Development* 6 (5): 24566–24581. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9566.

Carvalho, R., P. Duarte, e R. da S. Manca. 2020. "Tratamento da água para reuso na lavagem automotiva." *Revista Prospectus* 2 (2): 244–271. https://www.prospectus.fatecitapira.edu.br/index.php/pst/article/view/44.

Hespanhol, Ivanildo. 2008. "Potencial de Reúso da Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos." *Revista USP*, no. 77: 24–37. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revistausp/article/view/1009908.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2023."Pesquisa Nacional por

Amostra de Domicílios Contínua" – *PNAD Contínua*. Rio de Janeiro: IBGE. https://www.ibge.gov.br

Leite, D. B. P., e R. B. Moruzzi. 2017. "Considerações sobre os valores máximos permitidos (VMP) de *E. coli* em águas cinza, visando ao reúso por meio de avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM)." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22 (1): 57–64. https://www.scielo.br/j/esa/a/S8B7WQ3HWQk7js4vxxRDqfx/?lang=pt.

Lima, Anderson de Jesus, Denise Conceição de Gois Santos Michelan e Cristina Ferraz Silva. 2021. "Desempenho e recuperação de filtros lentos com meios filtrantes alternativos quando submetidos a carga de patógenos." *Revista DAE*, edição 238, artigo 2087. https://doi.org/10.36659/dae.2022.076.

Melo Júnior, Ariston S., C. Abrão, B. Kleber A. Ribeiro, e D. Leonardo Gerardini. 2020. "Desempenho da Filtração Lenta Empregada no Tratamento da Carga de DBO Oriunda de Esgoto Doméstico." Apresentado no XII Seminário Internacional de Investigação em Urbanismo, São Paulo e Lisboa, junho. https://revistes.upc.edu/index.php/SIIU/article/download/9960/1664.

Nivala, Jaime A., Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, e Roland Müller. 2013. "Oxygen Transfer and Consumption in Subsurface Flow Treatment Wetlands." *Ecological Engineering* 61 (parte B): 544–554. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.028

Organização das Nações Unidas. 2025. "Água potável e saneamento (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6)." *Nações Unidas no Brasil*. https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6.

Silva, D. P. M. da, e I. N. A. Pereira. 2021. "Análise da reutilização de águas cinzas para fins não potáveis." *Brazilian Journal of Development* 7 (7): 72853–72869. https://scholar.archive.org/work/45c2h677azf3nlxj4gukxkqntu/access/wayback/https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/33238/pdf.

Silva, F. J. A. da, B. C. Muricy, M. A. A. de Carvalho, e M. Obrasczka. 2023. "Reuso de efluentes para fertirrigação: estudo de caso da ete action, cachoeiras de Macacu, RJ." *DELOS: Desarrollo Local Sostenible* 16 (42): 276–299. https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/783/739.

Singh, Swati, Sweta Upadhyay, Anju Rani, Pradeep Kumar Sharma, Janhvi Mishra Rawat, Balwant Rawat, Prashant, e Prosun Bhattacharya. 2023. "Assessment of Pathogen Removal Efficiency of Vertical Flow Constructed Wetland Treating Septage." *Scientific Reports* 13: 18703. https://doi.org/10.1038/s41598-023-45257-2.

Souza, C. F., E. R. F. Vieira, J. D. S. Araújo, L. F. Cavalcante. 2015. "Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola." *Revista Ambiente & Água* 10 (3): 587–97. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1584.

Tavares, J. M., e W. J. S. Araújo. 2020. "Consumo e Escassez de Água Potável em Salvador-Bahia /Drinking Water Consumption and Shortage in Salvador-Bahia." *Brazilian Journal of Development* 6 (9): 70909–70925. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17088.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039323

CARTOGRAFIA SOCIAL COMO FERRAMENTA PARTICIPATIVA NO PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL: EXPERIÊNCIAS EM COMUNIDADES RURAIS DE PERNAMBUCO

CARTOGRAFÍA SOCIAL COMO HERRAMIENTA PARTICIPATIVA EN LA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RURALES: EXPERIENCIAS EN COMUNIDADES RURALES DE PERNAMBUCO

SOCIAL CARTOGRAPHY AS A PARTICIPATORY TOOL IN THE PLANNING OF RURAL WATER SUPPLY SYSTEMS: EXPERIENCES IN RURAL COMMUNITIES OF PERNAMBUCO

William Ferreira da Silva[1], Ana Lúcia Alencar da Cunha Lima[2], Bruna Marques Soares[3] e Alexandre Carlos Araújo de Santana[4].
[1]MBA, Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife – PE, Brasil, olindaws@gmail.com, 0009-0006-7210-6295;
[2]Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco/CAPES, Recife – PE, Brasil, alucia007@gmail.com, 0009-0002-0546-8051;
[3]Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE, Brasil, bruna.bms@ufpe.br, 0009-0006-4401-7121;
[4]Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, Brasil, alexandre.sustentat@gmail.com, 0000-0002-6717-5396

Eixo Temático 08 – Mobilização e Participação Social
Metodologias participativas na implementação de soluções de saneamento.

Eje Temático 05 – Movilización social y participación
Metodologías participativas en la implementación de soluciones de saneamiento

Thematic Axis 05 – Social Mobilization and Participation
Participatory methodologies in the implementation of sanitation solutions.

RESUMO

O presente trabalho descreve a experiência de aplicação da cartografia social como ferramenta participativa no planejamento de sistemas de abastecimento de água em comunidades rurais de Pernambuco, com o objetivo de subsidiar diagnósticos socioterritoriais que orientaram a elaboração de Projetos de Trabalho Social (PTS) vinculados à implantação de Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs), no âmbito do modelo de gestão compartilhada SISAR. A metodologia buscou superar os limites dos diagnósticos técnicos convencionais, geralmente restritos à infraestrutura, incorporando dimensões históricas, culturais e sociais determinantes para a sustentabilidade dos sistemas. Desenvolvido entre março e setembro de 2025, o processo envolveu 26 comunidades rurais nos municípios de Vitória de Santo Antão, Betânia, Cabrobó e Palmares, estruturando-se em quatro etapas: elaboração de mapas de engenharia preliminares; realização de oficinas, visitas e reuniões comunitárias para identificar marcos territoriais, atividades econômicas, espaços coletivos e narrativas históricas; sistematização das informações em croquis, tabelas e arquivos georreferenciados (KMZ-SOCIAL); e produção de peças gráficas em Adobe Illustrator, reunindo dados técnicos e culturais em representações

acessíveis. A participação de lideranças, associações comunitárias e gestores públicos reforçou

o caráter coletivo e democrático do processo, que enfrentou desafios como a escassez de dados atualizados, as dificuldades de acesso a localidades e a necessidade de conciliar expectativas entre técnicos e moradores. O trabalho de campo foi essencial para validar informações, captar dimensões subjetivas e legitimar representações cartográficas, resgatando memórias e espaços simbólicos invisíveis em levantamentos convencionais. Os resultados evidenciaram que a cartografia social ampliou a compreensão dos territórios e revelou vulnerabilidades e potencialidades locais: em Vitória de Santo Antão, tensões rurais-urbanas; em Betânia, valorização cultural; em Cabrobó, ajustes no traçado das adutoras; e em Palmares, integração rural-urbana. Conclui-se que a cartografia social é ferramenta estratégica e replicável para o planejamento do saneamento rural, consolidando-se como processo político-pedagógico que integra saberes, fortalece o protagonismo comunitário e promove justiça territorial e cidadania.

Palavras-chave: cartografia social, participação comunitária, saneamento rural; território, planejamento participativo

RESÚMEN

El presente trabajo describe la experiencia de aplicación de la cartografía social como herramienta participativa en la planificación de sistemas de abastecimiento de agua en comunidades rurales de Pernambuco. El objetivo fue subsidiar diagnósticos socioterritoriales que orientaron la elaboración de Proyectos de Trabajo Social (PTS) vinculados a la implementación de Sistemas de Abastecimiento de Agua (SAAs), en el marco del modelo de gestión compartida SISAR. La metodología buscó superar las limitaciones de diagnósticos técnicos convencionales, a menudo restringidos a aspectos de infraestructura, incorporando dimensiones históricas, culturales y sociales determinantes para la sostenibilidad de los sistemas.

El proceso, desarrollado entre marzo y septiembre de 2025, involucró a 26 comunidades rurales en Vitória de Santo Antão, Betânia, Cabrobó y Palmares. La metodología comprendió cuatro etapas: (1) elaboración de mapas de ingeniería preliminares; (2) talleres, visitas y reuniones comunitarias para identificar hitos territoriales, actividades económicas, espacios colectivos y narrativas históricas; (3) sistematización de la información con croquis, tablas y archivos georreferenciados (KMZ-SOCIAL); y (4) producción de piezas gráficas en Adobe Illustrator, reuniendo datos técnicos y culturales en representaciones accesibles. La participación de líderes, asociaciones comunitarias y gestores públicos reforzó el carácter colectivo y democrático del proceso.

Entre los desafíos enfrentados estuvieron la escasez de datos actualizados, las dificultades de acceso a ciertas localidades y la necesidad de conciliar expectativas entre técnicos y residentes. El trabajo de campo, sin embargo, fue esencial para validar informaciones, captar dimensiones subjetivas y legitimar las representaciones cartográficas, rescatando memorias y espacios simbólicos invisibles en levantamientos convencionales.

Los resultados mostraron que la cartografía social amplió la comprensión de los territorios y reveló vulnerabilidades y potencialidades locales. En Vitória de Santo Antão se evidenciaron tensiones rural-urbanas; en Betânia, la valorización cultural; en Cabrobó, ajustes en el trazado de aductoras; y en Palmares, la integración rural-urbana.

Se concluye que la cartografía social constituye una herramienta estratégica y replicable para la planificación del saneamiento rural, consolidándose como un proceso político-pedagógico

que integra saberes, fortalece el protagonismo comunitario y promueve justicia territorial y ciudadanía.

Palabras clave: cartografía social, participación comunitaria, saneamiento rural, territorio, planificación participativa

ABSTRACT

This work describes the experience of applying social cartography as a participatory tool in planning water supply systems in rural communities of Pernambuco. The objective was to support socioterritorial diagnoses that guided the development of Social Work Projects (PTS) linked to the implementation of Water Supply Systems (SAAs), within the framework of the SISAR shared management model. The methodology sought to overcome the limitations of conventional technical diagnoses, often restricted to infrastructure aspects, by incorporating historical, cultural, and social dimensions that are crucial for system sustainability.

The process, carried out between March and September 2025, involved 26 rural communities in Vitória de Santo Antão, Betânia, Cabrobó, and Palmares. The methodology comprised four stages: (1) preparation of preliminary engineering maps; (2) workshops, field visits, and community meetings to identify territorial landmarks, economic activities, collective spaces, and historical narratives; (3) systematization of information through sketches, descriptive tables, and georeferenced files (KMZ-SOCIAL); and (4) production of graphic materials in Adobe Illustrator, combining technical and cultural data into accessible representations. The participation of local leaders, community associations, and public managers reinforced the collective and democratic character of the process.

The main challenges included the scarcity of updated data, logistical difficulties in accessing certain areas, and the need to reconcile expectations between technicians and residents. Fieldwork, however, proved essential to validate information, capture subjective dimensions, and legitimize cartographic representations, rescuing memories and symbolic spaces often invisible in conventional surveys.

The results showed that social cartography broadened the understanding of territories and revealed specific vulnerabilities and potentialities. In Vitória de Santo Antão, rural-urban tensions were highlighted; in Betânia, cultural appreciation; in Cabrobó, adjustments in pipeline design; and in Palmares, rural-urban integration.

It is concluded that social cartography is a strategic and replicable tool for rural sanitation planning, consolidating itself as a political-pedagogical process that integrates knowledge, strengthens community protagonism, and promotes territorial justice and citizenship.

Keywords: social cartography, community participation, rural sanitation, territory, participatory planning

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O acesso universal à água potável e ao saneamento básico no meio rural permanece um desafio crítico no nordeste brasileiro, especialmente diante das mudanças climáticas,

desigualdades socioeconômicas e vulnerabilidades históricas.

Pernambuco está situado em uma região que, pela própria natureza, demanda atenção especial no tocante à oferta de água. Baixos índices de precipitação, irregularidade do seu regime de chuvas, temperaturas elevadas durante todo ano e altas taxas de evaporação dos lençóis de água contribuem para os reduzidos volumes de disponibilidade hídrica. Associado a isso, 80% dos recursos hídricos estão concentrados na região litorânea, enquanto, conforme visto acima, 88% de seu território está na região semiárida, frequentemente submetida a longos períodos de seca (Governo do Estado de Pernambuco, 2025).

Com o intuito de melhor compreender e analisar a situação na zona rural, o Estado, a partir de cooperação técnica com a Companhia Pernambucano de Saneamento, desenvolveu a uma ferramenta interativa que permite o cadastro de comunidades rurais existentes, denominada Plataforma de Saneamento Rural. Nesta plataforma foram identificadas mais de 7 mil comunidades rurais, das quais foram cadastradas, até o momento, cerca de 4.700, abrangendo uma população aproximada de 1,5 milhão de pessoas. Em análise preliminar aos dados, foi identificado que 47% desses habitantes estão classificados como sem abastecimento de água dos quais, em 74% dos domicílios, não há sequer regularidade no fornecimento de caminhões-pipa (Governo do Estado de Pernambuco, 2025).

Acrescenta-se que esse cenário de carência de saneamento básico impacta em diversos outros fatores relacionados à qualidade de vida. Diversos estudos evidenciam a associação entre a ausência de saneamento e altos índices de internações hospitalares, a proliferação de doenças de veiculação hídrica e elevadas taxas de mortalidade, especialmente a infantil. As intervenções em saneamento básico se refletem diretamente na melhoria das condições de saúde pública, reduzindo a incidência dessas doenças. No Brasil, observa-se uma tendência de redução das taxas de mortalidade infantil e das internações por doenças associadas ao saneamento inadequado ao longo das últimas décadas, com avanços particularmente expressivos na Região Nordeste (ANA, 2019; IBGE, 2019; MARINHO et al., 2020; KUIAVA et al., 2019).

Além disso, foi identificado um dado preocupante, através do Estudo de Modelos de Gestão de Sistemas Rurais de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para o Estado de Pernambuco, elaborado pelo Consórcio MACS GmbH / MACS Ltda. / IRC Aguaconsult-2018, com relação à qualidade da água de pequenos sistemas de abastecimento de 76

localidades rurais. Eles operam sem a garantia da qualidade de água para evitar as doenças de veiculação hídrica. Soma-se aos desafios da infraestrutura hídrica mencionados acima, as dificuldades na gestão dos sistemas de saneamento implantados. As principais identificadas foram: a grande variedade de órgãos atuantes no setor no âmbito Federal, Estadual e Municipal; a falta de padronização na concepção dos sistemas de abastecimento de água e de sistemas e/ou soluções de esgotamento sanitário; a distribuição difusa das unidades habitacionais; e altos custos de implantação e manutenção por parte das grandes companhias, chegando até a sua inviabilidade (Consórcio MACS GmbH / MACS Ltda. / IRC Aguaconsult, 2018).

Nesse sentido, a ausência de ações e instrumentos de governança faz com que muitas vezes as infraestruturas construídas entrem em desuso pela população, seja pela complexidade das tecnologias, mas principalmente pela ausência de assistência técnica, pagamento de tarifas e do apoio para implementação de práticas sustentáveis de manutenção e gestão das soluções tecnológicas para o saneamento rural. A baixa disponibilidade hídrica, combinada com as dificuldades na gestão dos sistemas de saneamento nas zonas rurais e ausência de dados seguros e participativos faz a universalização dos serviços um grande desafio.

Diante da situação do abastecimento de água nas regiões rurais, o Governo do Estado vem buscando superar as dificuldades por meio da implementação da Estratégia Estadual de Saneamento Rural de Pernambuco, possibilitando a ampliação da cobertura do saneamento rural no Estado, por meio da adoção do Modelo de Gestão Compartilhado apontado pelo Estudo de Modelos de Gestão de Sistemas Rurais de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para o Estado de Pernambuco.

Assim, o programa estadual de Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), da Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento (SRHS), encontra-se numa fase de mobilização de recursos nacionais e internacionais para incubação dos núcleos regionais, para funcionamento através da reunião de associações locais que convergem para federações regionais de associações comunitárias, as quais denominam-se SISAR.

Recente, o Governo do Estado, através da SRHS realizou captação de recursos, junto ao Governo Federal, e na etapa de elaboração de projetos, de engenharia, ambiental e social, a Equipe Técnica Social da SRHS elaborou Diagnósticos Socioterritoriais que subsidiaram a elaboração de Projetos de Trabalho Social (PTS) a serem executados durante o período de obras hídricas. Sabendo que intervenções técnicas isoladas tendem a não considerar aspectos de

caracterização histórica, econômica, ambiental, sociocultural e territorial das comunidades, e mais especificamente a organização social, identidade étnica, critérios de pertença e fronteiras do grupo, genealogia, ambiente e a produção, além dos usos sociais do espaço e categorias êmicas empregadas para se referir a estes espaços – assim como sua respectiva área de entorno. Aspectos estes, essenciais para a compreender a comunidade e proporcionar elaboração de projetos de trabalho social que devem ser executados antes, durante e pós-obras.

Nesse contexto, e diante da necessidade de ampla compreensão dos territórios a serem estudas, a Equipe Técnica Social, passou a utilizar-se da cartografia social como ferramenta de estudo, observação e reconhecimento comunitário, em razão da metodologia ser participativa e interativa, capaz de integrar o conhecimento técnico aos saberes locais, promovendo a integração comunitária nessa etapa introdutória do empreendimento. Ferramenta que releva ainda a valorização da memória e a identificação de marcos territoriais importantes para cada comunidade rural, sua identidade.

Dessa maneira, o artigo objetiva apresentar a utilização da cartografia social, como ferramenta de planejamento para o Trabalho Social, aplicada durante etapa de Diagnósticos Socioterritoriais, nas comunidades rurais de Vitória de Santo Antão, Betânia, Cabrobó e Palmares, em Pernambuco, destacando suas contribuições para o planejamento destes sistemas de abastecimento de água e para o fortalecimento da participação social.

Os diagnósticos foram realizados entre março a setembro de 2025, nos 4 municípios pernambucanos listados acima, o que totalizou 26 comunidades rurais contempladas.

Realizar os diagnósticos socioterritoriais representa conhecer as localidades onde serão implantados os sistemas de abastecimento de água (SAA) planejados pelo Governo. Posteriormente, estes sistemas serão gerenciados através do modelo de gestão compartilhada – SISAR. E, justamente por essa razão, o diagnóstico precisa mais que conhecer as comunidades. Ele necessita compreender os territórios e sua população à luz das experiências e vivências.

O trabalho desenvolvido se alinha às metodologias participativas na implementação de soluções de saneamento, conectado à mobilização e participação social, tema e área temática propostos pelo Congresso Internacional de Saneamento Rural.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A experiência de Cartografia Social realizada entre março e setembro de 2025 em comunidades rurais dos municípios pernambucanos de Vitória de Santo Antão, Betânia, Cabrobó e Palmares constituiu-se como um processo participativo, investigativo e metodológico voltado à construção do Diagnóstico Socioterritorial. O trabalho fundamentou-se na compreensão de que o diagnóstico não se resume a uma ferramenta técnica, mas é também um processo dinâmico, interpretativo e emancipatório, conforme destacam Vieira (1979), Guerra (2002) e Faleiros (1971). Nesse sentido, buscou-se articular conhecimento técnico-científico e saberes locais, valorizando a leitura que os próprios sujeitos fazem de si e de seus territórios, em consonância com Sposati (2004).

A concepção de território assumida foi a de espaço socialmente construído, resultado de relações históricas, culturais e econômicas, conforme Raffestin (1993) e Haesbaert (2011). A metodologia rompeu com o modelo tradicional de mapeamento centralizado, adotando a perspectiva da cartografia social como instrumento pedagógico, político e de gestão (Acselrad, 2008; Almeida, 2013; Santos, 2000; Saquet, 2007). Nesse processo, a tecnologia digital – como o georreferenciamento e o uso do Google Earth, atua como ferramenta complementar, sem substituir a centralidade da participação comunitária (Harley, 1989).

O público envolvido foi composto por gestores municipais, órgãos de controle social, associações comunitárias, lideranças locais, dirigentes de associações e moradores. A ampla diversidade de atores reforçou o caráter coletivo da construção do diagnóstico e garantiu maior legitimidade aos resultados obtidos.

O processo metodológico foi estruturado em quatro etapas principais. A primeira consistiu na elaboração dos mapas de engenharia pela equipe técnica da Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento de Pernambuco, contendo a identificação preliminar das comunidades rurais georreferenciadas e o traçado das obras de abastecimento de água planejadas.

A segunda etapa correspondeu à interação comunitária, organizada em três fases: oficinas participativas, visitas de reconhecimento do território e reuniões comunitárias. Nas oficinas, os mapas de engenharia foram transformados em croquis coletivos, permitindo que lideranças e associações identificassem localidades, pontos estratégicos e potenciais locais de implantação dos empreendimentos. Nas visitas técnicas, a equipe social, acompanhada por moradores e lideranças, realizou o registro fotográfico, audiovisual e escrito de equipamentos

públicos e privados, atividades econômicas, marcos culturais e narrativas orais. Por fim, as reuniões comunitárias ampliaram o envolvimento da população na construção do diagnóstico, identificando elementos como grupos sociais, espaços coletivos, calendário cultural, atividades esportivas e estágio de organização comunitária.

Figura 1. Reconhecimento de território – Identificação de equipamento público, em Malhada dos Bois/Betânia
Fonte: Fonte própria, 2025.

A terceira etapa centrou-se na sistematização dos dados coletados. Foram produzidos o arquivo KMZ-SOCIAL, contendo informações georreferenciadas visualizáveis no Google Earth; croquis preliminares com o esboço das localidades e empreendimentos; e tabelas descritivas, em formato textual, detalhando comunidades, achados, coordenadas e registros das visitas.

Na quarta e última etapa, procedeu-se à produção da peça gráfica de cartografia social, elaborada no software Adobe Illustrator. Esse produto integrou informações técnicas e comunitárias, conectou marcos culturais e práticas agrícolas, destacou usos do espaço e sobreposições rurais-urbanas, e valorizou a memória histórica e cultural das localidades.

Em termos de resultados, a experiência revelou-se estratégica para apoiar diagnósticos territoriais voltados ao saneamento rural, subsidiar o planejamento das obras de abastecimento e fortalecer políticas públicas adaptadas às especificidades locais (Porto-Gonçalves, 2006). Além disso, o processo reafirmou a importância do protagonismo comunitário na leitura do território e no desenho das estratégias de intervenção.

Figura 2. Reunião comunitária – Associação Quilombola de Santana/Cabrobó
Fonte: Fonte própria, 2025.

A metodologia adotada permitiu conjugar observação técnica e participação social, integrando diferentes olhares sobre o território. Com isso, a cartografia social apresentou-se como ferramenta capaz de promover diagnósticos rápidos e eficazes, ao mesmo tempo em que fortalece identidades locais e amplia a legitimidade das políticas públicas implementadas.

A experiência demonstrou que a cartografia social, ao unir saberes técnicos e populares, torna-se um instrumento não apenas de planejamento, mas também de mobilização, valorização cultural e gestão compartilhada do território.

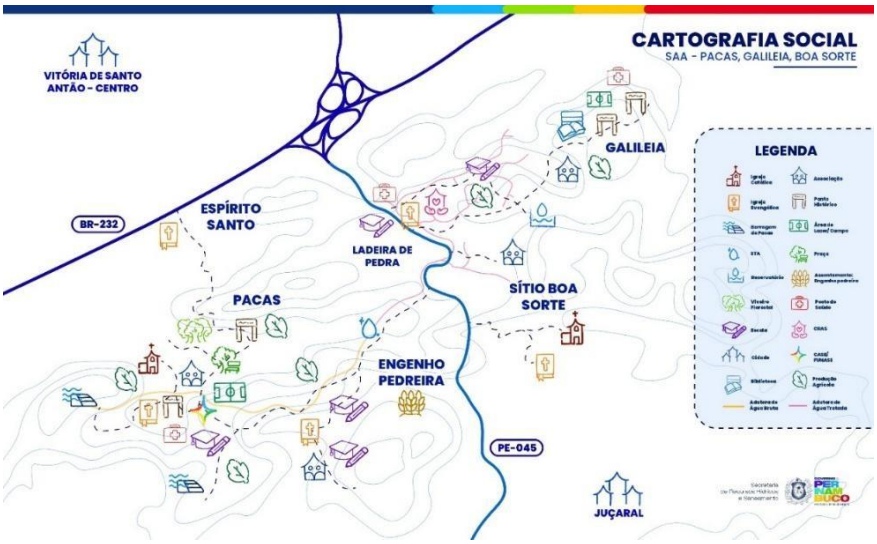


Figura 3. Cartografia social – SAA-Vitória de Santo Antão
Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cartografia social elaborada no âmbito do diagnóstico socioterritorial para implantação dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) nos municípios de Vitória de Santo Antão, Betânia, Cabrobó e Palmares revelou-se um instrumento vivo de leitura do território. Mais do que um mapa técnico, constituiu-se em um processo político-pedagógico capaz de traduzir percepções, memórias e necessidades das comunidades rurais envolvidas. Essa experiência evidenciou que a participação comunitária e a presença em campo foram essenciais para captar dimensões invisíveis em registros secundários, corroborando a perspectiva de Alentejano e Rocha-Leão (2006) de que o trabalho de campo é a instância onde teoria e realidade se encontram em sua complexidade.

A interação direta com moradores possibilitou a identificação de marcos culturais, sociais e infraestruturais, ao mesmo tempo em que permitiu resgatar narrativas históricas que conectam o passado camponês às demandas contemporâneas por dignidade e acesso à água. Os resultados destacaram elementos fundamentais: infraestrutura de saneamento, recursos hídricos e ambientais, equipamentos sociais, espaços religiosos e de memória, atividades econômicas e a história de formação das localidades. Esse conjunto de informações proporcionou uma leitura ampliada da realidade territorial, integrando aspectos objetivos e subjetivos.

No campo técnico, a produção do arquivo KMZ, croquis e tabelas descritivas favoreceu a visualização clara dos territórios e dos fluxos de adutoras, pontos estratégicos e conexões comunitárias. Esses instrumentos tornaram-se subsídios concretos para gestores e técnicos, reforçando a participação comunitária como parte do processo de tomada de decisão.

Os resultados também evidenciaram especificidades locais: em Vitória de Santo Antão, emergiram conflitos entre áreas rurais e pressões urbanas; em Betânia, sobressaiu a valorização e preservação cultural; em Cabrobó, destacou-se a necessidade de otimização do traçado das adutoras; e em Palmares, a integração entre dimensões rurais e urbanas foi o eixo central. A metodologia, portanto, demonstrou-se flexível e adaptável a diferentes contextos sociais, históricos e produtivos, sem perder sua essência participativa.

Foram ainda identificados achados complementares, como relatórios antropológicos, certidões de reconhecimento de territórios quilombolas e assentamentos, trabalhos acadêmicos e estudos técnicos. Esses documentos contribuíram para enriquecer a base de dados e validar a

compreensão sociológica das realidades locais, permitindo que a cartografia social se configurasse como um espaço de articulação entre ciência, técnica e saberes populares.

A experiência mostrou que a cartografia social extrapola o momento do diagnóstico inicial. Sua aplicação pode ser estendida ao período de execução das obras, funcionando como um dispositivo ativo de escuta e ajuste contínuo, e também à gestão comunitária durante a operação dos SAAs, fortalecendo o trabalho social e a sustentabilidade das intervenções.

Portanto, os resultados apontam que a cartografia social é mais que um mapa: é uma ferramenta dinâmica, capaz de orientar políticas públicas de saneamento, apoiar processos participativos de planejamento e integrar dimensões históricas, culturais e ambientais. Além de representar o território, essa metodologia o narra, acolhe e transforma, constituindo-se em um instrumento de justiça territorial e fortalecimento comunitário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência da cartografia social nos diagnósticos socioterritoriais para implantação dos SAAs em comunidades rurais pernambucanas demonstrou que essa metodologia amplia a compreensão sobre o território, ao unir dados técnicos e percepções comunitárias. Mais do que uma representação cartográfica, tratou-se de um processo contínuo de mobilização social, diálogo e reconhecimento dos marcos simbólicos, culturais e históricos que estruturam a vida rural.

Os resultados confirmaram a relevância da participação comunitária para legitimar e enriquecer o processo de diagnóstico, permitindo que as decisões sobre saneamento sejam fundamentadas não apenas em parâmetros técnicos, mas também nas realidades sociais e culturais locais. Essa abordagem mostrou-se capaz de revelar tanto vulnerabilidades quanto potencialidades, fortalecendo o planejamento e a eficácia das intervenções.

Além disso, a experiência ressaltou o caráter versátil e replicável da cartografia social, que pode ser aplicada em diferentes contextos rurais do estado. Sua contribuição extrapola a fase diagnóstica, estendendo-se ao acompanhamento das obras e à gestão comunitária dos sistemas, configurando-se como um recurso estratégico para políticas públicas mais sensíveis às especificidades territoriais.

Em síntese, a cartografia social não se apresenta como produto acabado, mas como processo em constante construção, que conecta memórias, identidades e demandas

contemporâneas por acesso à água e dignidade. Ela se coloca, portanto, como um espelho que reflete a vida dos territórios e uma bússola que orienta caminhos para o desenvolvimento justo, inclusivo e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos não poderia ser dispensados, visto que houve participação intensa e efetiva do corpo técnico da Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento do Estado de Pernambuco. Mas, não somente à SRHS, como também aos agentes públicos municipais envolvdidas das Prefeituras de Betânia, Cabrobó, Palmares e Vitória de Santo Antão. Por outro lado, todas e cada uma das associações comunitárias rurais que participou não apenas das oficinas, reuniões, atividades de reconhecimento de campo, visitas domiciliares, indicaçaõ de dados primários e secundários, então lista-se: Associação dos Pequenos Trabalhadores Rurais da Fazenda Mandacaru; Associação de Moradores da Fazenda Curralinho II; Associação dos Trabalhadores Rurais das Comunidades Catolé e Badajó (ATRACCB); Associação dos Quilombolas da Comunidade Santana (AQCS); Assentamento Miguel Arraes; Associação Comunitária do Assentamento São João da Prata (ACASJOP); Associação dos Moradores e Produtores do Engenho Esperança (AMPESP); Associação dos Moradores e Assentados dos Engenhos Diamante e Protecao (AMAED); Associação dos Moradores e Agricultores Familiar do Engenho Lajedo; Associação dos Pequenos Produtores Rurais do Sítio Malhada dos Bois; Associação Quilombola do Sítio Teixeira; Associação Quilombola do Sítio São Caetano; Associação dos Agricultores e Agricultoras Familiares do Sítio Boa Sorte (AGRISORTE); Associação dos Agricultores de Pacas (AGRIPACAS); Associação dos Agricultores do Assentamento Engenho Pedreira Nova Esperança; Associação dos Pequenos Agricultores de Galiléia (ASPAG); Biblioteca José Ayres dos Prazeres - Museu das Lutas Camponesas; COMPESA; SISAR Agreste Central; SISAR Moxotó; e, ao SISAR Sertão Central e Araripe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acselrad, Henri. "*Cartografias sociais e território*". Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2008.

Almeida, Alfredo Wagner Berno de. *Cartografia social e dinâmicas territoriais: marcos para o debate*. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2013.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). 2019. *Relatório de Gestão do Exercício 2019*. Brasília: ANA.

Consórcio MACS GmbH / MACS Ltda. / IRC Aguaconsult. 2018. *Estudo de Modelos de Gestão de Sistemas Rurais de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para o Estado de Pernambuco.* Recife: Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

Faleiros, Vicente de Paula. *O diagnóstico social*. São Paulo: Cortez, 1971.
Guerra, Yolanda. *Diagnóstico social: uma perspectiva crítica*. São Paulo: Cortez, 2002.

Governo do Estado de Pernambuco. *Plano Regional de Saneamento Básico – Microrregião RMR-Pajeú*. Recife: Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento – SRHS, 2025.

Haesbaert, Rogério. *O mito da desterritorialização: do "fim dos territórios" à multiterritorialidade*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

Harley, J. Brian. "Deconstructing the Map." *Cartographica* 26, no. 2 (1989): 1–20.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2019. *Atlas de Saneamento: abastecimento de água e esgotamento sanitário – 3ª edição*. Rio de Janeiro: IBGE.

Kuiava, V. A., et al. 2019. "Hospitalização e taxas de mortalidade por diarreia no Brasil." *Revista da Graduação* 12 (2). Porto Alegre: PUCRS.

Marinho, C. S. R., et al. 2020. "Impacto de ações assistenciais e mudanças socioeconômicas na mortalidade infantil no Brasil: evidências 2001–2017." *Cadernos de Saúde Pública* 36 (9).

Porto-Gonçalves, Carlos Walter. *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

Raffestin, Claude. *Por uma geografia do poder*. São Paulo: Ática, 1993.

Santos, Milton. *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal*. Rio de Janeiro: Record, 2000.

Saquet, Marcos Aurelio. *Território e territorialidade: teorias, processos e conflitos*. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

Sposati, Aldaíza. *O social e o público na política social*. São Paulo: Cortez, 2004.

Vieira, Evaldo Amaro. *Serviço social: ideologia e método*. São Paulo: Cortez, 1979.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039372

CLARIFICAÇÃO DE EFLUENTE EUTROFIZADO COM COAGULANTES INORGÂNICOS [$AL_2(SO_4)_3$ E POLIFER] E ORGÂNICO NATURAL (*MORINGA OLEIFERA* LAM.)

CLARIFICACIÓN DE EFLUENTES EUTRÓFICOS CON COAGULANTES INORGÁNICOS [$AL_2(SO_4)_3$ Y POLIFER] Y ORGÁNICOS NATURALES (*MORINGA OLEIFERA* LAM.)

CLARIFICATION OF EUTROPHIC EFFLUENT WITH INORGANIC COAGULANTS [$AL_2(SO_4)_3$ AND POLYFER] AND NATURAL ORGANIC (*MORINGA OLEIFERA* LAM.)

Ianca Carneiro de Carvalho[1], Isabel Cristina Silva Maia[2] e Selma Cristina da Silva[3].

[1]Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Reconcâvo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA, Brasil, eng.iancacarneiro@gmail.com, 0009-0002-0484-9338;
[2]Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Reconcâvo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA, Brasil, isabelcsmaia1973@gmail.com, 0009-0000-5680-5930;
[3]Professora Associada (CETEC) e da Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA/CCAAB) da Universidade Federal do Reconcâvo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA, Brasil, selma@ufrb.edu.br, 0000-0002-0387-6943.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento físico-químico de efluentes eutrofizados por meio da clarificação com coagulantes inorgânicos [$AL_2(SO_4)_3$ e polifer] e orgânico natural (*Moringa oleifera* Lam. (MO)). Os efluentes foram provenientes de um sistema de tratamento de esgoto composto por *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) seguido de um *wetladns* de plantas flutuantes com *Pistia stratiotes* (alface d'água). Os ensaios foram conduzidos em equipamento "Jar Test" (Milan - Modelo JT 203), com mistura rápida com rotação (100 rpm por 30s), mistura lenta (40 rpm por 30min) e decantação (30min). Os resultados indicaram que as maiores eficiências médias de remoção (EMR) de cor aparente (86%) e turbidez (92%) foram obtidas com sulfato de alumínio e polifer, ambos na dosagem ótima de 160 mg L^{-1}. A MO apresentou melhor desempenho entre 1000 e 1200 mg L^{-1}, com remoções de até 79% para cor aparente em ambas as dosagens e 86% e 88% para turbidez, respectivamente. Embora os coagulantes inorgânicos tenham apresentado maior eficiência em menores dosagens, as concentrações ótimas determinadas foram elevadas, o que pode implicar em maior custo operacional e na geração de resíduos indesejáveis. Nesse contexto, MO mostrou-se uma alternativa viável em condições específicas, com potencial para promover tratamentos mais sustentáveis e de menor impacto ambiental, ainda que demande maiores

dosagens por se tratar de um polímero natural.

Palavras-chave: Coagulantes, Tratamento físico-químico, Esgoto doméstico

RESÚMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el tratamiento fisicoquímico de efluentes eutróficos mediante clarificación con coagulantes inorgánicos [$AL_2(SO_4)_3$ y polyfer] y coagulantes orgánico natural (*Moringa oleifera* Lam. (MO)). Los efluentes provenían de un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por humedales artificiales de flujo vertical (VCFV) seguido de un humedal de planta flotante con Pistia stratiotes (lechuga de agua). Las pruebas se realizaron en un equipo "Jar Test" (Milan - Modelo JT 203), con mezcla rápida con rotación (100 rpm durante 30 s), mezcla lenta (40 rpm durante 30 min) y decantación (30 min). Los resultados indicaron que las mayores eficiencias de remoción promedio (AER) para color aparente (86%) y turbidez (92%) se obtuvieron con sulfato de aluminio y polyfer, ambos a la dosis óptima de 160 mg L^{-1}. MO tuvo el mejor desempeño entre 1000 y 1200 mg L^{-1}, con remociones de hasta 79% para color aparente en ambas dosis y 86% y 88% para turbidez, respectivamente. Si bien los coagulantes inorgánicos mostraron mayor eficiencia a dosis más bajas, las concentraciones óptimas determinadas fueron altas, lo que puede implicar mayores costos operativos y la generación de residuos indeseables. En este contexto, MO demostró ser una alternativa viable bajo condiciones específicas, con el potencial de promover tratamientos más sustentables con menor impacto ambiental, aunque requiere dosis más altas por ser un polímero natural.

Palabras clave: Coagulantes, Tratamiento físico-químico, Aguas residuales domésticas

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the physicochemical treatment of eutrophic effluents through clarification with inorganic coagulants [$AL_2(SO_4)_3$ and polyfer] and natural organic coagulant (*Moringa oleifera* Lam. (MO)). The effluents came from a sewage treatment system composed of vertical flow constructed wetlands (VCFV) followed by a floating plant wetland with Pistia stratiotes (water lettuce). The tests were conducted in a "Jar Test" equipment (Milan - Model JT 203), with fast mixing with rotation (100 rpm for 30 s), slow mixing (40 rpm for 30 min) and decantation (30 min). The results indicated that the highest average removal efficiencies (AER) for apparent color (86%) and turbidity (92%) were obtained with aluminum sulfate and polyfer, both at the optimal dosage of 160 mg L^{-1}. MO performed best between 1000 and 1200 mg L^{-1}, with removals of up to 79% for apparent color at both dosages and 86% and 88% for turbidity, respectively. Although inorganic coagulants showed greater efficiency at lower dosages, the optimal concentrations determined were high, which may imply higher operational costs and the generation of undesirable waste. In this context, MO proved to be a viable alternative under specific conditions, with the potential to promote more sustainable treatments with a lower environmental impact, although it requires higher dosages because it is a natural polymer.

Keywords: Coagulants, Physical-chemical treatment, Domestic sewage

INTRODUÇÃO

Impulsionada pelo atual cenário de escassez de água doce e pelas crescentes exigências ambientais regulatórias, a projeção global para o mercado de coagulantes e floculantes, que podem ser de natureza metálica, orgânica ou não orgânica, com o objetivo de prover efluentes de melhor qualidade, indicou um crescimento avaliado em US$ 10,4 bilhões em 2023 e deve atingir US$ 12,6 bilhões em 2028, com crescimento previsto de 3,8% entre 2023 e 2028 (Markets e Markets, 2023).

Geralmente os coagulantes utilizados são sais metálicos, sendo mais empregados os a base de alumínio e de ferro, e de alguns floculantes químicos, os quais nos últimos anos foram muito empregados no pós-tratamento físico-químico de esgotos sanitários. Entretanto, estudos relatam a necessidade da otimização dos processos de tratamento de água quando se adota os coagulantes de origem inorgânica, em virtude dos seus diversos malefícios à saúde humana. Além disso, estes produtos apresentam aspectos econômicos e ecológicos negativos (Saleem e Bachmann, 2019; Soares et al., 2021).

Dentro desta problemática, tecnologias vêm sendo desenvolvidas, entre elas tem-se os coagulantes de origem orgânica que por terem como base recursos naturais renováveis, serem assimiláveis pelo meio ambiente, eficientes em ampla faixa de pH, promoverem a redução de lodo gerado no processo, reduzirem os custos associados ao descarte, e não estarem associados à problemas de saúde pública, pois não produzem subprodutos tóxicos, configuram uma alternativa para substituição dos coagulantes inorgânicos (Saleem e Bachmann, 2019; Soares et al., 2021).

Pesquisas recentes comprovam a eficiência desses coagulantes orgânicos na remoção de impurezas, destacando sua biodegradabilidade e origem renovável, fatores que contribuem para a redução dos impactos ambientais (Siqueira et al., 2018; Hanauer et al., 2019; Lima, Almeida e Vicentini, 2020; Murakami, 2021). Diversas espécies vegetais podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de coagulantes orgânicos naturais, entre elas pode-se listar seis espécies com essa potencialidade: *Moringa oleifera*, *Acacia mearnsii, Cassia fistula, Cactus opuntia, Zea mays, Azadirachtaindica*. Dentre essas espécies, a *Moringa oleifera* possui prevalênia nos estudos sobre essa temática (Soares et al., 2021).

A *Moringa oleifera* Lam. (MO) é um polímero orgânico natural com potencial de

produção de produtos coagulantes, visto que cerca de 40% da massa de suas sementes é constituída por óleo comestível e proteínas catiônicas de baixo peso molecular que, ao serem solubilizadas em água, atuam como coagulantes, desestabilizando as partículas coloidais presentes na água e formando flocos (Franco et al., 2017). Esse efeito contribui para a redução de parâmetros que são exigidos nos processos de tratamento, especialmente a cor aparente e a turbidez, com o intuito de adequar as águas aos padrões de potabilidade explícitos na legislação vigente e aos padrões de reúso (Soares et al., 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o tratamento físico-químico de efluentes eutrofizados por meio da clarificação com coagulantes inorgânicos [$AL_2(SO_4)_3$ e polifer] e orgânicos naturais (*Moringa oleifera* Lam. (MO)).

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram utilizados efluentes provenientes de um sistema experimental de *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) com meio de suporte formado por solo misturado com areia grossa, composto por plantas emergentes, sorgo e feijão, seguido de um *wetlands* de plantas flutuantes, com a macrófita *Pistia stratiotes* (alface d'água), também denominado tanque de macrófitas (TQM). A finalidade desse sistema era tratar efluentes domésticos provenientes de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) localizada no bairro Chapadinha do município de Cruz das Almas-Ba.

Devido ao crescimento excessivo de algas dos efluentes no tanque de macrófitas, a água passou a apresentar uma colocação esverdeada (Figura 1A), tornando-se necessária a realização de um pós-tratamento antes do seu lançamento em corpos d'água (reuso indireto) ou, da sua utilização para fins não potáveis (reuso não potável), como a irrigação, a fim de evitar danos ao sistema de irrigação.

A coletas das amostras e os ensaios ocorreram nos meses de outubro e novembro de 2024. Para os ensaios utilizou-se o equipamento "Jar Test" Milan - Modelo JT 203 (Figura 1B), considerando: rotações de misturas rápida de 100 rmp e lenta de 40 rpm; tempos de mistura rápida de 30 segundos; lenta e de decantação, ambos de 30 minutos. Por meio desses ensaios foi determinada a dosagem ótima dos coagulantes principais.

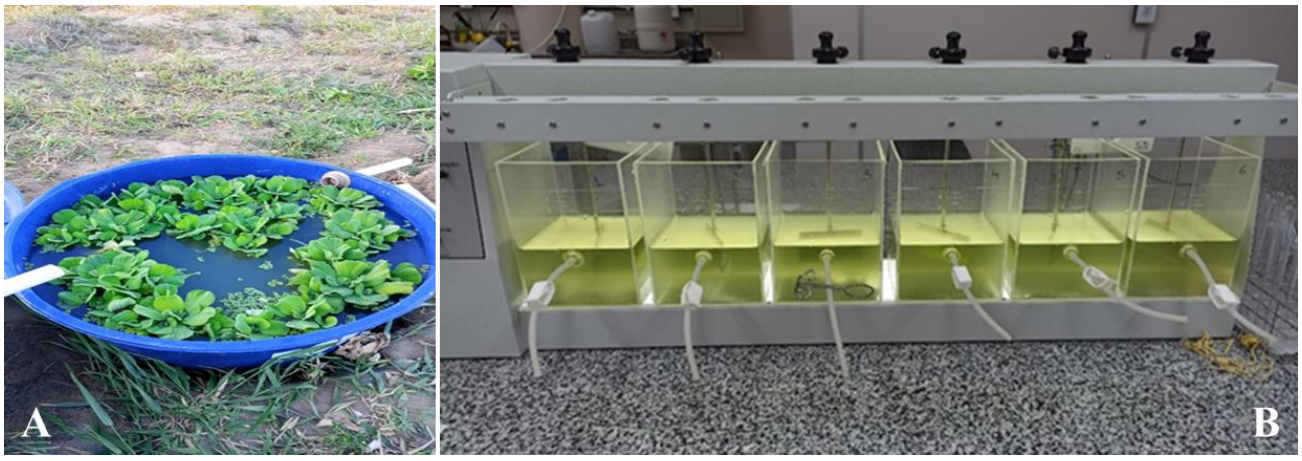


Figura 1. Tanque de macrófitas utilizado para polimento dos efluentes dos *wetlands* construídos (WCS) (A) e ensaios de "Jar Test" durante o tratamento físico-químico (B).
Fonte: Próprio autor, 2024.

Como coagulantes inorgânicos, foram utilizados o sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] e o sal de alumínio férrico (polifer), nas dosagens de 100; 120; 140; 150; 160 e 170 mg L^{-1} . Esses coagulantes foram cedidos pela Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA) na concentração inicial de 50%, sendo utilizado nos ensaios na concentração de 1% (solução estoque).

Como coagulante orgânico natural, foi usada a *Moringa oleífera* Lam. (MO), nas dosagens de 1000; 1200; 1400; 1600; 1800 e 2000 mg L^{-1}. As sementes de MO foram coletadas em uma área do centro experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus de Cruz das Almas-Ba. O extrato aquoso de MO foi preparado no momento dos ensaios, uma vez que o armazenamento pode comprometer sua eficiência na redução da turbidez durante os processos de coagulação e floculação (Madrona, 2010).

As sementes foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas para redução do teor de umidade e após secagem foram descascadas e maceradas em almofariz com pistilo para a obtenção de um pó. Em seguida, foi preparada uma solução estoque com concentração de 1% m/v, utilizando água destilada. A solução foi agitada por 4 minutos e posteriormente filtrada em papel de filtro descartável (tipo usado para filtrar café).

Os ensaios foram realizados em triplicatas, e as amostras dos afluentes e efluentes foram submetidas às análises dos seguintes parâmetros: pH – pHmetro de bancada LUCA-210, cor aparente – Colorímetro da ALFAKIT, turbidez – Turbidímetro de bancada ALFAKIT E008767, alcalinidade total – Método titulométrico e condutividade elétrica – Condutivímetro de bancada W12D BEL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se que os coagulantes inorgânicos [$Al_2(SO_4)_3$ e polifer] apresentaram desempenhos semelhantes. No entanto, o polifer destacou-se por apresentar ligeira superioridade em relação ao sulfato de alumínio, uma vez que, na dosagem de 150 mg L^{-1}, alcançou remoções de cor e turbidez equivalentes às obtidas com 160 mg L^{-1} de sulfato de alumínio.

Tabela 1. Características qualitativas dos efluentes do tanque de macrófitas (TQM) após o tratamento físico-químico com coagulantes sulfato de alumínio (a), polifer (b) e *Moringa oleífera* Lam. (MO) (c).

Parâmetros	Afluentes	Efluentes tratados					
		Dosagens (mg L^{-1})					
	0	100	120	140	150	160	170
(a) Sulfato de Alumínio							
pH	6,85±0,00	6,55±0,00	6,50±0,00	6,47±0,00	6,41±0,00	**6,42±0,00**	6,47±0,00
Cor (UC)	160,67±0,44	50,33±0,44	43,00±0,00	30,33±0,44	28,00±0,00	**24,33±0,44**	22,00±0,00
Turbidez (NTU)	13,20±0,07	2,82±0,02	1,94±0,00	1,42±0,02	1,46±0,01	**1,13±0,01**	1,04±0,01
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	107,41±0,00	77,52±0,94	74,41±0,94	67,39±0,00	64,58±0,94	**61,07±0,00**	58,27±0,94
CE (µS cm^{-1})	1277,33±0,44	1399,67±0,89	1393,00±0,00	1397,67±0,44	1389,00±0,67	**1377,00±0,00**	1374,00±0,00
Temp. (ºC)	22,00±0,00	21,53±0,31	22,83±0,22	21,37±0,04	21,93±0,09	**22,00±0,00**	22,00±0,00
(b) Polifer							
pH	7,16±0,00	6,64±0,00	6,62±0,00	6,59±0,00	**6,63±0,00**	6,55±0,00	6,50±0,00
Cor (UC)	156,67±1,11	46,67±0,44	37,33±0,44	29,00±0,00	**23,33±0,44**	19,00±0,00	13,33±0,44
Turbidez (NTU)	11,80±0,13	2,86±0,05	2,16±0,02	1,55±0,01	**1,18±0,00**	0,89±0,02	0,61±0,00
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	110,92±0,94	84,94±0,94	81,43±0,94	72,31±0,94	**73,71±0,00**	70,90±0,94	70,90±1,87
CE (µS cm^{-1})	1834,67±0,44	1879,00±0,00	1875,00±0,00	1875,00±0,00	**1872,00±0,00**	1874,00±0,00	1838,00±0,00
Temp. (ºC)	24,00±0,00	24,33±0,22	24,50±0,00	24,00±0,00	**24,37±0,18**	24,33±0,22	24,20±0,00
(c) *Moringa oleífera* Lam.							
	0	**1000**	**1200**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**
pH	6,41±0,01	**6,93±0,08**	**7,08±0,02**	7,11±0,00	7,14±0,01	7,16±0,02	7,14±0,01
Cor (UC)	122,67±0,44	**25,67±0,44**	**25,67±0,89**	26,67±0,44	28,67±0,44	28,33±0,44	31,00±0,00
Turbidez (NTU)	15,93±0,11	**2,28±0,15**	**1,98±0,11**	1,74±0,01	2,67±0,13	2,22±0,07	2,68±0,03
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	110,42±1,39	**116,67±1,39**	**110,42±1,39**	113,54±1,39	116,67±1,39	115,63±2,08	114,58±1,39
CE (µS cm^{-1})	1086,00±0,00	**974,00±0,00**	**1053,33±0,44**	1020,00±0,00	1141,67±0,44	1061,33±1,78	1034,67±0,89
T (ºC)	23,53±0,04	**23,40±0,00**	**23,77±0,09**	23,40±0,00	23,23±0,04	23,10±0,00	22,73±0,09

Fonte: Próprio autor (2024). AT = Alcalinidade total; condutividade elétrica (CE); T. = Temperatura

As melhores dosagens de MO situou-se entre 1000 a 1200 mg L^{-1}, com remoções de cor e turbidez semelhantes. Por outro lado, em concentrações iguais ou superiores a 1600 mg L^{-1}, a eficiência diminuiu, possivelmente devido ao fenômeno de reestabilização das partículas, evidenciado pelo aumento da turbidez que reflete na cor (Tabela 1).

Em relação ao pH, observou-se que a aplicação da MO promoveu um leve aumento em

comparação com os valores iniciais, enquanto os coagulantes inorgânicos, por sua vez, provocaram uma redução do pH do meio. Em estudo realizado por Ragio et al. (2019), que avalou o comportamento do pH em diferentes concentrações de sulfato de alumínio aplicadas em efluentes de esgotos sanitários provenientes da saída de um reator UASB, vereficou-se que o pH variou entre 7,5 e 6,3, sendo que quanto maior a concentração do coagulante, menor o pH observado.

Embora tenha ocorrido uma leve variação nos valores de pH, todos os resultados obtidos durante os ensaios, inclusive os do efluente bruto, permaneceram dentro da faixa de 5 a 9, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA n. 430/2011 para o lançamento de efluentes com potencial poluidor em corpos hídricos (Brasil, 2011).

A AT e a CE também apresentaram comportamentos distintos entre os coagulantes. O polifer manteve valores de AT mais elevados em comparação ao $Al_2(SO_4)_3$, enquanto a MO mostrou variações menos pronunciadas. A CE foi mais elevada nos tratamentos com polifer, possivelmente devido à composição do coagulante, enquanto a MO apresentou uma redução na CE em relação ao efluente inicial, sugerindo que o coagulante natural pode adsorver íons dissolvidos no efluente (Tabela 1).

A eficiência média de remoção (EMR) de cor aparente e turbidez aumentou proporcionalmente ao incremento das concentrações de $Al_2(SO_4)_3$, atingindo valores de 86,31% e 92,12%, respectivamente. Com o uso do polifer, os resultados foram ainda mais expressivos, alcançando EMR de 91,49% para cor e 94,86% para turbidez (Figura 2). Esses resultados corroboram os resultados reportados por Kuhne, Ceron e Machemer (2018), que verificaram remoções de cor aparente próximas a 80% no tratamento de esgoto sanitário com sulfato de alumínio.

No tratamento com MO, a EMR de cor foi de 79,08% em ambas as dosagens ótimas (1000 e 1200 mg L^{-1}), enquanto a EMR de turbidez foi de 85,71% e 87,59%, respectivamente (Figura 2). No estudo de Araújo, Alcântara e Afonso (2020), a aplicação de MO como coagulante no tratamento de esgoto sanitário resultou em taxas de remoção de turbidez variando entre 14,67% a 20,16%. Em contraste, o uso de $Al_2(SO_4)_3$ proporcionou uma remoção máxima de 89,31%. Por sua vez, Alves (2023) identificou um desempenho positivo da MO na remoção de turbidez ao longo do tempo de sedimentação, visto que a eficiência passou de 24,81% em 3 minutos para 72,22% em 33 minutos, final do processo. Nesse mesmo respectivos tempos, o $Al_2(SO_4)_3$ apresentou remoções de 10,65% e de 44,75%, evidenciando a influência

direta do tempo de sedimentação na eficiência do tratamento.

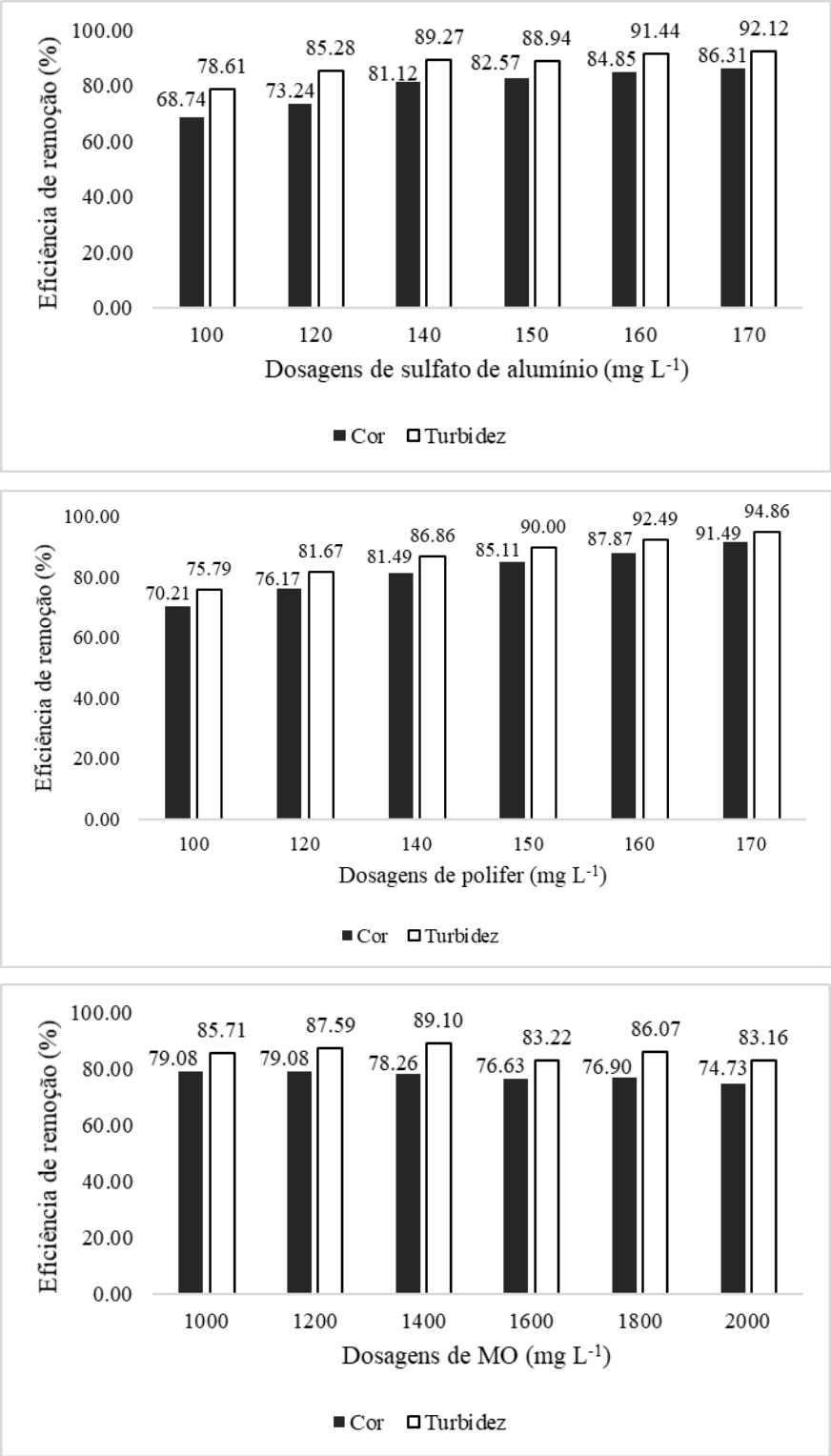


Figura 2. Efeito do gradiente de concentração dos coagulantes $Al_2(SO_4)_3$, polifer e MO na eficiência média de remoção (EMR) de cor e de turbidez.
Fonte: Próprio autor (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os coagulantes inorgânicos, especialmente o polifer, demonstraram maior eficiência na remoção de cor e turbidez, ainda que em dosagens relativamente elevadas. O desempenho ligeiramente superior do polifer em relação ao $Al_2(SO_4)_3$ pode ser atribuído à sua composição, baseada em sais mistos de alumínio e ferro. Entretanto, apesar da redução da dosagem ótima em apenas 10 mg L^{-1}, o custo mais elevado do polifer pode comprometer sua viabilidade econômica frente ao $Al_2(SO_4)^3$. Por outro lado, a MO se mostrou uma alternativa promissora em condições específicas, com potencial para promover tratamentos mais sustentáveis e de menor impacto ambiental. Assim, a seleção do coagulante mais adequado deve considerar não apenas a eficiência técnica, mas também os aspectos econômicos e ambientais associados ao processo de tratamento.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo incentivo às pesquisas que possibilitaram a publicação desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. F. *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio aplicados como coagulantes ao esgoto sanitário – Análise do efluente tratado e do lodo residual. 2023. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2023.

ARAÚJO, G. M.; ALCÂNTARA, J. S. S.; AFONSO, B. N. I-005 utilização de coagulantes naturais e não naturais na remoção de turbidez de efluentes de lagoa de estabilização. In: SILUBESA, 19., Pernambuco. ANAIS [...] Pernambuco: ABES, 22. p. 1 – 8. 2020

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 31 de maio de 2011.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 4, p.781-788, 2017. https://doi.org/10.1590/S1413-41522017145729

HANAUER, T. V.; ANDERLE, G. A.; COSTA, J. C.; DOLINE, J. Aplicação de coagulantes químico e orgânico para o tratamento de efluente de abatedouro avícola. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 8, n. 2, p. 480-493, 2019.

https://doi.org/10.5380/rber.v8i2.65661

KUHNE, A. R.; CERON, L. P.; MACHEMER, P. C. Avaliação por teste de jarros na escolha de coagulante para tratamento de um efluente. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental: Meio Ambiente, Política & Economia, 11 ANAIS[...]. Porto Alegre, 2018.

LIMA, P. R.; ALMEIDA, I. V.; VICENTINI, V. E. P. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão. Evidência, v. 20, n. 1, p. 9-22, 2020. https://doi.org/10.18593/evid.36923

MADRONA, G. S. Extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam. e sua utilização no tratamento de água para consumo humano. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 176 f., 2010.

MARKETS; MARKETS. Flocculant and coagulant market by type (Flocculant (Anionic, Cationic), organic coagulant, and inorganic Coagulant), end-use industry (Municipal Water Treatment, Pulp & Paper, Textile, Oil & Gas, Mining), and region - Global Forecast to 2028. 2023. 202 p. Disponível em: https://www.researchandmarkets.com/reports/5894164/flocculant-and-coagulant-market-type-coagulant?srsltid=AfmBOoocpYclOPlqKNq_8c-WdS5oIIX0mgkyhtxcBS6xK0CVPT5gqRLx. Acesso em: jan. 2025.

MURAKAMI, M. F. Resistência à quebra e recrescimento de aglomerados formados pela adição de tanino e *Moringa Oleifera* Lam. como alternativa de pós-tratamento de efluentes agropecuários codigeridos em reatores UASB. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia, Bauru, 129 f., 2021.

RAGIO, R. A.; MIYAZAKI, L. F.; OLIVEIRA, M. A.; SUBTIL, E. L.; COELHO, L. H. G.; BUENO, R. F. Pós-tratamento de efluente de reator UASB usando sulfato de alumínio e membranas de ultrafiltração: remoção de fósforo e matéria orgânica. In: Simpósio de Ciência e Tecnologia Ambiental: Desafios e Perspectivas, Santo André, 1., ANAIS[...]. Santo Andre, 2019. P. 74-80.

SALEEM, M.; BACHMANN, R. T. A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 72, p. 281–297, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.029

SIQUEIRA, A. P. S.; SILVA, C. N.; REZENDE, L. C. S. H.; MILANI, R. G.; YAMAGUCHI, N. U. Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. Enciclopédia Biosfera, v. 15, n. 27, p. 18-29, 2018. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A112

SOARES, E. J. S.; BARBOSA, M. G. N.; ANDRADE, T. C. S.; SANTOS, W. B.; SILVEIRA, T. N.; FERREIRA, W. B. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.2, p.292-302, 2021. http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0027

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039380

DESEMPENHO E DESAFIOS DE ESPÉCIES VEGETAIS EM *WETLANDS* CONSTRUÍDOS APLICADOS A REGIÕES SEMIÁRIDAS

DESEMPEÑO Y DESAFÍOS DE LAS ESPECIES VEGETALES EN HUMEDALES CONSTRUIDOS APLICADOS A REGIONES SEMIÁRIDAS

PERFORMANCE AND CHALLENGES OF PLANT SPECIES IN CONSTRUCTED WETLANDS APPLIED TO SEMIARID REGIONS

Maria Alynne Sousa Oliveira[1], Thâmara Martins Ismael de Sousa [2], Luiza Gizele Vidal Vieira[3] e Fernada Carolina Monteiro Ismael[4].

[1]Graduanda do curso de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande, *campus* de Pombal, Brasil, liraaline0317@gmail.com;
[2]Profª. Drª. da Universidade Federal de Campina Grande, *campus* de Pombal, Brasil, thamara.martins@professor.ufcg.edu.br;
[3]Graduanda do curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande, *campus* de Pombal, Brasil, lzgizely@gmail.com;
[4] Profª. Ma. do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, *campus* de Sousa, Brasil, fernanda.ismael@ifpb.edu.br.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

O déficit em serviços de saneamento básico em regiões semiáridas brasileiras representa um dos maiores desafios ambientais e sociais, em função da escassez hídrica, vulnerabilidade socioeconômica e limitações de infraestrutura. Nesse contexto, os *wetlands* construídos (WC) se apresentam como alternativa tecnológica sustentável, de baixo custo e elevada eficiência para o tratamento descentralizado de águas residuárias. A vegetação utilizada nesses sistemas é um elemento fundamental, pois atua na oxigenação do meio, na absorção de nutrientes e na promoção de processos de fitorremediação, além de fornecer superfície para a formação de biofilmes e ter fins paisagísticos. Entretanto, a seleção das espécies vegetais não é tarefa simples, pois deve considerar fatores como adaptação climática, resistência a variações hídricas e capacidade de remoção de poluentes, especialmente em ambientes semiáridos. Diante disso, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre espécies vegetais empregadas em *wetlands* construídos em regiões semiáridas, destacando seu desempenho, potencial de aplicação e principais desafios relacionados à adaptação local. A metodologia consistiu em revisão de publicações entre 2010 e 2025, em bases de dados nacionais e internacionais, abrangendo artigos científicos, dissertações, teses e anais de congressos, com foco em estudos que descrevessem explicitamente as espécies utilizadas. Os resultados apontam para a predominância do uso de *Typha domingensis* no semiárido brasileiro, com elevada eficiência

na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes. Contudo, estudos recentes têm explorando alternativas como *Canna indica* e *Echinodorus subalatus*, capazes de ampliar a resiliência dos sistemas frente às variações ambientais. Em âmbito internacional, espécies como *Typha, Phragmites australis, Eleocharis dulcis* e *Scirpus validus* têm se destacado, sobretudo pela eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo. Conclui-se que a diversificação e a adaptação de espécies vegetais, associadas ao tipo de efluente e às particularidades climáticas, são determinantes para a eficiência dos *wetlands* construídos em regiões semiáridas, constituindo uma estratégia promissora para fortalecer o saneamento sustentável.

Palavras-chave: Saneamento, Fitorremediação, Macrófitas, Tratamento de águas residuárias

RESÚMEN

La falta de servicios básicos de saneamiento en las regiones semiáridas de Brasil representa uno de los mayores desafíos ambientales y sociales, debido a la escasez de agua, la vulnerabilidad socioeconómica y las limitaciones de infraestructura. En este contexto, los humedales artificiales (HA) ofrecen una alternativa tecnológica sostenible, de bajo costo y altamente eficiente para el tratamiento descentralizado de aguas residuales. La vegetación utilizada en estos sistemas es un elemento fundamental, ya que oxigena el ambiente, absorbe nutrientes y promueve los procesos de fitorremediación. También proporciona una superficie para la formación de biopelículas y cumple con fines paisajísticos. Sin embargo, la selección de especies vegetales no es una tarea sencilla, ya que debe considerar factores como la adaptación climática, la resistencia a las fluctuaciones hídricas y la capacidad de remoción de contaminantes, especialmente en ambientes semiáridos. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo revisar la literatura sobre especies vegetales utilizadas en humedales artificiales en regiones semiáridas, destacando su desempeño, aplicaciones potenciales y los principales desafíos relacionados con la adaptación local. La metodología consistió en una revisión de publicaciones de 2010 a 2025 en bases de datos nacionales e internacionales, incluyendo artículos científicos, disertaciones, tesis y actas de congresos, con énfasis en estudios que describían explícitamente las especies utilizadas. Los resultados indican el uso predominante de Typha domingensis en la región semiárida brasileña, con alta eficiencia en la remoción de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes. Sin embargo, estudios recientes han explorado alternativas como Canna indica y Echinodorus subalatus, capaces de aumentar la resiliencia de los sistemas frente a las variaciones ambientales. A nivel internacional, especies como Typha, Phragmites australis, Eleocharis dulcis y Scirpus validus se han destacado, particularmente por su eficiencia en la remoción de nitrógeno y fósforo. La conclusión es que la diversificación y adaptación de las especies vegetales, asociadas al tipo de efluente y a las particularidades climáticas, son decisivas para la eficiencia de los humedales construidos en regiones semiáridas, constituyendo una estrategia prometedora para fortalecer el saneamiento sostenible.

Palabras clave: Saneamiento, Fitorremediación, Macrófitos, Tratamiento de aguas residuales

ABSTRACT

The lack of basic sanitation services in Brazil's semiarid regions represents one of the greatest environmental and social challenges, due to water scarcity, socioeconomic vulnerability, and infrastructure limitations. In this context, constructed wetlands (WCs) offer a sustainable, low-cost, and highly efficient technological alternative for decentralized wastewater treatment. The

vegetation used in these systems is a fundamental element, as it oxygenates the environment, absorbs nutrients, and promotes phytoremediation processes. It also provides a surface for biofilm formation and serves landscaping purposes. However, selecting plant species is not a simple task, as it must consider factors such as climate adaptation, resistance to water fluctuations, and pollutant removal capacity, especially in semiarid environments. Therefore, this study aims to review the literature on plant species used in constructed wetlands in semiarid regions, highlighting their performance, potential applications, and the main challenges related to local adaptation. The methodology consisted of a review of publications from 2010 to 2025 in national and international databases, including scientific articles, dissertations, theses, and conference proceedings, focusing on studies that explicitly described the species used. The results indicate the predominant use of Typha domingensis in the Brazilian semiarid region, with high efficiency in the removal of organic matter, suspended solids, and nutrients. However, recent studies have explored alternatives such as Canna indica and Echinodorus subalatus, capable of increasing the resilience of systems in the face of environmental variations. Internationally, species such as Typha, Phragmites australis, Eleocharis dulcis, and Scirpus validus have stood out, particularly for their efficiency in removing nitrogen and phosphorus. The conclusion is that the diversification and adaptation of plant species, associated with the type of effluent and climatic particularities, are decisive for the efficiency of wetlands constructed in semiarid regions, constituting a promising strategy for strengthening sustainable sanitation.

Keywords: Sanitation, Phytoremediation, Macrophytes, Wastewater treatment

INTRODUÇÃO

O déficit em serviços de saneamento básico no Brasil ainda é um dos principais desafios ambientais e de saúde pública, sobretudo em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica e a elevada vulnerabilidade socioeconômica agravam a situação (SILVA JÚNIOR et al., 2022). Nesse contexto, tecnologias descentralizadas e de baixo custo tem sido amplamente investigadas como alternativas sustentáveis ao tratamento convencional de águas residuárias.

Os *wetlands* construídos (WC) destacam-se entre essas tecnologias por aliarem simplicidade operacional, baixo custo de manutenção e eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes, sólidos suspensos e microrganismos patogênicos (KADLEC; WALLACE, 2009; VYMAZAL, 2011). Esses sistemas continuam evoluindo, com novas soluções voltadas à otimização de configurações hidráulicas e à ampliação de sua aplicação em países em desenvolvimento (PANDIARAJAN; SANKARARAJAN, 2025).

A vegetação constitui um dos componentes fundamentais dos WC, pois atua na oxigenação do meio, no fornecimento de superfície para biofilmes, na absorção de nutrientes e na promoção de processos de fitorremediação (VYMAZAL, 2011). No entanto, a seleção das espécies vegetais não constitui uma tarefa simples, devendo conciliar a adaptação às condições

locais, especialmente em regiões semiáridas, onde fatores como altas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica podem comprometer o desempenho do sistema (KASSIM et al., 2023)). Além disso, novas abordagens vêm incorporando substratos alternativos, como o *biochar*, capazes de potencializar a retenção de compostos orgânicos e micropoluentes emergentes, reforçando a relevância da interação entre vegetação e meio suporte (ABDELHAMEED et al., 2024).

No contexto brasileiro, estudos desenvolvidos no semiárido têm explorado principalmente o uso de *Typha domingensis*, com resultados satisfatórios na remoção de poluentes (ABES, 2017). Seguindo a mesma linha, pesquisas mais recentes indicam também o potencial de espécies nativas, como *Echinodorus subalatus*, adaptadas às condições edafoclimáticas locais e promissoras para aplicação em *wetlands* construídos (BERMÚDEZ, 2022).

Diante disso, observa-se a necessidade de sistematizar o conhecimento científico sobre espécies vegetais empregadas em *wetlands* construídos em regiões semiáridas, considerando tanto experiências brasileiras quanto internacionais. Assim, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura acerca das espécies vegetais utilizadas em *wetlands* construídos no semiárido, destacando seu desempenho, adaptações e potencial de aplicação no contexto do semiárido brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de uma revisão de literatura, voltada à identificação e análise das espécies vegetais utilizadas em *wetlands* construídos em regiões semiáridas. A pesquisa bibliográfica foi realizada em bases de dados nacionais e internacionais, incluindo *Scielo*, Periódicos CAPES, *Google Scholar, ScienceDirect, Web of Science* e *Scopus*. As palavras-chave empregadas na pesquisa foram: *wetlands construídos*, *plantas macrófitas*, *semiárido*, *Espécies vegetais*, *Canna indica*, *Cyperus* e *constructed wetlands, macrophytes.*

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos científicos, teses, dissertações e trabalhos completos publicados em anais de congressos que abordassem os *wetlands* construídos em regiões semiáridas, com destaque para aqueles que descrevessem explicitamente as espécies vegetais empregadas. Os principais trabalhos publicados entre os anos de 2010 e 2025 foram incluídos, nos idiomas português e inglês.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos estudos mais recentes, especialmente entre os anos de 2021 e 2025, observa-se uma ampliação da diversidade de espécies vegetais aplicadas em *wetlands* construídos, em especial em regiões tropicais e semiáridas. O uso de *Typha latifolia* em um estudo desenvolvido no Zimbábue apresentou elevada eficiência na remoção de matéria orgânica (até 56, 01%), sólidos suspensos (90,40%) e coliformes (90,28%), confirmando a adaptabilidade do gênero *Typha* a diferentes condições ambientais (MABHUNGU et al., 2023). Comparações entre *Phragmites australis* e *Typha latifolia* também indicaram desempenhos similares na remoção de nitrato, com destaque para o potencial de desnitrificação dos dois gêneros que apresentaram remoções médias variando entre 1–7% e 1–17%, respectivamente SUN et al., 2023).

Além disso, revisões recentes ressaltam espécies emergentes como *Eleocharis dulcis* e *Scirpus validus*, associadas à elevada eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes agrícolas (LIU et al., 2021). No Brasil, destaca-se a aplicação de *wetlands* flutuantes em escala de campo, empregando diferentes macrófitas em ambiente subtropical, com resultados significativos para a remoção de DBO, fósforo e turbidez (CARVALHO et al., 2023).

Nos sistemas de *wetlands* construídos, a adaptação das espécies vegetais nem sempre ocorre de maneira uniforme, havendo registros distintos conforme o tipo de experimento. No estudo de Silva (2023), que avaliou o desempenho de *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata* em protótipos de bancada, não foram observadas dificuldades expressivas no desenvolvimento das plantas, sendo constatada eficiência satisfatória na remoção de nutrientes e metais. De forma semelhante, no trabalho internacional com *Typha latifolia* em escala piloto no Zimbábue, as macrófitas apresentaram bom estabelecimento, ainda que os autores ressaltem que a eficiência de wetlands tropicais pode variar em função de fatores sazonais e climáticos (MABHUNGU et al., 2023). Em contrapartida, Santos et al. (2017) relataram desafios relevantes no cultivo de *Typha domingensis* em *wetlands* de fluxo vertical descendente, como baixa adaptação inicial, necessidade de replantio, competição com plantas invasoras, infestação por pulgões e consequente redução da biomassa vegetal. Esses autores destacam ainda que a baixa saturação do maciço filtrante prejudicou a disponibilidade hídrica para as plantas, recomendando o uso de espécies mais resistentes ao déficit hídrico.

Esses achados reforçam que, embora a *Typha domingensis* ainda seja a espécie mais

utilizada no semiárido nordestino (MARQUES et al., 2017; COSTA, 2021; BERMÚDEZ, 2022), há um leque de alternativas promissoras, como *Phragmites*, *Eleocharis* e *Scirpus* que podem ser exploradas em estudos locais. Essa diversificação não apenas aumenta a robustez dos sistemas, como também permite maior resiliência frente à variabilidade climática e às características dos efluentes tratados (PANDIARAJAN; SANKARARAJAN, 2025).

Tabela 1. Principais espécies vegetais empregadas em *wetlands* construídos, conforme revisão de literatura.

Artigo	Nome científico	Nome popular	Potencial de remoção no tratamento	Espécie vegetal
MARQUES et al. (2017) COSTA (2021) ABDELHAMEED et al. (2024) MABHUNGU et al. (2023) SUN et al. (2023) LIU et al. (2021)	*Typha domingensis*	Taboa	Matéria orgânica, nutrientes (N, P), sólidos suspensos	
BERMÚDEZ (2022)	*Echinodorus subalatus*	Chapéu-de-couro	Turbidez, fósforo	
COSTA (2021) SHAH; JAIN; SINGH (2024) ABDELHAMEED et al. (2024)	*Canna indica*	Cana-da-índia	Nutrientes, sólidos suspensos	

KASSIM et al. (2023)	*Cyperus papyrus*	Papiro	Coliformes, nutrientes	
KASSIM et al. (2023)	*Eleocharis sp.*	Grama anã	Coliformes, nutrientes	
SUN et al. (2023)	*Phragmites australis*	Carniço	Nitratos (desnitrificação)	
LIU et al. (2021)	*Eleocharis dulcis*	Castanha-d'água chinesa	Nitrogênio, fósforo	
LIU et al. (2021)	*Scirpus validus*	Junco	Nitrogênio, fósforo	

Fonte: Autor (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os wetlands construídos representam uma alternativa estratégica para o tratamento descentralizado de águas residuárias em regiões semiáridas, contribuindo não apenas para a melhoria da qualidade ambiental, mas também para a ampliação das possibilidades de reuso em locais marcados pela baixa disponibilidade hídrica. A utilização dessas águas tratadas pode reforçar a segurança hídrica de comunidades vulneráveis e favorecer práticas sustentáveis em setores como agricultura e paisagismo.

A escolha das espécies vegetais empregadas nesses sistemas constitui um fator determinante para o alcance das eficiências desejadas. Cada espécie apresenta diferentes capacidades de adaptação e de remoção de poluentes, o que exige um conhecimento aprofundado de suas potencialidades para que sejam aplicadas de maneira adequada, de acordo com as características do efluente a ser tratado.

Nesse sentido, a ampliação de estudos voltados à seleção, adaptação e diversificação de macrófitas no semiárido fortalece a viabilidade dos wetlands construídos como tecnologia de baixo custo, eficiente e sustentável. Ao integrar as particularidades climáticas e hidrológicas da região com a escolha correta da vegetação, esses sistemas podem consolidar-se como solução essencial para promover o saneamento ambiental e o uso racional da água em contextos de escassez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELHAMEED, Rania M.; ELBASHA, Naglaa; HASSAN, Doaa M.; OMAR, Ahmed H. Enhancing the removal of pharmaceuticals in constructed wetlands using biochar: a review. *Heliyon*, v. 10, n. 3, e17109, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e17109.

ANAIS DO 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS, 2017, Campo Grande. *Anais eletrônicos*... Campo Grande: Grupo Wetlands Brasil, 2017. Disponível em: http://3cwbrasil.ucdb.br/. Acesso em: 26 set. 2025.

BERMÚDEZ, Víctor Manuel Sánchez. Wetlands construídos como alternativa para o tratamento de águas residuárias no semiárido paraibano. 2022. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

CARVALHO, Katiane Queiroz; SERGIO, Djesser Zechner; FINOTTI, Alexandra Rodrigues. Field-scale constructed floating wetland applied for revitalization of a subtropical urban stream in Brazil. Sustainability, v. 15, n. 20, 14923, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su152014923.

COSTA, Raíssa N. F. Avaliação do desempenho de wetlands construídos utilizando espécies vegetais do semiárido para o tratamento de efluentes domésticos. 2021. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2021.

GOMES, Márcio V. T.; BARBOSA, M. C.; SILVA, A. P.; LIMA, J. R. Phytoremediation of water contaminated with mercury using Typha domingensis in constructed wetland. Chemosphere, v. 103, p. 228–233, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.071.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. Treatment wetlands. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. DOI: https://doi.org/10.1201/9781420012514.

KASSIM, Taha I.; OYOO-OKOTH, Edward; OTIENO, Charles; WANYAMA, Joyce; MUSINGUZI, John. Performance of Cyperus papyrus and Eleocharis sp. in pilot-scale constructed wetlands treating domestic wastewater. Water, Air, & Soil Pollution, v. 234, 311, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s11270-023-06511-4.

LIU, Xiaofeng; WANG, Wei; ZHANG, Ming; LI, Jing; WU, Jian. The use of constructed wetlands for mitigating nitrogen and phosphorus from agricultural runoff: a review. Water, v. 13, n. 4, 476, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/w13040476.

MABHUNGU, Charles R.; ALUFASI, Richwell; PARAWIRA, Wilson; ZVIDZAI, Clever J.; STEFANAKIS, Alexandros I.; MUSILI, Nancy; LEBEA, Phiyani; CHAKAUYA, Ereck; CHINGWARU, Walter. Performance evaluation of a pilot-scale constructed wetland with Typha latifolia for remediation of domestic wastewater in Zimbabwe. Water, v. 15, n. 19, 2843, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/w15192843.

MARQUES, Ana D. C.; SANTOS, João P.; SILVA, Renata M. Uso de Typha domingensis em wetlands construídos no tratamento de efluentes domésticos no semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), 2017, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABES, 2017.

PANDIARAJAN, Thangavel; SANKARARAJAN, Ramesh. Constructed wetlands: an overview of recent developments in design and performance. Water, v. 17, n. 3, 556, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/w17030556.

SHAH, Surabhi; JAIN, Meera; SINGH, Rakesh. Performance of Canna indica in treating greywater using constructed wetlands. Environmental Challenges, v. 9, 100665, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100665.

SILVA JÚNIOR, Francisco C.; OLIVEIRA, Mariana S.; FREITAS, Roberto A.; ALMEIDA, Carla P. Saneamento em comunidades rurais do semiárido potiguar: desafios e perspectivas. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 57, n. 2, p. 45–60, 2022.

SILVA, Iasmin de Souza. Aplicação de wetlands para recuperação da qualidade da água de riachos urbanos. 2023. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2023.

SUN, Yihan; LI, Wei; DONG, Hao; LIU, Cheng; WANG, Peng. Comparison of nitrogen removal by Phragmites australis and Typha latifolia in constructed wetlands: insights into denitrification potential. Water, v. 17, n. 4, 560, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/w17040560.

VYMAZAL, Jan. Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environmental Science & Technology, v. 45, n. 1, p. 61–69, 2011. DOI: https://doi.org/10.1021/es101403q.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039393

EFICIÊNCIA DA FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

EFICIENCIA DEL FOSO SÉPTICO BIODIGESTOR EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

EFFICIENCY OF BIODIGESTER SEPTIC TANK IN THE TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE

Ianca Carneiro de Carvalho[1] e Patricia dos Santos Nascimento[2].

[1]Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Reconcâvo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas - BA, Brasil, eng.iancacarneiro@gmail.com, 0009-0002-0484-9338;
[2]Doutora em Agronômica e Docente, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, Brasil, psnascimento@uefs.br, 0000-0002-5051-9981.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

RESUMO

A inadequação do saneamento básico afeta a saúde e a qualidade de vida, especialmente em áreas rurais. Está pesquisa objetivou avaliar o desempenho do sistema de fossa séptica biodigestora (FSB) no tratamento de esgoto doméstico. O estudo foi realizado na Equipe de Estudos e Educação Ambiental (EEA) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), no município de Feira de Santana/BA, onde o sistema da FSB foi instalado. A FSB foi constituída por um reservatório de 1000 L e três reservatórios de 100 L de capacidade. As análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do afluente e efluente foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UEFS. A FSB demonstrou eficácia no tratamento de esgoto doméstico, com uma eficiência média de remoção de 63,7% para DBO e 53,1% para DQO no efluente analisado. Além disso, removeu em média 96,3% dos coliformes termotolerantes. Diante disso, a FSB se apresenta como uma solução promissora para o saneamento básico em áreas rurais.

Palavras-chave: Saneamento rural, Esgotamento sanitário e Tecnologias sociais

RESÚMEN

El saneamiento básico inadecuado afecta la salud y la calidad de vida, especialmente en zonas rurales. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño del sistema de fosa séptica biodigestora (FBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. El estudio se realizó en el Equipo de Estudios y Educación Ambiental (EEA) de la Universidad Estatal de Feira de Santana (UEFS), en el municipio de Feira de Santana, Bahía, donde se instaló el

sistema FBS. El FBS consistió en un reservorio de 1000 L y tres reservorios de 100 L. Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del influente y efluente se analizaron en el Laboratorio de Saneamiento de la UEFS. El FBS demostró efectividad en el tratamiento de aguas residuales domésticas, con una eficiencia promedio de remoción de 63.7% para DBO y 53.1% para DQO en el efluente analizado. Además, eliminó un promedio de 96.3% de coliformes termotolerantes. Por lo tanto, el FBS se presenta como una solución prometedora para el saneamiento básico en zonas rurales.

Palabras clave: Saneamiento rural, alcantarillado y tecnologías sociales

ABSTRACT

Inadequate basic sanitation affects health and quality of life, especially in rural areas. This research aimed to evaluate the performance of the biodigester septic tank (BST) system in treating domestic sewage. The study was conducted at the Environmental Studies and Education Team (EEA) of the Feira de Santana State University (UEFS), in the municipality of Feira de Santana, Bahia, where the BST system was installed. The BST consisted of a 1,000-L reservoir and three 100-L reservoirs. The physical, chemical, and microbiological parameters of the influent and effluent were analyzed at the UEFS Sanitation Laboratory. The BST demonstrated effectiveness in treating domestic sewage, with an average removal efficiency of 63.7% for BOD and 53.1% for COD in the analyzed effluent. Furthermore, it removed an average of 96.3% of thermotolerant coliforms. Therefore, the FSB presents itself as a promising solution for basic sanitation in rural areas.

Keywords: Rural Sanitation, Sewage and Social Technologies

INTRODUÇÃO

No Brasil são produzidos, diariamente, mais de 21 milhões de m³ de esgoto doméstico, mas apenas 51,6% desse volume é tratado adequadamente (IBGE, 2020). A situação é mais crítica na zona rural, onde 78% dos 31 milhões de habitantes carecem de serviços de saneamento básico, especialmente o esgotamento sanitário (Torres, 2019; EMBRAPA, 2020).

O Brasil ocupa a 55ª posição em acesso ao esgotamento sanitário, sendo que, no Nordeste, apenas 28% da população têm acesso à coleta de esgoto, e, desse total, 76% é tratado. Na Bahia, esse índice de tratamento é de apenas 79,7% (Instituto Trata Brasil, 2019; SNIS, 2021; Campos e Zukowski Junior, 2022).

A ausência ou ineficácia dos serviços de saneamento afeta a saúde pública, o meio ambiente e a economia, especialmente em áreas rurais (Santos et al., 2018; Torres, 2019). Segundo o Ministério da Saúde, a cada R$1,00 investido em saneamento economiza R$9,00

em tratamentos médicos (Brasil, 2017). O Instituto Trata Brasil (2019) estima que cerca de 273 mil internações no país sejam causadas por doenças relacionadas à água, sendo 113,7 mil casos no Nordeste.

Para enfrentar esses desafios, tecnologias como a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) estão sendo implementadas como alternativas para promover o saneamento básico em áreas rurais (Silva e Picaço, 2021). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da FSB no tratamento de esgoto doméstico, com foco em sua viabilidade para promover o saneamento rural.

MATERIAIS E MÉTODOS

A instalação do sistema da fossa séptica biodigestora (FSB) ocorreu na sede da Equipe de Estudos e Educação Ambiental (EEA) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), no município de Feira de Santana/BA, o qual está situado na latitude 12º 15' 24" S e longitude 37º 57' 53" W, a 234m de altitude (IBGE, 2019).

O sistema FSB consistia em um reservatório de 1000 L conectado a uma fossa séptica que recebia esgoto dos vasos sanitários da EEA. Após o primeiro reservatório, havia dois módulos de fermentação e um reservatório destinado a coleta dos efluentes tratados, todos com capacidade para 100 L (Galindo, 2019).

Após montagem da FSB, adicionou-se, como inóculo, 1 L de esterco bovino fresco, dissolvido em 1 L de água de abastecimento no primeiro módulo de fermentação e diariamente, no mesmo horário (10:00h) eram adicionados 10 L de esgoto proveniente do primeiro reservatório para tratamento, por um período de 20 dias.

O monitoramento dos afluentes e dos efluentes foi realizado por meio de três amostragens, entre setembro e janeiro de 2023, determinando suas características físico-químicas e microbiológicas.

Os afluentes foram coletados em uma saída que antecedia o primeiro módulo de fermentação. Os efluentes foram coletados no último reservatório, entre 15 e 30 cm abaixo da superfície da água de acordo com a NBR 9898 (ABNT, 1987), e as amostras encaminhadas para o Laboratório de Saneamento da UEFS.

As análises foram realizadas em triplicata, com exceção das análises microbiológicas, as quais foram feitas conforme o método Substrato Cromogênico Enzimático Colilert (Covert et al., 1989). Os parâmetros físico-químicos determinados e seus respectivos métodos se encontram na Tabela 1, salienta-se que a temperatura foi medida in loco.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos avaliados, métodos e referências.

Parâmetros	Unidade	Método	Referência
pH	-	Eletrométrico	CETESB L5.145/78
Temperatura	ºC	Termômetro digital	-
Condutividade elétrica	dS m^{-1}	Condutivímetro	CETESB L5.115/93
$DBO^1_{5,20}$	mg L^{-1}	Respirométrico	Eaton *et al*. (2005)
DQO^2		Refluxo fechado	

Fonte: Autores (2023). 1 – Demanda bioquímica de oxigênio; 2 – Demanda química de oxigênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 2, o pH do afluente variou entre 7,1 e 7,9, faixa recomendada para o processo anaeróbico. No efluente, o pH variou entre 6,5 e 7,6, indicando que a metanogênese ocorreu, o que demonstra uma digestão anaeróbica eficiente, conforme relatado por Chernicharo (2007) e Riuji (2009).

Tabela 2. Caracterização físico-química do afluente e do efluente da fossa séptica biodigestora (FSB) (média ± desvio padrão).

Amostras	pH		Temperatura (ºC)		Condutividade elétrica (dS m^{-1})	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
1	7,9 ± 0,00	7,6 ± 0,00	24	24	2,2 ± 0,05	2,1 ± 0,01
2	7,9 ± 0,06	6,5 ± 0,29	27	28	2,2 ± 0,06	2,0 ± 0,06
3	7,1 ± 0,06	6,6 ± 0,15	26	28	2,2 ± 0,03	1,7 ± 0,01
Média	7,6	6,9	26	27	2,2	1,9

Fonte: Autores (2023).

A temperatura média (T) do afluente e do efluente variou entre 24 e 28 ºC (Tabela 2), com pequenas variações, de acordo com o observado no estudo de Oliveira (2018). Esses valores estão dentro da faixa média de operação da FSB (Galindo et al., 2010).

A condutividade elétrica (CE) do efluente variou de 1,7 a 2,1 dS m^{-1} (Tabela 2), evidenciando a remoção de sais do afluente. Freitas et al. (2015) também observaram uma redução na CE do esgoto tratado por FSB em relação ao esgoto bruto, atribuindo essa diminuição à remoção de íons nutrientes como Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}.

Os valores médios de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no afluente variaram entre 125,0 a 172,5 mg L^{-1}, enquanto no efluente variaram entre 33,3 a 82,0 mg L^{-1}. Quanto a demanda química de oxigênio (DQO), os valores médios no afluente variaram de 212,8 a 317,5 mg L^{-1}, e no efluente, de 82,5 a 214,5 mg L^{-1} (Tabela 3).

Tabela 3. Concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de demanda química de oxigênio (DQO) no afluente e no efluente da fossa séptica biodigestora (FSB) (média ± desvio padrão).

$DBO_{5,20}$ (mg L^{-1})			
Amostras	**Afluentes**	**Efluentes**	**Eficiência de remoção (%)**
1	172,5 ± 10,61	82,0 ± 0,00	52,5
2	130,0 ± 0,00	45,0 ± 1,73	65,4
3	125,0 ± 0,00	33,3 ± 2,31	73,3
Média	142,5	53,4	63,7
DQO (mg L^{-1})			
Amostras	**Afluentes**	**Efluentes**	**Eficiência de remoção (%)**
1	317,5 ± 36,40	214,5 ± 31,50	48,0
2	305,4 ± 4,95	152,7 ± 2,40	50,0
3	212,8 ± 24,32	82,5 ± 16,97	61,2
Média	278,6	149,9	53,1

Fonte: Autores (2023).

O valor médio de DBO no efluente (53,4 mg L^{-1}) é próximo ao encontrado por Soares et al. (2016), que obteve uma média de 59,2 mg L^{-1}. Em todas as amostragens, houve redução da DBO e DQO, assim como verificado por Figueiredo et al. (2019), indicando que a FSB pode alcançar eficiências de remoção superiores aos tanques (fossas) sépticos tradicionais, os quais, de acordo com Jordão e Pessôa (2011), possuem eficiências entre 30% e 50% para DBO.

A concentração de coliformes termotolerantes (CTer) variou de 2,0x10 a $2,2x10^3$ NMP $100mL^{-1}$ no afluente, enquanto no efluente essa variação foi de <1,8 a 4,5x10 NMP $100mL^{-1}$. Durante o período analisado, observou-se uma redução expressiva de CTer entre o afluente e o efluente, com eficiência de remoção média de 96,3%, demonstrando a eficácia da fossa séptica biodigestora no tratamento do esgoto doméstico (Tabela 4).

Tabela 4. Concentrações de coliformes termotolerantes (CTer) no afluente e no efluente da fossa séptica biodigestora (FSB).

Coliformes Termotolerantes (NMP $100mL^{-1}$)			
Amostra	**Afluente**	**Efluente**	**Eficiência de remoção (%)**
1	2,0x10	<1,8	91,0
2	$2,2x10^3$	4,5x10	97,9
3	$1,4x10^3$	<1,8	99,9

Média	96,3

Fonte: Autores (2023).

Estudos anteriores, como os de Freitas et al. (2015) e Novaes et al. (2002), também relataram alta eficiência de remoção de coliformes termotolerantes, não detectando sua presença no efluente após o tratamento com FSB.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fossa séptica biodigestora (FSB) demostrou eficiência no tratamento de esgoto doméstico, promovendo melhorias nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos no efluente em comporação ao afluente. A redução da matéria orgânica foi notável, superando as remoções observadas nas fossas sépticas tradicionais. Ademais, a redução da carga microbiologia foi expressiva. Diante disso, a FSB se apresenta como uma solução promissora para o saneamento básico em áreas rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1987. ABNT NBR 9898: "Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptors". Rio de Janeiro: ABNT.

Brasil. "Cada real gasto em saneamento economiza nove em saúde". 2017. Brasília: Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false. Acesso em: jan. 2023.

Campos, V. C. and Zukowski Junior, J. C. 2022. "Assessment of the Sewage Coverage Index in the World from 2000 to 2020: Situation of the Indicator in the Countries and the Importance of Monitoring this Information". *International Journal of Latest Research in Humanities and Social Science* 5 (s.n.): 135-143.

Chernicharo, C. A. L. 2007. "Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias e Reatores anaeróbicos". 2. ed. *Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais.

Covert, T. C., Shadix, L.C., Rice, E. W, et al. 1989. "Evaluation of the auto-analysis Colilert test for detection and enumeration of total coliforms". *Applied and Environmental Microbiology* 54 (10): 215-229. https://doi.org/10.1128/aem.55.10.2443-2447.1989.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2020. "Saneamento Básico Rural". Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-saneamento-basico-rural.

Acesso em: 30 ago. 2022.

Figueiredo, I. C. S., Coasaca, R. L., Duarte, N. C., et al. 2019. "Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública". *Revista Departamento de Águas e Esgotos (DAE)* 67 (220): 100-114. https://doi.org/10.4322/dae.2019.058.

Freitas, G. A.; Pereira, M. A. B.; Bessa, N. G. F., et al. 2015. "Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde, Gurupi-TO". In: *XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (CBCS)*. Natal – RN. Disponível em: https://www.eventossolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1718.pdf. Acesso em: nov. 2022.

Galindo, N.; Silva, W. T. L.; Novaes, A. P., et al. 2010. "Perguntas e respostas: Fossa Séptica Biodigestora". *São Carlos – SP: Embrapa Instrumentação* (49): 1-26. ISSN 1518-7179.

Galindo, N.; Silva, W. T. L.; Novaes, A. P., et al. 2019. "Perguntas e respostas: fossa séptica biodigestor edição revisada e ampliada". *São Carlos – SP: Embrapa Instrumentação* (70):1-34. ISSN 1518-7179.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2019. "Brasil em síntese". Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/feira-desantana/panorama. Acesso em: mai 2023.

Instituto Trata Brasil. 2019. "Com mais de 273 mil internações por doenças de veiculação hídrica, falta de saneamento básico faz Brasil gastar R$ 108 milhões com hospitalizações". Disponível em: https://tratabrasil.org.br/images/estudos/saneamento-e-saude/PRESSRELEASE_SANEAMENTO_E_SAUDE_1.pdf. Acesso em: ago. 2022.

Jordão, E. P., Pessôa, C. A. 2011. "Tratamento de Esgoto Doméstico". 6 ed. Rio de Janeiro: ABES.

Novaes, A. P., Simões, M. L., Martin Neto, L., et al. 2002. "Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica". *Comunicado Técnico: Embrapa Instrumentação Agropecuária*. São Carlos – SP.

Oliveira, T. J. J. 2018. "Fossa Séptica Biodigestora [manuscrito]: limitações e potencialidade de sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais". 106 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)*. Ouro Preto – MG, 2018.

Riuji, L. C. 2009. "Research on anaerobic digestion of organic solid waste at household level in Dar Es Salaam". 71 f. *Bachelor thesis. (Institute of Natural Resource Sciences)*, Zurich University, Tanzania.

Santos, F. F. S., Daltro Filho, J., Machado, C. T., et al. 2018. "O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública". *Revista Brasileira de Meio Ambiente (RVBMA)* 4 (1): 241-251. ISSN: 2595-4431.

Silva, L. C., Picanço, A. P. 2021. "Visão geral sobre as tecnologias sustentáveis do saneamento rural no tratamento de esgotos sanitários no Brasil entre 2008 e 2018". *Revista AIDIS e Ingeniería y Ciencias Ambientales* 14 (3): 1444-1462.

https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.70540.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. 2021. "Diagnóstico temático: serviços de água e esgoto". Disponível em: http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: mar. 2023.

Soares, M. T. S., Calheiros, D. F., Galvani, F., et al. 2016. "Parâmetros físico-químicos e eficiência de fossa séptica biodigestora na redução da carga orgânica de esgoto originado de água doce ou salobra, na Borda Oeste do Pantanal". *Cadernos de Agroecologia* 11 (2): 1-12. ISSN 2236-7934.

Torres, D. M. 2019. "Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas". *Revista HOLOS* 8 (s.n.): 1-15. https://doi.org/10.15628/holos.2019.9192.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039407

ESTUDO DO POTENCIAL DA TYPHA DOMINGENSIS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE CONTAMINANTE EMERGENTE

ESTUDIO DEL POTENCIAL DE *TYPHA DOMINGENSIS* PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

STUDY OF THE POTENTIAL OF TYPHA DOMINGENSIS FOR PHYTOREMEDIATION OF AN EMERGING CONTAMINANT

Júlia Ferreira Freitas[1], Socorro Dias Morais[2], Francisco Rodrigo de Lemos Caldas[3]
[1]Graduanda, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, juliaferreirafreitas26@gmail.com, 0009-0006-6866-5887;
[2]Mestranda, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, redias1301@gmail.com, 0009-0001-5730-3577;
[3]Doutor, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, rodrigo.lemos@ifce.edu.br, 0000-0002-5376-849X..

Eixo Temático 05 – Esgotamento Sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes e monitoramento de la eficiencia del tratamiento.

RESUMO

Produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PCPs) têm se tornado contaminantes ambientais emergentes devido à sua persistência no meio, potencial toxicológico e ausência de regulamentação. No Brasil, o problema é agravado pela baixa cobertura de tratamento de esgoto, resultando no lançamento de efluentes contaminados em corpos hídricos urbanos e rurais. Diante das limitações dos métodos convencionais de remoção, como fotólise e adsorção, a fitorremediação surge como alternativa sustentável, utilizando plantas para remover, degradar ou estabilizar poluentes. Entre as espécies com potencial para esse fim, destaca-se Typha spp. , conhecida por sua rusticidade, elevada biomassa e capacidade de bioacumulação. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de Typha domingensis na remoção do fármaco indometacina. O experimento foi conduzido por dois meses no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – campus Juazeiro do Norte, com plantas cultivadas em recipientes contendo sedimento e solução de indometacina (4 mg/L) sendo esse o grupo tratamento e um grupo controle contendo apenas a planta. Foram monitorados parâmetros físico-químicos do solo (pH, condutividade elétrica, turbidez e matéria orgânica) e realizadas análises das folhas e rizomas para determinação do teor de compostos fenólicos e do fator de proteção solar (FPS). Os resultados mostraram que o pH manteve-se próximo à neutralidade em ambos os grupos, com variações moderadas na condutividade elétrica ao longo do período experimental e a matéria orgânica reduziu-se consideravelmente nos primeiros dias, possivelmente em função do crescimento vegetal. Em termos fisiológicos, observou-se que o fármaco, nas folhas do grupo de tratamento, estimulou o aumento no teor de compostos fenólicos e nos valores de FPS em comparação ao grupo de controle. Os dados

obtidos fornecem respostas para compreender os estímulos da Typha domingensis à presença de fármacos, contribuindo para estudos futuros sobre o uso de macrófitas aquáticas em sistemas de fitorremediação.

Palavras-chave: Contaminantes emergentes, Fitorremediação, Typha domingensis

RESÚMEN

Los productos farmacéuticos y de higiene personal (PCPs) se han convertido en contaminantes ambientales emergentes debido a su persistencia en el medio, potencial toxicológico y ausencia de regulación. En Brasil, el problema se agrava por la baja cobertura de tratamiento de aguas residuales, lo que resulta en el vertido de efluentes contaminados en cuerpos de agua urbanos y rurales. Ante las limitaciones de los métodos convencionales de eliminación, como la fotólisis y la adsorción, la fitorremediación surge como una alternativa sostenible, utilizando plantas para eliminar, degradar o estabilizar contaminantes. Entre las especies con potencial para este fin, se destaca Typha spp., conocida por su rusticidad, elevada biomasa y capacidad de bioacumulación. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de Typha domingensis en la eliminación del fármaco indometacina. El experimento se llevó a cabo durante dos meses en el Instituto Federal de Ciencia y Tecnología de Ceará (IFCE) – campus Juazeiro do Norte, con plantas cultivadas en recipientes que contenían sedimento y una solución de indometacina (4 mg/L), correspondiente al grupo de tratamiento, y un grupo control con solo la planta. Se monitorearon parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, conductividad eléctrica, turbidez y materia orgánica) y se realizaron análisis de hojas y rizomas para determinar el contenido de compuestos fenólicos y el factor de protección solar (FPS). Los resultados mostraron que el pH se mantuvo cercano a la neutralidad en ambos grupos, con variaciones moderadas en la conductividad eléctrica a lo largo del período experimental, y que la materia orgánica se redujo considerablemente en los primeros días, posiblemente acompañada por el crecimiento vegetal. A nivel fisiológico, se observó que el fármaco, en las hojas del grupo de tratamiento, estimuló el aumento del contenido de compuestos fenólicos y de los valores de FPS en comparación con el grupo control. Los datos obtenidos contribuyen a comprender las respuestas de Typha domingensis a la presencia de fármacos, aportando información para futuros estudios sobre el uso de macrófitas acuáticas en sistemas de fitorremediación.

Palabras clave: Contaminantes emergentes, Fitorremediación, Typha domingensis

ABSTRACT

Pharmaceuticals and personal care products (PCPs) have become emerging environmental contaminants due to their persistence in the environment, toxicological potential, and lack of regulation. In Brazil, the problem is worsened by the low coverage of wastewater treatment, resulting in the discharge of contaminated effluents into urban and rural water bodies. Given the limitations of conventional removal methods, such as photolysis and adsorption, phytoremediation emerges as a sustainable alternative, using plants to remove, degrade, or stabilize pollutants. Among the species with potential for this purpose, Typha spp. stands out for its hardiness, high biomass, and bioaccumulation capacity. This study aimed to evaluate

the potential of Typha domingensis in the removal of the pharmaceutical indomethacin. The experiment was conducted over two months at the Federal Institute of Science and Technology of Ceará (IFCE) – Juazeiro do Norte campus, with plants grown in containers containing sediment and an indomethacin solution (4 mg/L), comprising the treatment group, and a control group with only the plant. Soil physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, turbidity, and organic matter) were monitored, and analyses of leaves and rhizomes were carried out to determine phenolic compound content and sun protection factor (SPF). The results showed that pH remained close to neutrality in both groups, with moderate variations in electrical conductivity throughout the experimental period, and that organic matter decreased considerably in the first days, possibly accompanied by plant growth. At the physiological level, the drug, in the leaves of the treatment group, stimulated an increase in phenolic compound content and SPF values compared to the control group. The data obtained help to understand the responses of Typha domingensis to the presence of pharmaceuticals, providing information for future studies on the use of aquatic macrophytes in phytoremediation systems.

Keywords: Emerging contaminants, Phytoremediation, Typha domingensis

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PCPs) emergiram como contaminantes ambientais de preocupação emergente devido à sua persistência, potencial toxicológico e ausência de regulamentação (PATEL et al., 2019). Entre eles, destacam-se os fármacos de uso humano e veterinário, frequentemente detectados em ambientes aquáticos e terrestres, resultantes do descarte inadequado, da eliminação metabólica e da ineficiência das estações de tratamento de esgoto (BILA & DEZOTTI, 2003). No Brasil, a baixa cobertura de saneamento agrava o problema: apenas 51,2% do esgoto é tratado, permitindo o lançamento de efluentes contaminados em corpos hídricos urbanos (ALMEIDA, 2010). Esses ecossistemas, essenciais sob aspectos hidráulicos, ecológicos e econômicos, ficam sujeitos à contaminação crônica por compostos de degradação complexa.

Diante das limitações de métodos convencionais como fotólise e adsorção, destacam-se as fitotecnologias, em especial a fitorremediação, que utiliza plantas e microrganismos da rizosfera para remover, degradar ou estabilizar contaminantes (JEEVANANTHAM et al., 2019). Macrófitas como *Typha spp.* apresentam alta biomassa, rusticidade e capacidade de bioacumulação (BARTHA et al., 2014; CHANDRA et al., 2010; MUFARREGE et al., 2020). Seu sistema radicular promove aeração, estimula a atividade

microbiana e facilita a remoção de matéria orgânica e nutrientes (IAQUELI, 2016), ativando mecanismos antioxidantes e produzindo compostos fotoprotetores que funcionam como biomarcadores fisiológicos (CHANDRA et al., 2010; CHENGLIANG et al., 2018).

O presente estudo foi conduzido no laboratório de química do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE *campus* Juazeiro do Norte - CE, durante o período de dois meses, com o intuito de investigar o potencial da espécie *Typha domingensis* na remoção do fármaco indometacina em sistemas de fitorremediação. A pesquisa buscou avaliar a tolerância da planta ao contaminante, sua eficiência de remoção e os efeitos fisiológicos decorrentes da exposição, com foco na atividade antioxidante como indicativo da produção de compostos bioativos.

A realização desta análise é de grande relevância para a área de tratamento de efluentes contaminados por produtos farmacêuticos, especialmente no contexto dos contaminantes emergentes, pois contribui para ampliar o entendimento sobre o uso de macrófitas aquáticas em estratégias de mitigação ambiental. Além disso, seus resultados podem fornecer subsídios para a implementação de tecnologias sustentáveis de purificação de águas residuais, atendendo a demandas tanto de preservação ambiental quanto de melhoria do saneamento básico no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo sucedeu-se com plantas de *Typha domingensis* coletadas em uma lagoa no município de Quixelô – CE e acondicionadas individualmente em baldes plásticos de 12 L, contendo 8 kg de sedimento composto por 4,8 kg de terra argilosa, 800 g de matéria orgânica e 2,4 kg de areia lavada. Em seguida, foram adicionados 4 L de solução líquida, de acordo com os tratamentos definidos.O delineamento experimental foi composto por dois grupos: (1) tratamento, contendo indometacina de grau farmacêutico (4 mg/L), preparada por diluição direta em água destilada; e (2) controle, contendo apenas água destilada. Os volumes foram ajustados periodicamente para compensar perdas por evapotranspiração.

As coletas ocorreram nos dias 0, 15, 30 e 60 após o início do experimento. Amostras de solo (50 g) foram secas a 50 °C, homogeneizadas com 100 mL de água destilada, filtradas

e analisadas quanto a pH, condutividade elétrica, turbidez e matéria orgânica, seguindo os protocolos da APHA (2017).

As folhas de *typha* foram coletadas, secas em estufa a 45 °C por 24 horas e maceradas. Para a obtenção do extrato, foram utilizados 50 g de material vegetal com 100 mL de etanol 70%. A mistura foi submetida a banho ultrassônico por 40 minutos, seguida de filtração. O extrato resultante foi armazenado sob refrigeração até as análises. Para a análise do FPS, o sobrenadante filtrado foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL e completado com etanol 70%. Em seguida, 4 mL do extrato foram diluídos em 100 mL de etanol 70%, resultando em uma concentração final de 0,2 mg/mL. A leitura foi realizada por espectrofotometria, com absorbância medida nos comprimentos de onda para 290, 295, 300, 305, 310,315 e 320 nm.

Para determinação do teor de compostos fenólicos totais do extrato das amostras, foi utilizado o reagente de Folin-Ciocalteau conforme método de Slinkard e Singleton (1977), com modificações, usando o ácido gálico como composto fenólico padrão, nas concentrações de 5; 10; 15; e 20 µg/mL, para construir uma curva de calibração. Foram preparadas soluções em etanol a 5,0 mg/mL do extrato da amostra. Em eppendorfs de 1,5 mL, foi adicionado 10, 20, 40 µL de volume de solução do extrato da amostra (Concentração final da amostra 50, 100, 200 µg/mL, respectivamente), 910, 900, 880 µL de água destilada e 20 µL do reagente de Folin –Ciocalteu e agitados durante 1 min. Em seguida adicionou-se 60 µL de uma solução de carbonato de sódio a 15 %. Após a adição do carbonato de sódio, os tubos foram agitados por 30 segundos, permanecendo, em seguida, a mistura em repouso por 2 horas, protegida da luz. Terminado o período de reação, utilizou- se o espectrofotômetro para leitura utilizando absorbância medida a 760 nm. Todas as determinações realizadas em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas abaixo descrevem os parâmetros físico-químicos registrados para os grupos tratamento e controle ao longo dos 58 dias de análise.

Tabela 1. Análises físico-químicas realizadas no grupo de tratamento

Grupo 1 - Tratamento					
Análises	**Dia 0**	**Dia 15**	**Dia 30**	**Dia 45**	**Dia 58**
pH	7,18	6,69	7,8	7	7

Condutividade	300 µS/cm	333,5 µS/cm	393 µS/cm	277,1 µS/cm	360,5 µS/cm
Turbidez	4,26 NTU	197,2 NTU	240 NTU	98,7 NTU	246 NTU
Matéria orgânica	> 18%	1%	1%	1%	1%

Fonte: Autoria própria (2025)

Na Tabela 1, observa-se que o pH se manteve em torno da neutralidade ao longo de todo período experimental. A condutividade apresentou pouca variação, provavelmente relacionada a mobilidade de cargas, característica da medição eletrométrica. A turbidez apresentou alterações devido a suspensão de sólidos durante o experimento . Já o teor de matéria orgânica reduziu-se consideravelmente devido ao crescimento das plantas no decorrer do processo.

Tabela 2. Análises físico-químicas realizadas no grupo de controle

Grupo 2 - Controle					
Análises	**Dia 0**	**Dia 15**	**Dia 30**	**Dia 45**	**Dia 58**
pH	7,6	7	7,2	7	7
Condutividade	208 µS/cm	251,09 µS/cm	385 µS/cm	261,8 µS/cm	282,3 µS/cm
Turbidez	1,61 NTU	147 NTU	271 NTU	54,5 NTU	198 NTU
Matéria orgânica	> 18%	1%	1%	1%	1%

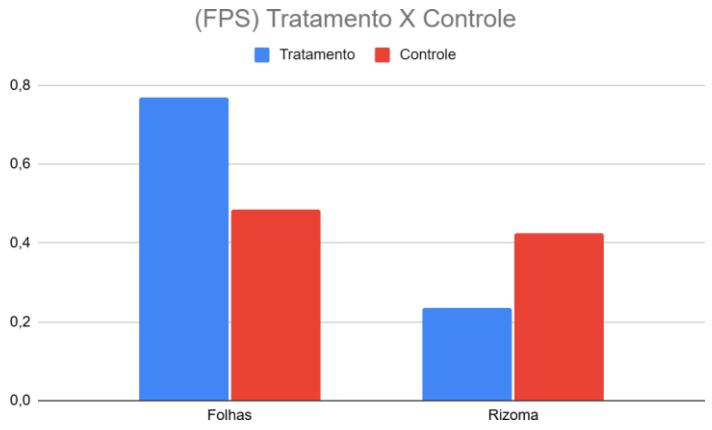
Fonte: Autoria própria (2025)

Na tabela 2, assim como o grupo de tratamento, nota-se que o pH permaneceu estável ao longo do período de análise, mantendo-se próximo a neutralidade. A condutividade apresentou variação moderada, com um pico registrado na metade do experimento, possivelmente decorrente da movimentação de íons. A turbidez apresentou alterações devido a suspensão de sólidos durante o experimento e a matéria orgânica reduziu de forma acentuada nos primeiros dias, resultado relacionado ao seu aproveitamento no crescimento das plantas.

Após o período de 58 dias, constatou-se que o fármaco utilizado estimulou de forma significativa a produção de compostos fenólicos nas folhas, o que resultou diretamente no aumento do FPS.

O gráfico 1 apresenta a comparação dos valores de FPS entre folhas e raízes nos grupos tratamento e controle, enquanto o gráfico 2 mostra os teores de compostos fenólicos nessas mesmas condições.

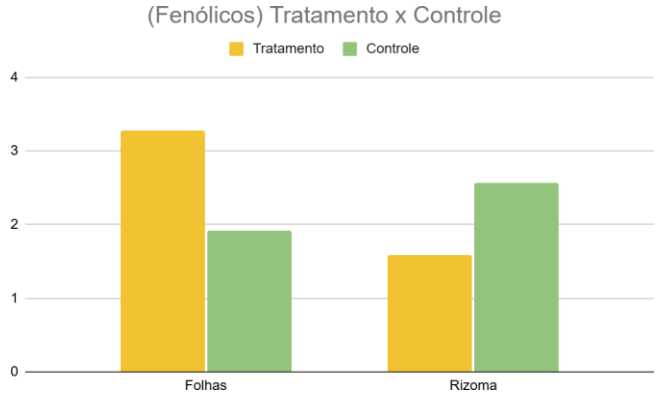
Gráfico 1. Comparação do FPS nos grupos tratamento e controle entre suas folhas e rizoma



Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos indicam que o tratamento com indometacina promoveu um aumento expressivo no FPS das folhas quando comparado ao grupo controle, como evidenciado no Gráfico 1. Esse comportamento foi acompanhado por um acréscimo significativo nos teores de compostos fenólicos nas folhas do grupo tratamento, conforme demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2. Comparação do teor de fenólicos nos grupos de tratamento e controle entre suas folhas e rizoma



Fonte: Autoria própria (2025)

O estudo revelou uma ligação positiva entre a quantidade de fenólicos e o FPS, o que vai ao encontro do que Ebrahimzadeh et al. (2014) descobriram. Eles notaram uma relação relevante do ponto de vista estatístico entre esses fatores em substâncias extraídas de plantas medicinais ($r = 0,55$; $p = 0,01$). De acordo com os autores, o aumento de elementos fenólicos - frequentemente induzido por estresses ambientais e químicos - intensifica a capacidade antioxidante e, consequentemente, a proteção solar dada pelos extratos.

De forma semelhante, Fernandes et al. (2020) relataram que extratos extraídos de *Syzygium cumini* com alto teor de fenólicos apresentaram FPS elevado, evidenciando que tais elementos contribuíram diretamente na fotoproteção. Moura (2020) complementa que variações na concentração de fenólicos em espécies de plantas diversas resultam em

modificações proporcionais tanto no FPS quanto na atividade antioxidante, sugerindo que o depósito desse metabólitos secundários pode ser um sistema de adaptação perante situações de mais exposição à radiação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu avaliar o potencial da Typha domingensis na fitorremediação de ambientes contaminados com o fármaco indometacina. Observou-se que a espécie apresentou boa adaptação às condições experimentais, com manutenção da estabilidade dos parâmetros físico-químicos do solo e capacidade de crescimento mesmo em contato com o contaminante.

Do ponto de vista fisiológico, verificou-se que a exposição ao fármaco estimulou o aumento na produção de compostos fenólicos e no fator de proteção solar (FPS) nas folhas, indicando ativação de mecanismos antioxidantes e fotoprotetores. Esses resultados reforçam a possibilidade de utilização da Typha domingensis como bioindicadora e como espécie promissora em sistemas de fitorremediação de águas residuais contendo contaminantes emergentes.

Entretanto, alguns aspectos merecem aprofundamento em pesquisas futuras, como a quantificação direta da remoção do fármaco, o acompanhamento em períodos mais longos e a investigação de outros biomarcadores fisiológicos. Dessa forma, o trabalho contribui para o avanço do entendimento sobre o uso de macrófitas aquáticas em tecnologias ambientais sustentáveis, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de alternativas viáveis ao tratamento de águas contaminadas por fármacos, com destaque para contextos de baixa cobertura de saneamento básico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Lutiane Queiroz de. 2010. “Vulnerabilidades Socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza”. Ceará: Instituto de Geociência e Ciência Exatas, Programa de pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista.

Apha, American Public Health Association. Baird, R., & Bridgewater, L. 2017. “Standard methods for the examination of water and wastewater”. *American Public Health Association*. https://doi.org/10.2105/ajph.51.6.940-a.

Bartha, B., C. Huber, e P. Schröder. 2014. "Uptake and metabolism of diclofenac in Typha latifolia − How plants cope with human pharmaceutical pollution". *Plant Science*.

Bila, Daniele Maia, e Márcia Dezotti. 2003. "Fármacos no meio ambiente". *Química nova* 26 (4): 523–30. https://doi.org/10.1590/s0100-40422003000400015.

Chandra, Ram, e Sangeeta Yadav. 2010. "Potential of Typha Angustifolia for Phytoremediation of Heavy Metals from Aqueous Solution of Phenol and Melanoidin". *Ecological Engineering* 36 (10): 1277–84. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.003.

Chengliang S, Stacia Dudley, John Trumble, e Jay Gan. 2018. "Pharmaceutical and Personal Care Products-Induced Stress Symptoms and Detoxification Mechanisms in Cucumber Plants". *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)* 234: 39–47. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.041.

Ebrahimzadeh, Mohammad Ali, Reza Enayatifard, Masoumeh Khalili, Mahdieh Ghaffarloo, Majid Saeedi, e Jamshid Yazdani Charati. 2014. "Correlation between Sun Protection Factor and Antioxidant Activity, Phenol and Flavonoid Contents of Some Medicinal Plants". *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR* 13 (3): 1041–47.

Fernandes, Artur Moura, Sônia Maria Costa Siqueira, Milena Lira Furtado, Alissa Ellen Queiroz Ribeiro Campos, Nádia Aguiar Portela Pinheiro, e Antônia Fádia Valentim De Amorim. 2020. "Avaliação das atividades antioxidante e fotoprotetora da espécie syzygium cumini(L.) Skeels". *Brazilian journals*. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16088/13167.

Iaqueli, André Luiz. 2016. "Wetlands construídos: aplicações, benefícios e vantagens do sistema". Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia". Portal Tratamento de Água. 2016. https://tratamentodeagua.com.br/artigo/wetlands-construidos-aplicacoes-beneficios-e-vantagens/.

Jeevanantham, S., A. Saravanan, R. V. Hemavathy, P. Senthil Kumar, P. R. Yaashikaa, e D. Yuvaraj. 2019. "Removal of Toxic Pollutants from Water Environment by Phytoremediation: A Survey on Application and Future Prospects". *Environmental Technology & Innovation* 13: 264–76. https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.007.

Moura, Merianne Mitamara Vasconcelos de. 2020. "Atividade Fotoprotetora De Extratos Vegetais: Uma Revisão Da Literatura". Repositorio UFPB. 2020. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16088/13167.

Mufarrege, María De Las Mercedes, Gisela Alfonsina Di Luca, Hernán Ricardo Hadad, e María Alejandra Maine. 2021. "Exposure of Typha Domingensis to High Concentrations of Multi-Metal and Nutrient Solutions: Study of Tolerance and Removal Efficiency". *Ecological Engineering* 159 (106118): 106118. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106118.

Patel, Manvendra, Rahul Kumar, Kamal Kishor, Todd Misna, Charles U. Pittman Jr, e Dinesh Mohan. 2019. "Pharmaceuticals of Emerging Concern in Aquatic Systems: Chemistry, Occurrence, Effects, and Removal Methods". *Chemical Reviews* 119 (6): 3510–3673. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00299.

Slinkard, Karen, e Vernon L. Singleton. 1977. "Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods". *American Journal of Enology and Viticulture* 28 (1): 49–55. https://doi.org/10.5344/ajev.1974.28.1.49.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039446

FIBRA DE COCO VERDE COMO PARTE DO MEIO SUPORTE DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PLANTADOS COM A CULTURA DO FEIJÃO (*PHASEOLUS VULGARIS*) NA REMOÇÃO DE SAIS DE ESGOTO DOMÉSTICO

FIBRA DE COCO VERDE COMO PARTE DEL MEDIO SOPORTE DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PLANTADOS CON EL CULTIVO DE FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS) EN LA REMOCIÓN DE SALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

GREEN COCONUT FIBER AS PART OF THE SUPPORT MEDIUM OF CONSTRUCTED WETLANDS PLANTED WITH COMMON BEAN (PHASEOLUS VULGARIS) IN THE REMOVAL OF SALTS FROM DOMESTIC WASTEWATER

Júlia Santos Amaral[1], Joyce Kaline Sousa Santos[2], Elzio Lima da Silva Júnior[3], Selma Cristina da Silva[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, juliaamaral@aluno.ufrb.edu.br, nº de ORCID: 0009-0003-9146-2955;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, joycekaline@aluno.ufrb.edu.br;
[3]Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFRB. Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, elziojunior.97@gmail.com, nº de ORCID: 0009-0003-1868-7306;
[4]Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos pela UFBA. Mestre em Recursos Hídricos pela UFCG. Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Departamento pela UnB. Pós Doutora em tratamento de efluentes pela UFMG, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, selma@ufrb.edu.br, nº de ORCID: 0000-0002-0387-6943.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

Entre as tecnologias de tratamento descentralizado de esgotos, os *wetlands* construídos (WCs) têm se destacado por sua eficiência no tratamento e baixo custo de operação. Contudo, a variabilidade na remoção de sais e nutrientes permanece como um desafio, exigindo estudos que aliem a caracterização detalhada do efluente ao monitoramento contínuo da eficiência do sistema. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema experimental composto por dois *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) para tratamento de esgotos domésticos efluentes de um reator UASB seguido de um de plantas flutuantes (WCPF) com a macrófita alface d´água (*Pistia stratiotes* L.), na remoção de sais. Os meios suportes dos WCFV eram compostos de solo e fibra de coco (WCFV-1) e apenas solo (WCFV-3), plantados com a cultura do feijão (*Phaseolus Vulgaris*). Esse trabalho apresenta os

resultados de três ciclos de monitoramento, com frequência das análises quinzenais dos seguintes parâmetros: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, dureza e DQO. Entre os principais desafios observados, destacam-se a instabilidade na remoção de sais, especialmente Na^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}, que podem representar riscos de salinização e sodificação dos solos agrícolas, e a necessidade de manejo específico para evitar acúmulo iônico. Por outro lado, resultados promissores foram obtidos para a remoção de DQO e K^+, evidenciando o potencial dos WCFV em reduzir carga orgânica e equilibrar a disponibilidade de nutrientes benéficos para as plantas. Conclui-se que os *wetlands* construídos de fluxo vertical, quando associados a tanques de macrófitas e operados com estratégias de manejo adequados, apresentam grande potencial para viabilizar o reuso agrícola de efluentes, contribuindo para a segurança hídrica, a sustentabilidade da produção de alimentos e o fortalecimento de práticas integradas de saneamento e agricultura sustentável.

Palavras-chave: *Wetlands* construídos, reuso agrícola, saneamento sustentável, resíduos tratados, Nutrição vegetal

RESÚMEN

Entre las tecnologías de tratamiento descentralizado de aguas residuales, los humedales construidos (HC) se han destacado por su eficiencia en el tratamiento y bajo costo de operación. Sin embargo, la variabilidad en la remoción de sales y nutrientes sigue siendo un desafío, lo que exige estudios que integren la caracterización detallada del efluente con el monitoreo continuo de la eficiencia del sistema. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el desempeño de un sistema experimental compuesto por dos humedales construidos de flujo vertical (HCFV) para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de un reactor UASB seguido de uno de plantas flotantes (HCPF) con la macrófita lechuga de agua (Pistia stratiotes L.), en la remoción de sales. Los medios de soporte de los HCFV estaban compuestos por suelo y fibra de coco (HCFV-1) y únicamente suelo (HCFV-3), sembrados con el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris). Este trabajo presenta los resultados de tres ciclos de monitoreo, con frecuencia quincenal de análisis de los siguientes parámetros: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, dureza y DQO. Entre los principales desafíos observados, se destacan la inestabilidad en la remoción de sales, especialmente Na^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}, que pueden representar riesgos de salinización y sodificación de los suelos agrícolas, y la necesidad de un manejo específico para evitar la acumulación iónica. Por otro lado, se obtuvieron resultados prometedores para la remoción de DQO y K^+, lo que evidencia el potencial de los HCFV para reducir la carga orgánica y equilibrar la disponibilidad de nutrientes benéficos para las plantas. Se concluye que los humedales construidos de flujo vertical, cuando se asocian con estanques de macrófitas y se operan con estrategias de manejo adecuadas, presentan un gran potencial para viabilizar el reúso agrícola de efluentes, contribuyendo a la seguridad hídrica, la sostenibilidad de la producción de alimentos y el fortalecimiento de prácticas integradas de saneamiento y agricultura sostenible.

Palabras clave: *Wetlands* construidos, reúso agrícola, saneamiento sostenible, residuos tratados, nutrición vegetal

ABSTRACT

Among decentralized wastewater treatment technologies, constructed wetlands (CWs) have stood out for their efficiency in treatment and low operating costs. However, the variability in the removal of salts and nutrients remains a challenge, requiring studies that combine detailed effluent characterization with continuous monitoring of system efficiency. In this context, this study aimed to evaluate the performance of an experimental system consisting of two vertical flow constructed wetlands (VFCWs) for the treatment of domestic wastewater effluents from a UASB reactor, followed by a floating plant wetland (FPCW) with the macrophyte water lettuce (Pistia stratiotes L.), in the removal of salts. The support media of the VFCWs consisted of soil and coconut fiber (VFCW-1) and soil only (VFCW-3), planted with common bean (Phaseolus vulgaris). This study presents the results of three monitoring cycles, with biweekly analysis of the following parameters: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, hardness, and COD. Among the main challenges observed, instability in salt removal stands out, especially Na^+, Ca^{2+}, and Mg^{2+}, which may pose risks of salinization and sodification of agricultural soils, as well as the need for specific management to avoid ionic accumulation. On the other hand, promising results were obtained for COD and K^+ removal, highlighting the potential of VFCWs to reduce organic load and balance the availability of beneficial nutrients for plants. It is concluded that vertical flow constructed wetlands, when associated with macrophyte tanks and operated with adequate management strategies, present great potential to enable the agricultural reuse of effluents, contributing to water security, sustainable food production, and the strengthening of integrated sanitation and sustainable agriculture practices.

Keywords: Constructed wetlands, agricultural reuse, sustainable sanitation, treated waste, Plant nutrition

INTRODUÇÃO

A busca por soluções sustentáveis para o tratamento de esgoto tem impulsionado o uso de tecnologias baseadas em processos naturais, como os *wetlands* construídos (WCs). Esses sistemas podem ser classificados conforme o tipo de macrófita (flutuantes, submersas ou emergentes) e o tipo de fluxo (superficial, subsuperficial horizontal ou vertical). Os *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) apresentam grande potencial no tratamento de efluentes domésticos e industriais, destacando-se pela remoção de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados (SOUSA et al., 2004). Neles, a aplicação intermitente de água na superfície favorece a oxigenação do meio suporte, intensificando os processos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela remoção de poluentes, o que os torna atrativos para comunidades rurais e municípios de pequeno porte (von Sperling, 2014).

Os meios suportes mais comuns são areia grossa, cascalho e brita, associados a macrófitas aquáticas, como *Typha* sp., *Juncus* spp., *Zizaniopsis bonariensis* e *Eleocharis* sp. Embora o uso de solo e de culturas agrícolas não seja convencional, estudos recentes com

espécies produtoras de grãos têm apresentado resultados promissores (Silva; Ramos; Bernardes, 2018; 2021; Silva; Bernardes; Ramos, 2015; 2024). Além do tratamento, os WCFV permitem o reuso agrícola da água tratada, contribuindo para a segurança hídrica e alimentar (Giafferis, Barros e Oliveira, 2014).

Neste estudo, avaliou-se o desempenho de duas unidades experimentais de WCFV, com meios suporte de solo e fibra de coco (WCFV-1) e solo (WCFV-3), cultivados com feijão (*Phaseolus vulgaris*), além de um wetland de plantas flutuantes (WCPF) com alface-d'água (*Pistia stratiotes* L.), utilizado como etapa de polimento. O afluente foi proveniente de reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), amplamente aplicado no Brasil.

A escolha dos parâmetros analisados (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, dureza e DQO) deve-se ao impacto direto na qualidade do solo e na produtividade agrícola. Enquanto o K^+ é essencial para as plantas, o excesso de sais pode comprometer a estrutura do solo e causar riscos de salinização. Assim, este estudo se insere no contexto do saneamento descentralizado aliado ao reuso agrícola, alinhado à economia circular e especialmente relevante em regiões do semiárido e em áreas rurais do Recôncavo da Bahia, onde soluções convencionais são limitadas e onerosas. Além de mitigar impactos ambientais, a pesquisa oferece subsídios técnicos para políticas públicas de saneamento sustentável e práticas inovadoras que conciliam qualidade de vida e preservação ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental era composto por duas unidades WCFV: uma com meio suporte de solo e fibra de coco (WCFV-1) e a outra apenas com solo (WCFV-3), plantadas com a cultura do feijão (Figura a) e, também, por um WCPF ou TQM (Figura b) para polimento do efluente dos WCFV.

Figura 2. Sistema experimental WCFV (a) e WCPF ou TQM (b).
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O esgoto afluente aos sistemas era proveniente de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (DAFA), mas comumente conhecido pela sigla em inglês UASB. Optou-se pelo efluente pré-tratado, com o intuito de evitar a rápida colmatação de leito filtrante, visto que o as unidades experimentais WCs não foram projetadas para tratar esgoto bruto. Esses efluentes eram aplicados nas segundas, quartas e sextas, deixando os outros dias o solo em descanso para favorecer a aeração e controlar o processo de colmatação do meio suporte/filtrante. O ciclo de secagem e umedecimento também facilita os processos de nitrificação e desnitrificação, otimizando a remoção de nitrogênio ao promover condições alternadas de aeróbiose e anaerobiose. A taxa de aplicação hidráulica foi de 0,07 $m^3/m^2.d$.

As amostras dos afluentes e efluentes foram coletadas inicialmente, no terceiro ciclo, semanalmente e depois quinzenalmente por um período entre maio e junho de 2024, novembro e dezembro de 2024 (quarto ciclo) e entre abril e junho de 2025 (quinto ciclo), e foram caracterizadas a partir dos seguintes parâmetros: dureza, demanda química de oxigênio (DQO), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), sódio (Na^{+}) e potássio (K^{+}), sendo esses dois últimos analisados apenas no 4° e 5° ciclo, e outros parâmetros que não foram incluídos nesse artigo (**Tabela 1**).

Tabela 1. Parâmetros analisados para observar a eficiências dos *wetlands* na remoção de sais dos esgotos domésticos (efluente de UASB)

Parâmetro	Unidade	Método de medição
DQO	mg/L	Refluxo fechado
Na^{+}	mg/L	Fotômetro de chama
K^{+}	mg/L	Fotômetro de chama
Ca^{+2}	mg/L	EDTA
Mg^{+2}	mg/L	EDTA
Dureza	mg/L	EDTA

Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3° Ciclo de monitoramento

Verifica-se que no 3º ciclo de monitoramento, houve uma pequena remoção da dureza, relacionada a uma leve redução das concentrações de magnésio (Mg^{+2}), visto que as

concentrações de cálcio (Ca^{+2}) no efluente aumentaram (**Tabela 2**). O solo sem fibra (WCFV-3) teve um desempenho melhor em relação àquele com fibra (WCFV-1). Com relação a remoção de sais, esse comportamento foi observado em estudos anteriores, que apontaram dificuldades na retenção de íons dissolvidos em sistemas de *wetlands* construídos, especialmente quando o meio filtrante não possui características específicas para adsorção iônica (Von Sperling, 2014).

Tabela 2. Valores médios das análises dos parâmetros

Valores médios das análises (mg/L)			
		3° Ciclo	
	UASB	**WCFV-1**	**WCFV-3**
DQO	914,08	315,41	242,6
Dureza	136,60	167,27	129,75
Ca^{+2}	28,02	42,06	30,67
Mg^{+2}	18,95	17,64	14,99

Fonte: Elaboração própria, 2025

As eficiências médias de remoção da DQO foram boas, de 65% (WCFV-1) e 73% (WCFV-3) (**Figura 2**). O WCFV-1 com fibra teve menor eficiência de remoção, possivelmente devido à presença da fibra que reduziu o tempo de detenção hidráulica.

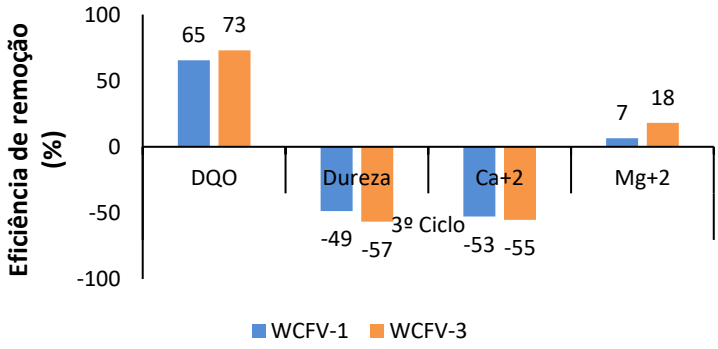


Figura 2. Eficiência de remoção dos parâmetros analisados.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

4° e 5° ciclo de monitoramento

Os resultados obtidos ao longo dos ciclos de monitoramento evidenciam comportamentos contrastantes entre os diferentes parâmetros analisados, confirmando a complexidade inerente à remoção de sais em *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) (Tabela 3). Essa heterogeneidade reforça que o desempenho do sistema não depende apenas da configuração do meio suporte e da presença de vegetação, mas também de fatores como evapotranspiração,

variações sazonais, carga hidráulica e dinâmica dos íons em solução (Sezerino et al. 2015).

Tabela 3. Valores médios das análises dos parâmetros

	Valores médios das análises (mg/L)							
	4º Ciclo				5º Ciclo			
	UASB	WCFV-1	WCFV-3	WCPF	UASB	WCFV-1	WCFV-3	WCPF
Dureza	148,08	220,01	231,94	173,59	145,51	188,64	206,44	132,85
DQO	528,00	264,00	214,50	236,50	551,10	224,40	250,80	191,40
Na^+	291,65	358,83	367,02	331,03	971,08	831,26	920,83	777,73
K^+	20,31	10,54	11,10	1,44	20,86	12,98	16,54	7,88
Ca^{+2}	27,85	49,67	52,17	41,52	44,31	49,67	54,74	29,10
Mg^{+2}	19,07	23,30	23,30	20,94	8,46	15,68	16,93	14,61

Fonte: Elaboração própria, 2025

No caso da matéria orgânica, expressa pela DQO, observou-se um desempenho robusto dos WCFV em ambos os ciclos avaliados. As eficiências mantiveram-se em patamares elevados (Figura 3), demonstrando que o sistema é eficiente na degradação da fração orgânica, mesmo em condições operacionais distintas.

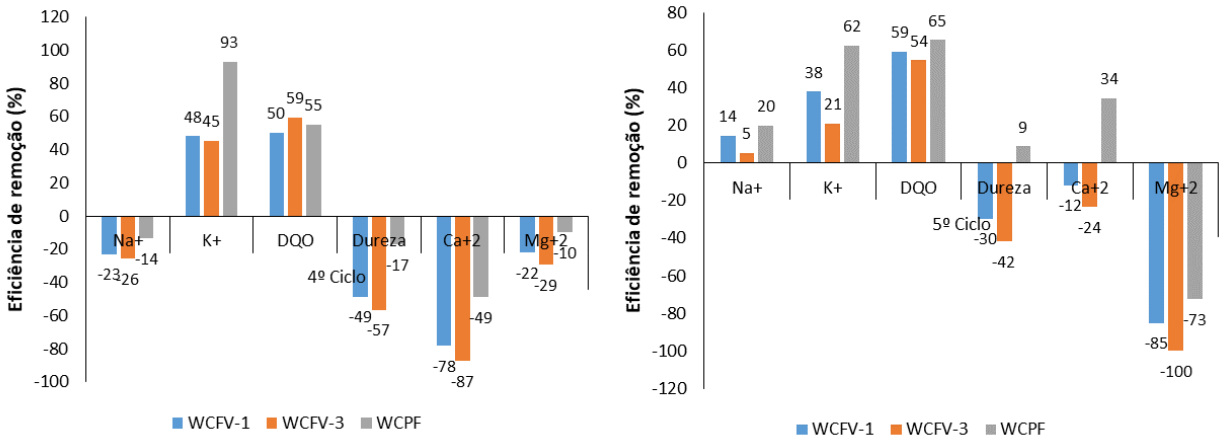


Figura 3. Eficiência de remoção dos parâmetros analisados.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Esse resultado corrobora estudos que apontam os *wetlands* como alternativas consistentes para o tratamento descentralizado de efluentes, sobretudo pela combinação de processos físicos, químicos e biológicos que promovem a remoção da matéria orgânica de forma estável (Sezerino, Philippi e Magri 2003). O comportamento dos nutrientes apresentou contrastes importantes. O potássio (K^+) destacou-se por apresentar remoções expressivas, relativamente consistentes entre os ciclos (Figura 3). Tal desempenho sugere uma forte interação do íon com o meio suporte, seja por adsorção ou precipitação, além de possível assimilação pelas plantas cultivadas. Esse padrão é compatível com observações de Magri,

Sezerino e Philippi (2014), que identificaram a capacidade dos *wetlands* de reter nutrientes e, ao mesmo tempo, fornece efluentes com características adequadas para reuso agrícola.

Em contraposição, o sódio (Na^+) apresentou tendências de acúmulo em determinados momentos, com eficiências negativas no 4º ciclo, seguido de recuperação parcial no 5º ciclo (Figura 3). A persistência de elevadas concentrações médias nos efluentes tratados (Tabela 3) indica que o elemento apresenta baixa afinidade com o substrato e reduzida absorção vegetal. Além disso, a influência da evapotranspiração pode ter intensificado a concentração do íon, contribuindo para os valores observados. Essa característica é preocupante para o reuso agrícola, visto que o sódio é um dos principais responsáveis pela salinização e sodificação dos solos irrigados (Matos et al. 2010).

A análise dos parâmetros de dureza (Ca^{2+} e Mg^{2+}) revelou ainda maior instabilidade. Enquanto o cálcio apresentou comportamentos oscilatórios, com reduções negativas no 4º ciclo e resultados pontualmente positivos no 5º (Figura 3), o magnésio apresentou predominantemente remoções negativas em ambos os ciclos, inclusive com acúmulo significativo (Tabela 3). Esses padrões sugerem que, diferentemente da matéria orgânica e do potássio, os íons bivalentes não encontram mecanismos efetivos de retenção no sistema, seja por adsorção ou por absorção vegetal (Matos et al. 2009). No caso do magnésio, em especial, o desempenho desfavorável limita a qualidade do efluente tratado e compromete sua adequação para uso agrícola em longo prazo.

De forma geral, os resultados indicam que os WCFV são altamente eficazes na remoção de DQO e no controle do potássio, parâmetros diretamente relacionados à melhoria da qualidade sanitária e nutricional do efluente. No entanto, a persistência de concentrações elevadas de sais como sódio, cálcio e magnésio (Tabela 3) mostra que a gestão da salinidade continua sendo um desafio central. As eficiências negativas observadas para esses íons (Figura 3) reforçam que, embora os *wetlands* possam contribuir para a remoção parcial, não devem ser considerados soluções únicas para o controle da salinidade em efluentes destinados ao reuso agrícola. Essas evidências apontam para a necessidade de ajustes operacionais e de estratégias complementares, como a otimização do tempo de detenção hidráulica, a escolha de espécies vegetais com maior capacidade de absorção de sais, e a integração com processos adicionais, como diluição controlada ou técnicas de polimento. A adoção de tais medidas pode ampliar a eficiência global do sistema e contribuir para garantir que o efluente tratado apresente

qualidade compatível com práticas sustentáveis de irrigação agrícola (Philippi, Sezerino e Von Sperling 2014).

Em síntese, enquanto os WCFV confirmam sua eficiência na redução de matéria orgânica e na remoção de potássio, revelando-se uma tecnologia promissora para o saneamento descentralizado, a instabilidade na retenção de íons como Na^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} exige atenção especial. O equilíbrio entre esses parâmetros será determinante para consolidar o uso de *wetlands* como solução efetiva e segura no reuso agrícola de efluentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas avaliados apresentaram bom desempenho na remoção de DQO nos primeiros ciclos, alcançando 73% de remoção (WCFV-3) e 65% (WCFV-1) no 3º ciclo. As eficiências continuaram reduzindo alcançando remoções médias no 5º ciclo de 59% (WCFV-1) e 50% (WCFV-3). Nesse ciclo, notou-se uma recuperação da eficiência de remoção do WCFV-1, indicando a influência da fibra na eficiência de remoção de DQO. A remoção de DQO reduziu, possivelmente, em função da desestruturação do solo durante a saturação para medida da perda de carga a cada ciclo da cultura do feijão. Logo, essa prática não deve ser realizada ao longo da operação dos sistemas.

Ambas unidades experimentais foram ineficientes para remoção de Ca^{+2} e pouco eficiente na remoção de Mg^{+2} apenas no 3º ciclo, sendo a WCFV-1 menos ineficiente em todo o período avaliado. Isso mostra que a fibra tem potencial para controlar a lixiviação desses cátions. No 4º ciclo as duas WCFV foram ineficientes para remoção de Na^{+2}, e apresentou uma pequena eficiência a partir do 5º ciclo com o WCFV-1 apresentando melhor desempenho. As duas unidades WCFV removeram K^{+} em ambos os ciclos.

Conclui-se que a fibra de coco verde seca tem potencial para uso de meio suporte de WCFV, uma vez que mostrou capacidade para controlar o processo de retenção e lixiviação dos sais no solo, o que é importante para manter a qualidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo financiamento da Pesquisa

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Magri, M. E., P. H. Sezerino, e L. S. Philippi. 2014. "Wetlands construídos aplicados ao tratamento de esgoto doméstico no Brasil: avanços e desafios." *Revista DAE* 62 (196): 38–46.

Matos, A. T., J. F. Freitas, R. R. Lo Monaco, e D. C. Santos. 2009. "Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 14 (2): 219–28.

Matos, A. T., R. R. Lo Monaco, J. F. Freitas, e D. C. Santos. 2010. "Uso agrícola de efluentes tratados em wetlands construídos: aspectos de salinidade e nutrientes." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14 (3): 327–34.

Philippi, L. S., P. H. Sezerino, e M. Von Sperling. 2014. *Wetlands construídos: fundamentos, aplicações e perspectivas*. Florianópolis: UFSC/ABES.

Sezerino, P. H., L. S. Philippi, e M. E. Magri. 2003. "Wetlands construídos: uma alternativa de baixo custo para o tratamento de esgotos domésticos." *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* 8 (3): 181–88.

Giafferis, G. P., R. B. Barros, e E. O. Oliveira. 2014. "Avaliação do Potencial de Reuso Agrícola do Efluente de uma Estação de Tratamento de Esgoto com Alagados Construídos." *Energia na Agricultura* 29, nº 1 (jan.–mar.): 48–56.

Sousa, J. T.; van Haandel, A.; Cunha, E. P.; Henrique, I. N. 2004. "Utilização de Wetland Construído no Pós-tratamento de Esgotos Domésticos Pré-tratados em Reator UASB." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 9, nº 4 (out.–dez.): 285–290.

Silva, Selma Cristina; Maria Lucrécia G. Ramos; Ricardo S. Bernardes. 2020. "Wetlands construídos com meio suporte de solo na remoção de coliformes termotolerantes de esgotos domésticos."

Sousa, J. T., A. van Haandel, E. P. C. Lima, e I. N. Henrique. 2004. "Utilização de Wetland Construído no Pós-Tratamento de Esgotos Domésticos Pré-Tratados em Reator UASB." *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* 9: 285–290.

Von Sperling, Marcos. 2014. "Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos." 4ª ed. Belo Horizonte: *Editora UFMG*.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039463

FOTOELETROCATÁLISE NO TRATAMENTO DE ÁGUA: FUNDAMENTOS, MATERIAIS E APLICAÇÕES RECENTES

FOTOELECTROCATÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS: FUNDAMENTOS, MATERIALES Y APLICACIONES RECIENTES

PHOTOELECTROCATALYSIS IN WATER TREATMENT: FUNDAMENTALS, MATERIALS AND RECENT APPLICATIONS

Pedro L.Q. Martins[1], Rafael S. Silva[2] e Lucas A. Mendes[3].

[1]Estudante de graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, pedro.luizm@ufrpe.br, 0009-0006-1911-6603;
[2]Estudante de graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, rafael.santoss@ufrpe.br, 0009-0006-2225-9680;
[3]Estudante de graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, lucas.alvesmendes@ufrpe.br, 0009-0000-6572-4673;

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

A crescente contaminação de corpos d'água por poluentes orgânicos e químicos tem impulsionado a busca por tecnologias sustentáveis de tratamento de água. A fotoeletrocatálise surge como uma estratégia promissora, integrando fotocatálise e processos eletroquímicos para aumentar a eficiência na degradação de contaminantes. Esta revisão sistematiza os avanços recentes na aplicação da fotoeletrocatálise em águas residuais e efluentes industriais, destacando os principais materiais e arquiteturas de eletrodos utilizados, condições experimentais, eficiência na remoção de poluentes e desafios remanescentes.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Políticas públicas, Semiárido, Planejamento municipal

RESÚMEN

La creciente contaminación de los cuerpos de agua por contaminantes orgánicos y químicos ha impulsado la búsqueda de tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua. La fotoelectrocatálisis se perfila como una estrategia prometedora, que integra la fotocatálisis con procesos electroquímicos para aumentar la eficiencia de la degradación de contaminantes. Esta revisión sistematiza los avances recientes en la aplicación de la fotoelectrocatálisis a aguas residuales y efluentes industriales, destacando los principales materiales y arquitecturas de

electrodos utilizados, las condiciones experimentales, la eficiencia de eliminación de

contaminantes y los desafíos pendientes.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, Planificación municipal

ABSTRACT

The increasing contamination of water bodies by organic and chemical pollutants has driven the search for sustainable water treatment technologies. Photoelectrocatalysis emerges as a promising strategy, integrating photocatalysis and electrochemical processes to increase contaminant degradation efficiency. This review systematizes recent advances in the application of photoelectrocatalysis to wastewater and industrial effluents, highlighting the main electrode materials and architectures used, experimental conditions, pollutant removal efficiency, and remaining challenges.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Semiarid, Municipal planning

INTRODUÇÃO

A segurança hídrica emergiu como um dos desafios mais prementes do século XXI, transcendendo a mera questão de disponibilidade para englobar as dimensões de qualidade, acessibilidade e estabilidade. Relatórios recentes das Nações Unidas (ONU) pintam um quadro alarmante: cerca de metade da população mundial enfrenta grave escassez de água durante pelo menos parte do ano, e um quarto da população vive em países sob estresse hídrico "extremamente alto". Globalmente, 2 bilhões de pessoas, o equivalente a 26% da população mundial, não têm acesso a serviços de água potável segura. Este cenário é exacerbado por uma demanda crescente, que aumenta a uma taxa de quase 1% ao ano, impulsionada pelo desenvolvimento socioeconômico, pela urbanização e por mudanças nos padrões de consumo. Projeções indicam que, mantidos os padrões atuais, o planeta poderá enfrentar um déficit no abastecimento de água de 40% até 2030. A crise é ainda intensificada pelos efeitos das mudanças climáticas, que desestabilizam o ciclo hidrológico, tornando eventos extremos como secas prolongadas e enchentes devastadoras cada vez mais frequentes e severos, como evidenciado pelo relatório da Organização Meteorológica Mundial, que aponta que apenas um terço das bacias hidrográficas globais registrou condições normais em 2023. Esta conjuntura crítica estabelece uma necessidade imperativa e urgente de desenvolver e implementar tecnologias de tratamento de água que sejam não apenas eficientes, mas também resilientes e sustentáveis, justificando a relevância fundamental da pesquisa neste campo para garantir a

prosperidade e a paz (CONNOR, 2024).

Paralelamente à crise quantitativa, uma crise qualitativa de contaminação degrada progressivamente os recursos hídricos disponíveis. A atividade industrial, pilar do desenvolvimento econômico moderno, é paradoxalmente uma das principais fontes de poluição hídrica. Setores como a indústria têxtil, farmacêutica, petroquímica e agrícola liberam nos ecossistemas aquáticos um volume massivo de efluentes complexos. A indústria têxtil, por exemplo, é a segunda maior consumidora e poluidora de água, gerando efluentes com alta carga de corantes, surfactantes, sais e metais pesados. Da mesma forma, a indústria farmacêutica introduz no ambiente resíduos de medicamentos e seus metabólitos, muitos dos quais não são completamente removidos nas estações de tratamento convencionais e persistem no meio ambiente. Esses compostos, juntamente com pesticidas, produtos de higiene pessoal e subprodutos industriais, formam uma categoria de poluentes conhecida como "contaminantes emergentes" ou "compostos recalcitrantes", caracterizados por sua estabilidade molecular, resistência à biodegradação e potencial toxicológico, representando um desafio sem precedentes para os sistemas de tratamento de água e efluentes ETAs e ETEs (SANTIAGO, 2024; VALVERDE et al., 2016; ALEIXO et al., 2020).

A presença desses micropoluentes nos corpos hídricos, mesmo em concentrações vestigiais na faixa de microgramas (μgL^{-1}) a nanogramas (ngL^{-1}), acarreta riscos severos e multifacetados. Do ponto de vista ecotoxicológico, eles podem causar danos diretos à fauna e flora aquática. Corantes têxteis, por exemplo, reduzem a penetração de luz na coluna d'água, inibindo a fotossíntese de organismos aquáticos e desequilibrando todo o ecossistema. Pesticidas podem ser tóxicos para espécies não-alvo, e resíduos farmacêuticos, como os desreguladores endócrinos, podem interferir nos sistemas hormonais de peixes e outros organismos, afetando sua reprodução e desenvolvimento. Para a saúde humana, o perigo é amplificado pelos fenômenos de bioacumulação e biomagnificação trófica. Substâncias lipossolúveis e persistentes acumulam-se nos tecidos dos organismos (bioacumulação) e suas concentrações aumentam a cada nível da cadeia alimentar (biomagnificação), atingindo níveis perigosos em predadores de topo, incluindo os seres humanos. A ineficácia dos processos de tratamento convencionais em remover essas moléculas complexas significa que elas podem recircular no ambiente e até mesmo estar presentes na água potável, criando uma via de exposição crônica

cujos efeitos a longo prazo ainda são pouco compreendidos (QUEIROZ, 2019).

Em resposta direta à ineficácia dos métodos tradicionais de tratamento, que frequentemente se limitam a transferir o poluente de uma fase para outra (e.g., adsorção em carvão ativado ou lodo biológico), a comunidade científica tem se voltado para os Processos Oxidativos Avançados (POAs). Os POAs constituem uma classe de tecnologias de remediação baseadas na geração in situ de espécies radicalares altamente reativas, com destaque para o radical hidroxila (·OH), um dos oxidantes mais potentes conhecidos (E_0 = +2.80V). Devido à sua alta reatividade e natureza não seletiva, o radical ·OH é capaz de atacar e mineralizar uma vasta gama de compostos orgânicos recalcitrantes, convertendo-os idealmente em produtos inócuos como dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e íons inorgânicos. Dentro do amplo espectro de POAs, a fotoeletrocatálise se destaca como uma abordagem particularmente promissora. Ela combina sinergicamente a ativação de um material semicondutor por irradiação luminosa (fotocatálise) com a aplicação de um potencial elétrico externo (eletrólise). Essa sinergia supera limitações intrínsecas de cada processo isoladamente, como a alta taxa de recombinação dos pares elétron-lacuna na fotocatálise, resultando em eficiências de degradação significativamente maiores. Este artigo, portanto, propõe-se a realizar uma revisão aprofundada sobre a fotoeletrocatálise, abordando seus fundamentos teóricos, os avanços no desenvolvimento de materiais catalíticos e suas aplicações recentes na degradação de poluentes prioritários, destacando seu potencial como uma solução robusta e sustentável para os desafios contemporâneos do tratamento de água (TEIXEIRA; JARDIM, 1998; SCHWARZENBACH et al., 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão foi conduzida a partir de uma seleção criteriosa de artigos científicos e teses relacionados à fotoeletrocatálise aplicada ao tratamento de água. As referências abrangem estudos experimentais publicados entre 2006 e 2025, com foco na degradação de poluentes em águas residuais, efluentes industriais e água eutrofizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TiO_2 e hematita (Fe_2O_3) continuam sendo os materiais mais estudados devido à estabilidade química, baixo custo e boa resposta fotoeletroquímica (MACEDO et al., 2006; DE

SOUZA, 2016; SANTOS, 2019). WO_3, $BiVO_4$ e g-C_3N_4 apresentam maior absorção da luz visível e podem ser combinados com metais nobres para melhorar a separação de cargas e eficiência de degradação (Liu et al., 2025; Chauke et al., 2024).

Tabela 1: Comparação de materiais e eficiência na fotoeletrocatálise

Estudo	Material/Eletrodo	Contaminante	Condições	Eficiência	Comentários
SANTOS, 2019	Ti/TiO_2, Ti/TiO_2-Ag, Ti/TiO_2-Au	Glifosato, Atrazina	Luz UV-Vis, pH neutro	>90%	Nanotubos com metais nobres aumentam eficiência
DE SOUZA, 2016	Hematita filmes finos	Diversos contaminantes	Potencial aplicado, luz visível	70-85%	Limitado pela mobilidade de portadores
ALEIXO et al., 2020	TiO_2 + Coagulação + Solar	Lixiviados industriais	Luz solar, eletroquímica	88-92%	Estratégia híbrida eficiente
Kaur et al., 2023	TiO_2	Águas residuais municipais	30-120 min, UV	>90%	Confirma eficiência para efluentes reais
Liu et al., 2025	$BiVO_4$, g-C_3N_4	Contaminantes emergentes	Luz visível, eletroquímica	80-95%	Alternativa não-TiO_2 promissora

Os resultados indicam que a escolha do material semicondutor e a otimização das condições experimentais (tipo de luz, pH, potencial aplicado) são cruciais para maximizar a eficiência da degradação. A integração de metais nobres ou a combinação com outros processos de tratamento (estratégias híbridas) são abordagens eficazes para superar as limitações intrínsecas dos fotocatalisadores e alcançar altas taxas de remoção de poluentes, mesmo para compostos recalcitrantes e emergentes. A capacidade de operar sob luz visível é um avanço

significativo, tornando a tecnologia mais sustentável e economicamente viável para aplicações em larga escala.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fotoeletrocatálise se estabelece como uma tecnologia altamente promissora para o tratamento de águas residuais e efluentes industriais, oferecendo vantagens significativas sobre os métodos convencionais. Sua capacidade de degradar eficientemente compostos recalcitrantes e poluentes emergentes, que são frequentemente resistentes a tratamentos biológicos e físico-químicos tradicionais, a posiciona como uma solução crucial para os desafios contemporâneos da escassez e contaminação hídrica (Connor, 2024; Santiago et al., 2024).

A sinergia entre a fotocatálise e os processos eletroquímicos permite uma maior eficiência na geração de espécies oxidativas (como o radical hidroxila, ·OH) e uma redução na recombinação de pares elétron-lacuna, resultando em taxas de degradação superiores. A integração com estratégias híbridas, como coagulação, processos tipo Fenton e eletro-oxidação, tem se mostrado particularmente eficaz, maximizando a degradação e a mineralização total dos contaminantes (Aleixo et al., 2020; Santiago et al., 2024).

No entanto, a implementação em larga escala da fotoeletrocatálise ainda enfrenta desafios importantes. A estabilidade a longo prazo dos materiais semicondutores, a reusabilidade dos eletrodos e a escalabilidade industrial dos sistemas são aspectos críticos que demandam pesquisa e desenvolvimento contínuos. A otimização de reatores, a redução de custos de materiais e a integração energética eficiente são fundamentais para tornar a tecnologia economicamente viável e sustentável (Queiroz et al., 2019).

Pesquisas futuras devem focar no desenvolvimento de novos materiais catalíticos com maior absorção de luz visível e estabilidade, na engenharia de reatores mais eficientes e na exploração de fontes de energia renováveis para alimentar os sistemas fotoeletrocatalíticos. A compreensão aprofundada dos mecanismos de degradação e a avaliação do impacto ambiental dos subprodutos formados são igualmente importantes para garantir a segurança e a eficácia da tecnologia a longo prazo. A superação desses desafios consolidará a fotoeletrocatálise como uma ferramenta essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos globais (Schwarzenbach et al., 2006; Teixeira; Jardim, 1998).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA NETO, Eliezer Fares; AQUINO, Marisete Dantas de; SALES, Manoel do Vale. Pré-tratamento por eletroxidação associada à fotocatálise heterogênea numa ETA por filtração direta. 2011.

ALEIXO, Jordanna K. R. et al. Aplicação de métodos combinados de coagulação-eletroquímico-fotocatálise solar para o tratamento de lixiviado do aterro sanitário de Catalão-GO. Revista Processos Químicos, v. 14, n. 27, p. 29-36, 2020.

CHAUKE, Vhutshilo; GÜNTHER, Karl-Michael; MÄDLER, Lutz. Photoelectrocatalysis using nanostructured WO_3: Advances and challenges for water treatment applications. Applied Catalysis B: Environmental, v. 348, p. 122581, 2024.

CONNOR, Richard. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2024: Água para a prosperidade e a paz; resumo executive. UNESCO World Water Assessment Programme, 2024.

DANG, Thi Thanh Tam et al. Recent advances in visible-light-driven photocatalysts for water purification. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 11, n. 5, p. 110156, 2023.

EDUARDO, Emerson Jeronymo. Estudo da degradação eletroquímica, fotolítica, fotocatalítica e eletrofotocatalítica do hormônio etinilestradiol. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

KAUR, Harpreet et al. Visible-light-active noble-metal photocatalysts for water disinfection: A review. Chemosphere, v. 339, p. 139608, 2023.

LIU, Yichun et al. Emerging photoelectrocatalysts beyond TiO_2 for water treatment: Opportunities and challenges. Chemical Engineering Journal, v. 464, p. 142598, 2025.

MACEDO, Luciana Conceição et al. Remediação de águas residuais por fotocatálise heterogênea: estudo dos parâmetros experimentais aplicados à fotocatálise eletroquímica. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 1, p. 11-21, 2006.

NETO, Eliezer Fares Abdala; DE AQUINO, Marisete Dantas. Fotocatálise heterogênea associada a eletro-oxidação no pré-tratamento de água eutrofizada em uma estação piloto de tratamento de água. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica, p. 11-19, 2012.

QUEIROZ, M. T. A., et all (2019). Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. Gestão & Produção, 26(1), e1149. https://doi.org/10.1590/0104-530X1149-19

SANTIAGO, Victor et all. (2024). Processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes:

tendências recentes e análise bibliométrica. Brazilian Journal of Production Engineering. 10. 267-283. 10.47456/bjpe.v10i4.46204.

SANTOS, Lucyan Elam Rosa. Degradação fotoeletroquímica dos pesticidas glifosato, atrazina, carbendazim e 2,4-D em água utilizando eletrodos de nanotubos de Ti/TiO_2, Ti/TiO_2-Ag e Ti/TiO_2-Au. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SCHWARZENBACH, R. P. et al. The challenge of micropollutants in aquatic systems. Science, v. 313, n. 5790, p. 1072-1077, 2006.

SOUZA, Lígia Parreira de. Estudo das propriedades fotoeletroquímicas e ópticas de filmes finos de hematita aplicados à geração de hidrogênio via hidrólise fotoassistida. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TEIXEIRA, A. C. S. C.; JARDIM, W. F. Processos oxidativos avançados: conceitos e aplicações. Química Nova, v. 21, n. 6, p. 770-779, 1998.

VALVERDE, Ravila Pinheiro et al. Viabilidade no tratamento de efluente industrial através da utilização de reagente de Fenton e fotocatálise heterogênea. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2016.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039483

FRAÇÕES AMONIACAIS EM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DA ETE MALVINAS - BARBALHA - CE

FRACCIONES DE AMONÍACO EN EFLUENTES DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE ETE MALVINAS - BARBALHA - CE

AMMONIACAL FRACTIONS IN THE EFFLUENT OF STABILIZATION PONDS AT THE MALVINAS WASTEWATER TREATMENT PLANT - BARBALHA - CE

Pedro Henrique da Silva Leite[1], Maria Vitória Moura Rufino[2], Isaac Mota Gomes[3] e Yannice Tatiane da Costa Santos[4].
[1]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, pedro.henrique62@aluno.ifce.edu.br, 0009-0004-4973-2277;
[2]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, vitoria.moura07@aluno.ifce.edu.br, 0009-0008-4035-8054;
[3]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, isaac.mota.gomes02@aluno.ifce.edu.br , 0009-0000-7264-6132;
[4]Professora efetiva, IFCE - campus Juazeiro do Norte, yannice@ifce.edu.br, nº de 0000-0002-6730-1815.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar as frações amoniacais – ionizada (NH_4^+) e não ionizada (NH_3) – presentes no efluente tratado das lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Malvinas, em Barbalha-CE. A amônia é um parâmetro de grande relevância devido à sua toxicidade e ao potencial de comprometer o equilíbrio ecológico e a saúde pública, sendo regulada pela Resolução CONAMA nº 430/2011. A pesquisa buscou compreender como pH e temperatura influenciam o equilíbrio entre as duas formas de amônia, especialmente em regiões de clima quente, como o Cariri cearense. As coletas ocorreram entre fevereiro e agosto de 2024 e as amostras foram analisadas no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do IFCE – Campus Juazeiro do Norte. Foram medidos pH, temperatura e concentração de amônia total conforme metodologias da APHA (2005). A determinação das frações de NH_4^+ e NH_3 foi realizada com base no modelo de equilíbrio de Emerson et al. (1975), que relaciona a distribuição dessas espécies às variáveis físico-químicas. Os resultados mostraram predominância da amônia ionizada (NH_4^+), variando de 92,97% a 99,48%, enquanto a fração livre (NH_3) oscilou de 0,52% a 7,03%. As coletas 2 e 5 apresentaram os maiores percentuais de NH_3, indicando influência de picos de pH e/ou temperatura que favoreceram a forma mais tóxica. Apesar da predominância

de NH_4^+ representar condições mais seguras, a presença de NH_3, mesmo em pequenas frações, reforça a necessidade de monitoramento contínuo para evitar riscos à biota aquática e garantir conformidade legal. Conclui-se que a avaliação das frações amoniacais fornece subsídios relevantes para aprimorar a eficiência das lagoas de estabilização, permitindo maior segurança ambiental e sustentabilidade. O estudo destaca a importância do controle de pH e temperatura na operação de ETEs, sobretudo em locais de clima quente, onde a volatilização e transformação da amônia são intensificadas. Dessa forma, a pesquisa contribui para a compreensão da dinâmica do nitrogênio amoniacal e para o aprimoramento da gestão de sistemas de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: amônia, lagoas de estabilização, tratamento de efluentes, qualidade da água.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar las fracciones amoniacales – ionizada (NH_4^+) y no ionizada (NH_3) – en el efluente tratado de las lagunas de estabilización de la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (ETAR) Malvinas, en Barbalha, Ceará, Brasil. El amoníaco es un parámetro crítico por su toxicidad y por los riesgos que representa para la salud pública y el equilibrio ecológico, estando regulado por la Resolución CONAMA nº 430/2011. La investigación buscó comprender la influencia del pH y la temperatura sobre el equilibrio de estas formas, especialmente en regiones de clima cálido como el Cariri cearense. Las campañas de muestreo se realizaron entre febrero y agosto de 2024. Las muestras recolectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria del IFCE – Campus Juazeiro do Norte. Se midieron pH, temperatura y concentración total de amoníaco siguiendo metodologías estandarizadas por la APHA (2005). La cuantificación de las fracciones se efectuó mediante el modelo de equilibrio de Emerson et al. (1975), que relaciona la distribución de especies con las condiciones fisicoquímicas. Los resultados demostraron la predominancia del amoníaco ionizado (NH_4^+), con valores entre 92,97% y 99,48%, mientras que la fracción libre (NH_3) osciló entre 0,52% y 7,03%. Las campañas 2 y 5 mostraron mayores proporciones de NH_3, lo que indica posibles aumentos de pH y/o temperatura que favorecieron la forma más tóxica. Aunque la presencia mayoritaria de NH_4^+ representa condiciones más estables y menos riesgos inmediatos, la detección de NH_3 en pequeñas proporciones resalta la necesidad de un monitoreo constante para cumplir la normativa y evitar impactos negativos. Se concluye que la evaluación de las fracciones amoniacales bajo distintas condiciones ambientales constituye una herramienta relevante para optimizar la eficiencia de las lagunas de estabilización y garantizar sostenibilidad. El estudio destaca la importancia del control de pH y temperatura en los procesos de tratamiento, particularmente en regiones cálidas donde la volatilización del amoníaco es intensificada. De esta manera, los hallazgos contribuyen al entendimiento de la dinámica del nitrógeno amoniacal y a la mejora de la gestión de sistemas de tratamiento de efluentes.

Palabras clave: amoníaco, lagunas de estabilización, tratamiento de efluentes, calidad del agua.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the ammoniacal fractions – ionized (NH_4^+) and non-ionized (NH_3) – in the treated effluent from the stabilization ponds of the Malvinas Wastewater

Treatment Plant, located in Barbalha, Ceará, Brazil. Ammonia is a key parameter due to its toxicity and potential to compromise both ecological balance and public health. It is regulated by Brazilian legislation, particularly CONAMA Resolution No. 430/2011. The research focused on understanding how pH and temperature influence the equilibrium between these forms of ammonia, especially in hot climate regions such as Cariri. Sampling campaigns were carried out from February to August 2024. Effluent samples were analyzed at the Environmental and Sanitary Engineering Laboratory of IFCE – Juazeiro do Norte. Parameters such as pH, temperature, and total ammonia concentration were measured according to APHA (2005). The fractions of NH_4^+ and NH_3 were calculated using the equilibrium model of Emerson et al. (1975), which considers species distribution as a function of physicochemical variables. The results indicated a predominance of ionized ammonia (NH_4^+), ranging from 92.97% to 99.48%, while non-ionized ammonia (NH_3) varied from 0.52% to 7.03%. Collections 2 and 5 presented higher NH_3 percentages, suggesting shifts in pH and/or temperature favoring the more toxic form. Although NH_4^+ predominance represents safer conditions, the presence of NH_3, even in small fractions, highlights the need for continuous monitoring to prevent ecological risks and ensure compliance with environmental standards. It is concluded that evaluating ammoniacal fractions under different physicochemical conditions provides relevant insights to improve the efficiency of stabilization ponds, enhance environmental safety, and promote sustainability. The study reinforces the importance of controlling pH and temperature in wastewater treatment operations, particularly in hot climates where ammonia transformation and volatilization are intensified. Therefore, the findings contribute to a better understanding of ammoniacal nitrogen dynamics and to the optimization of effluent treatment systems.

Keywords: ammonia, stabilization ponds, wastewater treatment, water quality.

INTRODUÇÃO

O estudo e análise dos parâmetros em efluente bruto e tratado é essencial para garantir a proteção dos corpos receptores e o equilíbrio ecossistêmico. A amônia, elemento presente em altas concentrações no esgoto doméstico, ao ser lançada em corpos aquáticos, pode se tornar especialmente preocupante devido aos seus efeitos tóxicos, que dependem de fatores como temperatura e pH que comandam o equilíbrio químico. Em sistemas de tratamento como as lagoas de estabilização, condições típicas de pH elevado podem aumentar a concentração de amônia livre (NH_3), que, embora facilite sua remoção por volatilização, é um problema quanto sua toxicidade para os seres vivos presentes nos corpos receptores.

O monitoramento e a remoção da amônia são cruciais para atender às legislações ambientais, como por exemplo a resolução CONAMA n° 430/2011, que define os parâmetros e limites para que os efluentes possam ser lançados em corpos d'água, assegurando a qualidade da água receptora. A presença de amônia em níveis elevados no efluente final é

indesejável, não apenas pelos impactos ecotoxicológicos, mas também por contribuir para a eutrofização dos corpos d'água e efeitos negativos na saúde humana.

A amônia pode se apresentar sob a forma ionizada (NH4+) ou não ionizada - livre (NH3), sendo que a última traz toxicidade ao meio aquático que está presente. A amônia não ionizada, predomina em níveis de pH mais altos, enquanto o íon amônio menos tóxico é mais prevalente em níveis de pH mais baixos.

Para Von Sperling (2002) e van Haandel e Lettinga (1994), a volatilização da amônia é o principal mecanismo para reduzir suas concentrações. De acordo com os autores, a eficiência da remoção de amônia em lagoas de maturação em série pode atingir a faixa entre 70 e 80% podendo atingir valores superiores a 90% em lagoas especialmente rasas, cumprindo as especificações propostas pelo CONAMA.

Considerando a importância da permanência do equilíbrio ecossistêmico em rios ao receberem cargas orgânicas, este trabalho tem como objetivo analisar as frações de amônia ionizada e livre que estão presentes no efluente tratado produzido pela estação de tratamento de efluentes Malvinas, localizada no município de Barbalha - Ceará.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo deste trabalho está situada à 7º17’39’’S e 39º17’17’’O, trata-se de um sistema de lagoas de estabilização formado por uma única lagoa facultativa, seguida de duas de lagoas de maturação em série, no bairro Malvinas no município de Barbalha - Ceará. É possível observar abaixo na figura 1.

Figura 1. Imagem de satélite das lagoas de estabilização ETE Malvinas em Barbalha - Ceará.
Fonte: Elaboração própria, 2025

Procedimento de realização da pesquisa

As coletas foram realizadas no período de Fevereiro a Agosto de 2024, e as amostras do efluente final coletadas em bombonas com 20 litros, entre 8h e 9h da manhã, e encaminhadas imediatamente ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) – do IFCE *campus* Juazeiro do Norte para serem analisados os parâmetros descritos na tabela 1.

Tabela 1. Variáveis, métodos e referências analisadas, 2025

Variáveis	Método	Referência
Temperatura	Termômetro Filamento de Mercúrio	APHA *et al*. (2005)
pH	Potenciométrico/ Eletrométrico	
Amônia	Titulométrico (MACRO-Kjeldahl)	

Fonte: Elaboração própria, 2025

Quantificação da amônia livre e ionizada

Para a determinação da frequência das espécies livre e ionizada foi aplicado o modelo proposto por Emerson et al, (1975), descrito por Gonçalves (2016), que determina as espécies em em função do pH e da temperatura. A Equação demonstrada abaixo. Onde, pH é o

potencial hidrogeniônico; Amônia total é a concentração de amônia total em mgN/L e NH3 é a concentração de amônia da fração livre.

$$\frac{NH_3 \text{ livre}}{\text{Amônia total}} = \frac{100}{1 + 10^{[0,09018+(\frac{2729,92}{T+273,20})]-pH}}$$

Figura 2. Equação utilizada para calcular amônia livre e ionizada
Fonte: Elaboração própria, 2025

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para os percentuais das frações de Amônia Livre (NH3) e para Amônia Ionizada (NH4+) para todas as coletas estão ilustrados na Figura 3.

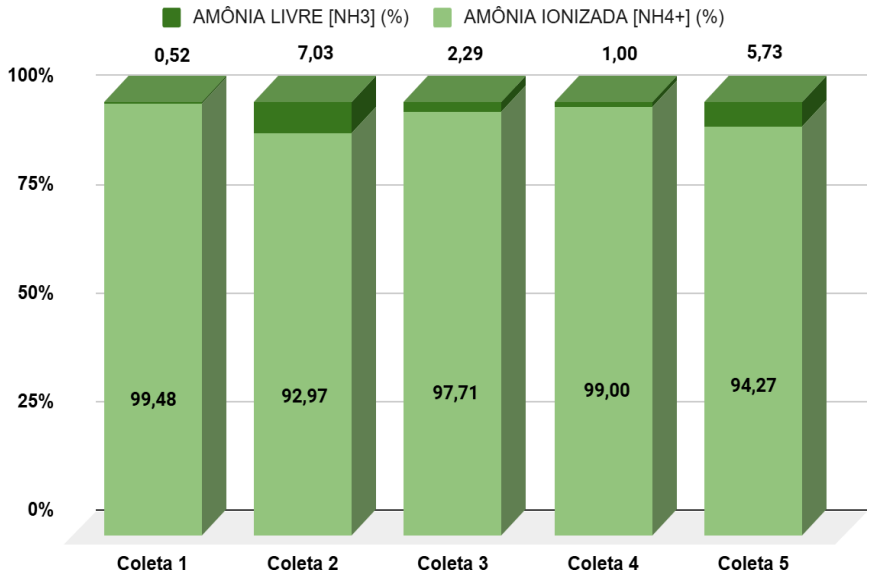


Figura 3. Gráfico de percentuais de (NH3) e (NH4+) em efluente da ETE Malvinas
Fonte: Elaboração própria, 2025

É possível visualizar com a figura 3 que a fração de Amônia Ionizada (NH4+) se apresentou de forma mais abundante em todas as coletas realizadas, ficando com percentuais que variam de 92,97% a 99,48%. A amônia livre (NH3), por sua vez, variou de 0,52% a 7,03%.

Quando a concentração de amônia ionizada (NH4+) é maior do que a de amônia livre (NH3) em uma lagoa de maturação, geralmente esse fator está associado às condições de pH e temperatura da água. Em ambientes aquáticos, o equilíbrio entre essas duas formas de amônia é altamente influenciado por esses fatores: a amônia livre é a forma mais tóxica, e sua

proporção aumenta em condições de pH elevado e temperaturas altas. Considerando o papel das lagoas de maturação no tratamento de efluentes, onde se espera a mínima quantidade de matéria orgânica possível, a predominância de amônia ionizada é um indicativo de condições que favorecem a estabilidade e a menor toxicidade da amônia no sistema.

Os dados do gráfico mostram que, embora a amônia ionizada seja predominante em todas as coletas, houve uma variação notável na fração de amônia livre. A Coleta 2, com 7,03% de amônia livre, que corresponde em mgN/L a um valor de 0,46 e a Coleta 5, com 5,73%, equivale a parcela de 0,25 mgN/L e apresentaram os maiores percentuais de NH3. Isso pode sugerir que, durante essas coletas específicas, as condições de pH e/ou temperatura na lagoa de maturação podem ter sido mais elevadas, deslocando o equilíbrio em direção à forma mais tóxica. Uma análise completa desses resultados, no entanto, requer a consideração simultânea dos dados de pH e temperatura registrados na figura 3. Por outro lado, a Coleta 1 (0,52% NH3) e a Coleta 4 (1,00% NH3) indicam condições que favoreceram fortemente a ionização da amônia, o que é desejável para a eficiência do tratamento e a segurança ambiental. 0,46 e 0,25

Essa variação na proporção de amônia livre, mesmo que ainda minoritária, é um ponto importante para o monitoramento da eficiência da lagoa de maturação. A concentração de amônia total na coleta 2 em mgN/L foi de 6,55, enquanto a coleta 5 apresentou uma concentração de 4,37 mgN/L. Já as outras coletas que tiveram percentuais numa faixa entre 0,5% e 2,5% e apresentam concentrações de amônia total em mgN/L da ordem 0,5 à 2,18. A presença de amônia livre, mesmo em pequenas frações, indica a necessidade de atenção às condições operacionais, como o controle de pH e temperatura, para otimizar o processo de tratamento e garantir que o efluente final esteja dentro dos padrões de descarte, minimizando a toxicidade para o ambiente receptor. Embora a predominância de amônia ionizada diminui temporariamente a toxicidade imediata, a presença de amônia em si ainda indica a carga nitrogenada no sistema, que deve ser adequadamente tratada. A resolução CONAMA 430 de 2011 estabelece que o valor máximo de nitrogênio amoniacal para lançamento de efluente é de 20 mgN/L.

Em um sistema de lagoas de estabilização, especificamente nas lagoas de maturação esperasse condições de pH mais alto, tendo em vista que nessa lagoa não se deve ter degradação de matéria orgânica. Contendo uma atividade fotossintética alta, a lagoa de

maturação tem um consumo de alcalinidade e produção de hidroxila devido a pouca quantidade de CO2 que é assimilado pelas algas presentes no meio. Com a elevação do pH, a amônia tende a se encontrar na forma livre, contudo, se o sistema ainda apresenta vestígios de matéria orgânica na maturação, isso significa que se tem atividade microbiana produzindo CO2, indicando que a fotossíntese ocorrerá de forma cômoda já que não será necessário retirar gás carbônico da alcalinidade. Deste modo, indica-se que o presente sistema provavelmente ainda contém vestígios de degradação orgânica na lagoa de maturação fazendo com que o pH apresenta valores na faixa próxima da neutralidade, não tendo assim valores esperados para lagoas de maturação que são acima de 9,5. Portanto, com pH nessas condições a amônia disponível tende a se encontrar na forma mais ionizada(NH4).

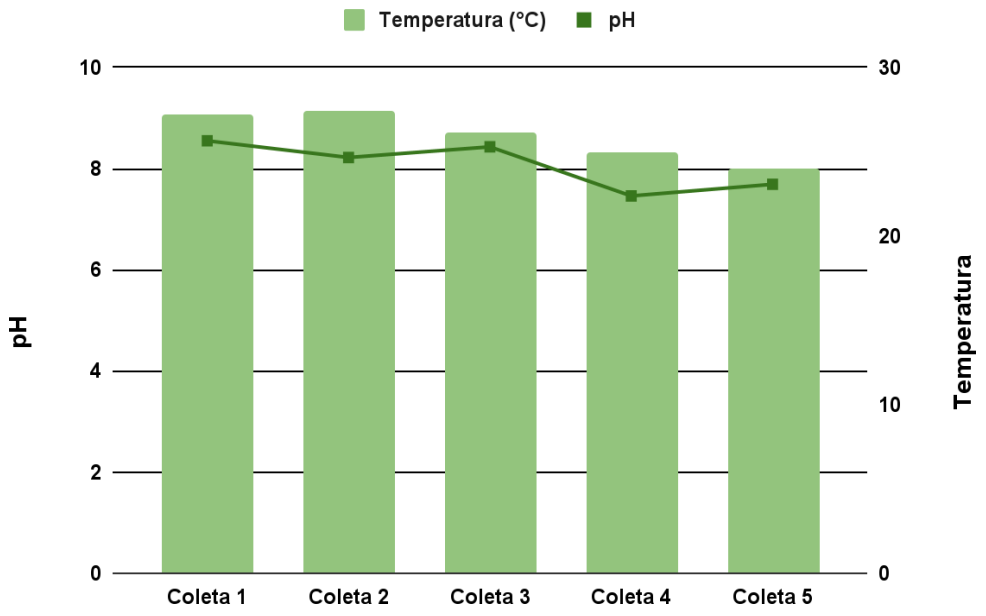


Figura 4. Gráfico de relação entre pH e temperatura
Fonte: Elaboração própria, 2025

Para CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), a amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L e valores acima de 0,01 mg/L podem ser tóxicos aos peixes. Além disso, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante

parâmetro de classificação das águas naturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo, demonstra a complexibilidade e dinâmica acerca do nitrogênio amoniacal e suas variações em um sistema de tratamento de efluente inserido em uma localidade de clima quente. A pesquisa apresentou que o equilíbrio entre as diferentes formas de amônia é diretamente influenciado por fatores físico-químicos cruciais, como pH e temperatura. Ficou evidente que a forma ionizada (NH4+) predominou em todas as campanhas amostrais, apresentando percentuais variando entre 92,97% e 99,48%. Indicando condições ambientais que favorecem a estabilidade do sistema e reduzem a toxicidade imediata da amônia, uma vez que a fração livre (NH3), considerada mais nociva à biota aquática, manteve-se em proporções minoritárias. Contudo, observou-se percentuais levemente alterados na coleta 2 e 5 que apresentaram valores de 7,03% (0,46 mgN/L) e 5,73% (0,25 mgN/L) e que tiveram esses valores devido a condições de pH e temperatura determinantes. Foram analisados os percentuais e concentrações de amônia livre presentes em cada coleta, em específico na coleta 2 e 5 com 7,03% correspondente a 0,46 mgN/L e 5,73%, equivalente a 0,25 mgN/L respectivamente. Ademais, o trabalho permitiu uma análise da eficiência do sistema de tratamento em lagoas de estabilização, quanto a controle em concentrações de amônia.

Conclui-se, assim, que o controle dos fatores que influenciam no equilíbrio das frações amoniacais é uma temática considerável e relevante e nos permite discutir e propor soluções e medidas viáveis para garantir melhorias em sistemas, sustentabilidade e qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2011. *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diár*io Oficial da União, Brasília, DF, 16 de maio de 2011.

Emerson, K., R. C. Russo, R. E. Lund, e R. V. Thurston. "Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature." *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32, no. 12 (1975): 2379–2383.

Gonçalves, Allan Bruno Dantas. *Remoção do Nitrogênio Amoniacal nas Lagoas de*

Estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto Malvas do Município de Juazeiro do Norte – Ceará. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus Juazeiro do Norte, 2016.

Tecnal. "Nitrogênio Amoniacal em Água e Efluentes." Acesso em 26 de agosto de 2025. https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/235_nitrogenio_amoniacal_em_agua_e_efluentes.

United States Environmental Protection Agency. *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia – Freshwater (2013).* Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2013. Acesso em 29 de agosto de 2025. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/fact_sheet_aquatic-life-ambient-water-quality-criteria-for-ammonia-freshwater-2013.pdf

Von Sperling, Marcos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Amônia – Mortandade de peixes [Internet]. São Paulo: CETESB; [citado 2025 set 29]. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/amonia/

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039512

FRAÇÕES AMONIACAIS NA ÁGUA DO RIO SALGADINHO DO JUAZEIRO DO NORTE-CE

FRACCIONES AMONIACALES EN EL AGUA DEL RÍO SALGADINHO DE JUAZEIRO DO NORTE-CE

AMMONIA FRACTIONS IN THE WATER OF THE SALGADINHO RIVER IN THE MUNICIPALITY OF JUAZEIRO DO NORTE-CE

Livia Vitória Dantas Domingos[1], Clara Beatryz Gomes Vieira[2], Jadyni Ester Matos e Silva[3], e Lyndyanne Martins Dias[4].

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - *campus* Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, vitoria.dantas08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0007-1959-8136;
[2]Mestranda em Química Biológica - PPQB/URCA - *campus* Pimenta, Crato-CE, Brasil, clara.gomes@urca.br, 0009-0009-3387-9705;
[3]Mestranda em Química Biológica - PPQB/URCA - *campus* Pimenta, Crato-CE, Brasil, jadyni.mattos@urca.br, 0009-0001-3917-5233;
[4]Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFPE, lyndyanne.dias@ufpe.br, 0000-0002-2384-0980.

Eixo Temático 05 – Tecnologias digitais na gestão do saneamento rural
Aplicações de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural.

Eje Temático 05 – Tecnologías digitales en la gestión del saneamiento rural

Aplicaciones de tecnologías digitales en el monitoreo del agua y el saneamiento rural.

.

ABSTRACT

The analysis of water quality in rivers intended for human consumption plays a critical role in promoting public health and environmental conservation. Among the compounds that deserve special attention is ammonia, a nitrogenous compound widely present in aquatic environments and known for its toxicity. However, its toxicity is not constant; it varies according to parameters such as pH and water temperature. Under high pH conditions, ammonia tends to be present in its free form, NH_3, which is more liposoluble and therefore more toxic, as it easily crosses cell membranes and can impair various physiological processes in fish. This study aimed to investigate the distribution and potential consequences of ammonia in its free and ionized forms at different points along the Salgadinho River, located in Ceará. Sampling was planned throughout the river course. Ionized ammonia (NH_4^+) concentrations were predominantly found in the analyzed samples, suggesting that the pH values recorded in this stretch of the river are relatively adequate, favoring lower ammonia toxicity. The predominance of the ionized form indicates a reduced toxicological risk for the local aquatic biota, which is a positive aspect from environmental and sanitary perspectives. Nevertheless, the presence of ammonia, even in its less toxic form, requires continuous attention. Small changes in pH or water temperature can shift the balance toward the free form, NH_3, substantially increasing its toxic potential. Moreover, it is known that these environmental conditions do not act alone: factors such as dissolved oxygen, water hardness, temperature, and interactions with other pollutants can potentiate or mitigate the toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate, affecting the health of aquatic organisms in a

complex manner.
Therefore, although the initial results for the Salgadinho River indicate a relatively favorable scenario with NH_4^+ predominance and thus lower immediate risk, it is essential to maintain systematic and frequent monitoring programs, since this river serves both human consumption and aquatic ecosystem balance. Only in this way will it be possible to anticipate and control changes that may compromise, in the future, water quality and environmental stability in the region.

Keywords: Ammonia, pH, Temperature, Salgadinho River, toxic

RESÚMEN

El análisis de la calidad del agua de los ríos destinados al consumo humano desempeña un papel fundamental en la promoción de la salud pública y la conservación ambiental. Entre los compuestos que merecen especial atención se encuentra el amoníaco, un compuesto nitrogenado ampliamente presente en ambientes acuáticos y reconocido por su toxicidad. Sin embargo, su toxicidad no es constante; varía según parámetros como el pH y la temperatura del agua. En condiciones de pH elevado, el amoníaco tiende a presentarse en su forma libre, NH_3, que es más liposoluble y por lo tanto más tóxico, ya que atraviesa fácilmente las membranas celulares y puede comprometer varios procesos fisiológicos en los peces.
Este estudio tuvo como objetivo investigar la distribución y las posibles consecuencias de la presencia de amoníaco en sus formas libre e ionizada en diferentes puntos del río Salgadinho, ubicado en Ceará. Se planificaron muestreos a lo largo del curso del río. Las concentraciones de amoníaco ionizado (NH_4^+) fueron predominantemente encontradas en las muestras analizadas, lo que sugiere que los valores de pH registrados en este tramo del río son relativamente adecuados, favoreciendo una menor toxicidad del amoníaco.
La predominancia de la forma ionizada indica un riesgo toxicológico reducido para la biota acuática local, lo que es un aspecto positivo desde las perspectivas ambiental y sanitaria. No obstante, la presencia de amoníaco, incluso en su forma menos tóxica, requiere atención continua. Pequeñas alteraciones en el pH o la temperatura del agua pueden desplazar el equilibrio hacia la forma libre, NH_3, aumentando sustancialmente su potencial tóxico. Además, se sabe que estas condiciones ambientales no actúan de manera aislada: factores como el oxígeno disuelto, la dureza del agua, la temperatura y las interacciones con otros contaminantes pueden potenciar o mitigar los efectos tóxicos del amoníaco, nitrito y nitrato, afectando la salud de los organismos acuáticos de manera compleja.
Por lo tanto, aunque los resultados iniciales para el río Salgadinho indican un escenario relativamente favorable con predominancia de NH_4^+ y por ende un menor riesgo inmediato, es fundamental mantener programas de monitoreo sistemáticos y frecuentes, ya que este río se destina tanto al consumo humano como al equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Solo de esta manera será posible anticipar y controlar cambios que puedan comprometer, en el futuro, la calidad del agua y la estabilidad ambiental de la región.

Palabras clave: Amoníaco, pH, Temperatura, Río Salgadinho, tóxico

RESUMO

A análise da qualidade da água de rios destinados ao abastecimento humano desempenha um papel crítico na promoção da saúde pública e na conservação ambiental. Entre os compostos que merecem atenção especial está a amônia, um composto nitrogenado amplamente presente em ambientes aquáticos e reconhecidamente tóxico. Sua toxicidade, contudo, não é constante; ela varia conforme parâmetros como pH e temperatura da água. Em condições de pH elevado, a amônia tende a se apresentar na forma livre, NH_3, que é mais lipossolúvel e, portanto, mais tóxica, pois atravessa facilmente as membranas celulares e pode comprometer diversos processos fisiológicos dos peixes. Este estudo teve como objetivo investigar a distribuição e as possíveis consequências da presença da amônia nas formas livre e ionizada em diferentes pontos do Rio Salgadinho, localizado no Ceará. Para isso, foram planejadas coletas ao longo do curso do rio. As concentrações de amônia ionizada (NH_4^+) mostraram-se em sua maior parte predominantes nas amostras analisadas, o que sugere que os valores de pH registrados nesse trecho do rio são relativamente adequados, favorecendo a menor toxicidade da amônia. A predominância da forma ionizada é indicativa de um risco toxicológico reduzido para a biota aquática local, o que é um aspecto positivo do ponto de vista ambiental e sanitário. Ainda assim, a presença de amônia mesmo em forma menos tóxica demanda atenção contínua. Pequenas alterações no pH ou na temperatura da água podem deslocar o equilíbrio para a forma livre, NH_3, elevando de forma substancial o potencial de toxicidade. Além disso, sabe-se que essas condições ambientais não atuam isoladamente: fatores como oxigênio dissolvido, dureza da água, temperatura e interações com outros poluentes podem potencializar ou mitigiar os efeitos tóxicos da amônia, nitrito e nitrato, afetando a saúde dos organismos aquáticos de maneira complexa. Dessa forma, embora os resultados iniciais do Rio Salgadinho indiquem um quadro relativamente favorável, com predominância de NH_4^+ e, portanto, menor risco imediato, é fundamental manter programas de monitoramento sistemático e frequente, uma vez que esse rio destina-se ao abastecimento e ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Só assim será possível antever e controlar alterações que possam comprometer, futuramente, a qualidade da água e a estabilidade ambiental da região.

Palavras-chave: Amônia, pH, Temperatura, Rio Salgadinho, tóxico

INTRODUÇÃO

A amônia é um potencial poluente, pois pode afetar severamente a homeostase de organismos como os peixes. Estudos avaliando a toxicidade da amônia retratam que a amônia induz o estresse oxidativo, alterando a atividade de enzimas antioxidantes (Kim *et al*., 2017; Zhang *et al*., 2019), além disso, a liberação de amônia nos sedimentos aquáticos tem sido correlacionada com elevada toxicidade em organismos marinhos, reforçando os riscos ecotoxicológicos (Vezzone *et al*., 2019). O monitoramento da qualidade da água e a gestão do saneamento em áreas rurais constituem desafios fundamentais para a promoção da saúde pública e a preservação da sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o emprego de tecnologias digitais tem se consolidado como estratégia relevante para ampliar a eficiência no

acompanhamento de variáveis ambientais, além de subsidiar processos de tomada de decisão em sistemas de abastecimento.

Segundo YSI (2009), esse composto pode apresentar-se sob duas formas: a livre (NH_3), considerada mais tóxica e predominante em condições de pH elevado, e a ionizada (NH_4^+), menos tóxica e mais recorrente em valores de pH reduzidos. Tal diferenciação é de grande relevância, uma vez que concentrações elevadas de amônia podem ocasionar riscos ecotoxicológicos e ainda comprometer atributos organolépticos da água, como sabor e odor, interferindo diretamente em sua aceitação pela população (Silva et al., 2024).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011), a presença de amônia em níveis elevados na água potável é considerada indesejável, não apenas pelos possíveis efeitos nocivos à saúde humana, mas também pela influência negativa sobre a qualidade sensorial do recurso hídrico. A experiência descrita neste estudo foi realizada no município de Juazeiro do Norte, no estado do Ceará, em um trecho do rio Salgadinho, durante o período destinado à coleta e análise da água para consumo humano. O objetivo central consistiu em avaliar de que forma parâmetros físico-químicos, como pH e temperatura, influenciam a ocorrência e a transformação de compostos nitrogenados, com destaque para a amônia. Nesse sentido, torna-se imprescindível o monitoramento e a compreensão do comportamento desse composto nos ambientes aquáticos, a fim de subsidiar tanto ações preventivas quanto medidas corretivas nos sistemas de tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área do presente estudo consistiu em quatro pontos na extensão do Rio Salgadinho, localizado no município de Juazeiro do Norte, no estado do Ceará. A Figura 1 mostra uma vista aérea da área de estudo juntamente com a localização dos pontos da coleta.

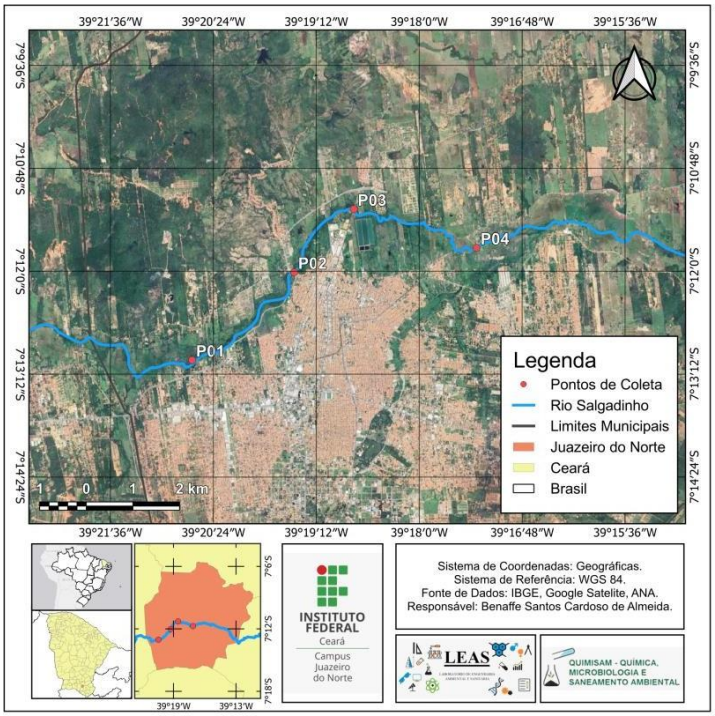


Figura 1. Vista aérea da área de estudo.
Fonte:Benaffe Santos Cardoso de Almeida, 2025.

Procedimento de realização da pesquisa

Para a execução da presente pesquisa, foram efetuadas 12 campanhas de coleta no período compreendido entre janeiro e setembro de 2024, com frequência mensal, sempre realizadas no turno da manhã.

Análise do parâmetro de interesse

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) do IFCE – Campus Juazeiro do Norte, observando as metodologias e procedimentos padronizados. A determinação da concentração de amônia (mgN/L) foi realizada pelo método titulométrico de *Micro-Kjeldahl*, conforme descrito por APHA *et al*. (2007). O pH da água foi mensurado pelo método potenciométrico, seguindo igualmente as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al*., 2007). Já a temperatura (°C) foi avaliada também por meio de análise potenciométrica, utilizando-se o mesmo referencial metodológico.

Quantificação da amônia livre e ionizada

A quantificação da amônia livre (NH_3) e ionizada (NH_4^+) pode ser realizada por diferentes métodos. De acordo com Emerson *et al*, (1975) *apud* Gonçalves (2016), uma forma amplamente utilizada considera a variação das espécies em função do pH e da

temperatura, conforme demonstrado na Equação 1.

$$\frac{NH_3\ Livre}{Amônia\ Total} = \frac{100}{1+10^{[0{,}09018 + (\frac{2729{,}92}{t\ +273{,}20})] - pH}} \quad (1)$$

onde
t = Temperatura (°C)

Análise dos dados

A partir dos dados obtidos nas análises laboratoriais, procedeu-se à organização das informações em planilhas, o que possibilitou o cálculo das frações de amônia livre e ionizada por meio da equação previamente apresentada, considerando os valores determinados experimentalmente. Em seguida, os dados foram tabulados e os resultados representados graficamente, de forma a facilitar a interpretação e a visualização das tendências observadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para as frações de Amônia Livre (NH_3) e de Amônia Ionizada (NH_4^+), em todas as coletas calculadas por meio da equação 1, encontram-se apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5, respectivamente:

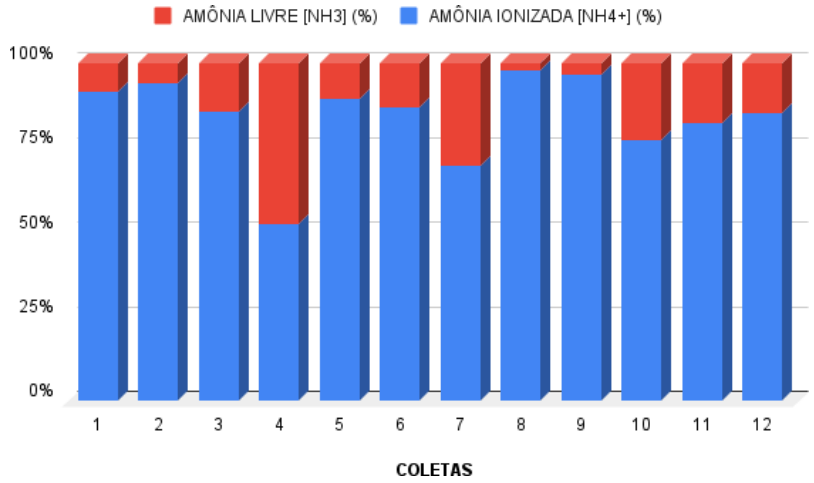


Figura 2. Gráfico referente a Amônia Livre e Amônia Ionizada do ponto 1 para todas as coletas
Fonte:Elaboração própria, 2025.

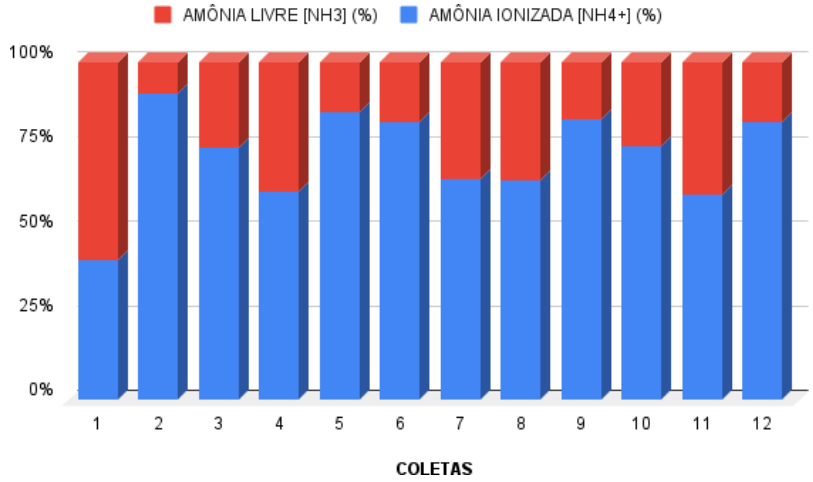


Figura 3. Gráfico referente a Amônia Livre e Amônia Ionizada do ponto 2 para todas as coletas
Fonte:Elaboração própria, 2025.

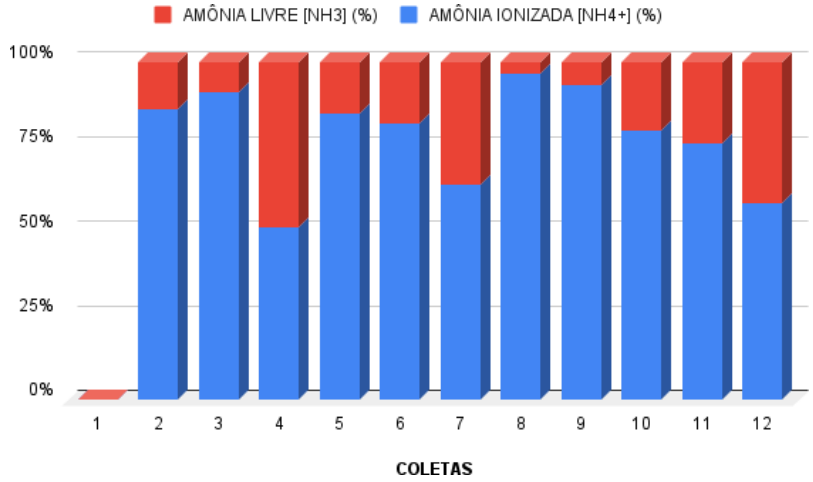


Figura 4. Gráfico referente a Amônia Livre e Amônia Ionizada do ponto 3 para todas as coletas
Fonte:Elaboração própria, 2025.

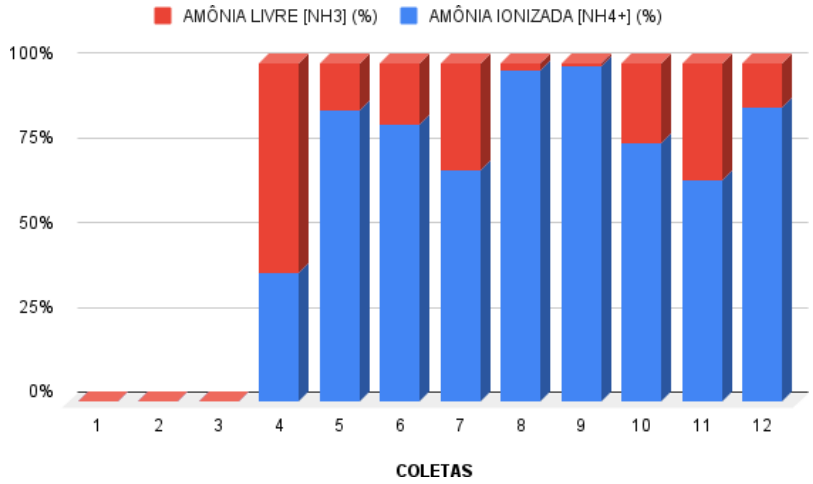


Figura 5. Gráfico referente a Amônia Livre e Amônia Ionizada do ponto 4 para todas as coletas
Fonte:Elaboração própria, 2025.

Pode-se observar nas figuras que a fração de Amônia Ionizada se apresentou de maneira mais predominante na maior parte das coletas realizadas, com média de 78,2.

Quando a concentração de amônia ionizada supera a de amônia livre em um rio, essa condição está geralmente associada ao pH e à temperatura da água. Em ambientes naturais, o equilíbrio entre essas duas formas de amônia é fortemente influenciado por esses fatores: a amônia livre constitui a forma mais tóxica, cuja proporção tende a aumentar em situações de pH elevado e temperaturas mais altas.

Nesse sentido, os resultados obtidos para o Rio Salgadinho podem ser considerados compatíveis com a classe de água analisada. Ressalta-se, contudo, que nos pontos 4 e 5, durante as três primeiras campanhas, não foi possível realizar a coleta devido ao fato de que o rio se encontrava seco nesses trechos, o que pode ter relação direta com a configuração observada no gráfico. Em ambientes de pH mais baixo, como ocorre frequentemente em rios influenciados por matéria orgânica ou por aportes rurais e urbanos, a amônia tende a permanecer em sua forma ionizada, menos tóxica e mais estável em temperaturas ambientais. Evidências indicam que, em condições de pH entre 6 e 7, quase toda a amônia se mantém na forma ionizada, já que o equilíbrio químico favorece essa predominância em meios mais ácidos (EPA 2013).

Tal aspecto explica por que, em diversos rios urbanos ou rurais com saneamento precário, verifica-se a prevalência da amônia ionizada em detrimento da livre, o que reduz temporariamente a toxicidade imediata para organismos aquáticos, embora continue a sinalizar a ocorrência de poluição nitrogenada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que a fração predominante foi a de amônia ionizada, considerada a forma menos tóxica. Em ambientes aquáticos com pH próximo à neutralidade ou levemente ácido, a amônia ionizada tende a prevalecer, enquanto a forma livre aumenta em águas mais alcalinas e sob condições de temperatura elevada. Essa configuração se mostrou benéfica para a manutenção da fauna aquática local, pois reduz o risco de toxicidade para organismos mais sensíveis, dado que a amônia livre apresenta maior potencial de impacto negativo.

A principal contribuição deste trabalho reside em fornecer evidências locais sobre a dinâmica das formas de amônia, subsidiando tanto o monitoramento ambiental quanto a gestão de recursos hídricos. Entretanto, é importante destacar que a área estudada, o rio Salgadinho, está inserida em uma região predominantemente urbana, onde questões relacionadas ao saneamento como o lançamento de esgotos domésticos podem influenciar diretamente a concentração e a toxicidade da amônia. Essa pressão antrópica deve ser considerada na interpretação dos resultados e no planejamento de medidas de mitigação.

Por fim, reforça-se a necessidade de acompanhamento sistemático das concentrações de amônia, sobretudo diante de potenciais alterações nas fontes de poluição, a fim de garantir

que os níveis permaneçam dentro dos parâmetros adequados. Essa prática é essencial não apenas para assegurar o abastecimento de água em qualidade satisfatória, mas também para contribuir com a conservação da biodiversidade aquática e com o cumprimento das diretrizes ambientais vigentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF). 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC.

Gonçalves, Allan Bruno Dantas. 2016. Remoção do Nitrogênio Amoniacal nas Lagoas de Estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto Malvas do Município de Juazeiro do Norte – Ceará. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte.

Kim, J. H., e J. C. Kang. 2016. "The Immune Responses in Juvenile Rockfish, Sebastes schlegelii, for the Stress by the Exposure to the Dietary Lead (II)." Environmental Toxicology and Pharmacology 46: 211–16. https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.07.022

Silva, M. R. F., Souza, K., Santos, M. D. V., Veras, B. O., Silva, I. J. S., Motteran, F., Luz, A. C. O., Balbino, T. C. L., Araújo, L. C. A., Malafaia, G., & Oliveira, M. B. M. (2024). Hidden ecotoxicological dangers: Investigating pathogen circulation and non- toxic risks hazards in a crucial Brazilian watershed. Aquatic Toxicology, 271, 106931.

United States Environmental Protection Agency (EPA). 2013. Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia – Freshwater. Washington, DC. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/fact_sheet_aquatic-life-ambient-water-quality-criteria-for-ammonia-freshwater-2013.pdf.

Vezzone, M., Cesar, R., Abessa, D. M. S., Serrano, A., Lourenço, R. D. S., Castilhos, Z., Rodrigues, A. P., Perina, F., & Polivanov, H. (2019). Metal pollution in surface sediments from Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): Toxic effects on marine organisms. Environmental Pollution, 252(Pt A), 270–280.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039568

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES NOS ESTADOS DO NORDESTE

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES EN LOS ESTADOS DEL NORDESTE

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION COSTS OF BIODIGESTERS IN THE NORTHEASTERN STATES

Marcos Padilha [1], Johann Torres [2] e Marcilio Máximo[3]

[1]Doutor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, marcos.padilha@ifpb.edu.br, 0000-0002-99573831;
[2]Especialização, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, johann.torres@ifpb.edu.br, 0009-0008-4450-8136;
[3]Doutor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, marcilio.maximo@ifpb.edu.br, 0000-0002-1448-1103;

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Sistemas de coleta e transporte: modelos de esgotamento rural: soluções individuais, condominiais e redes simplificadas; desafios logísticos e custos de implantação.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Sistemas de Recolección y Transporte: Modelos de Saneamiento Rural — Soluciones Individuales, Condominiales y Redes Simplificadas; Desafíos Logísticos y Costos de Implementación.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Collection and Transport Systems: Rural Sanitation Models — Individual, Condominium, and Simplified Networks; Logistical Challenges and Implementation Costs.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa dos custos envolvidos na implantação de biodigestores sertanejos nos estados do Nordeste brasileiro. Para tanto, foram considerados os seguintes componentes: custo total, custo de materiais e custo de mão de obra. A análise foi realizada utilizando-se a ferramenta Visus Cost Management. Como base de dados, empregaram-se os valores do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI, com data-base de agosto de 2025 (não desonerado), abrangendo todos os estados da região. Sobre os custos apurados, foi aplicado um BDI de 23,62%. Os resultados indicaram que os custos apresentam variações significativas entre os estados, em função das especificidades de cada um. Observou-se uma diferença de 8,30% nos custos totais, de 14,74% nos custos de materiais e de 15,15% nos custos de mão de obra. Além disso, verificou-se que, em média, a mão de obra corresponde a aproximadamente 32,39% do custo total, enquanto os materiais representam cerca de 67,61%. Esses parâmetros fornecem subsídios relevantes para orientar gestores públicos na alocação mais assertiva de recursos destinados à implantação de biodigestores em comunidades rurais do Semiárido nordestino.

Palavras-chave: Viabilidade Econômica, Biodigestores, Estados do Nordeste.

RESÚMEN

Este trabajo presenta un análisis comparativo de los costos involucrados en la implementación de biodigestores rurales en los estados del Nordeste de Brasil. Para ello, se consideraron los siguientes componentes: costo total, costo de materiales y costo de mano de obra.El análisis se llevó a cabo utilizando la herramienta Visus Cost Management. Como base de datos, se emplearon los valores del Sistema Nacional de Precios e Índices para la Construcción Civil – SINAPI, con fecha base de agosto de 2025 (no desonerado), abarcando todos los estados de la región. Sobre los costos obtenidos, se aplicó un BDI del 23,62%. Los resultados indicaron que los costos presentan variaciones significativas entre los estados, en función de las particularidades de cada uno. Se observó una diferencia del 8,30% en los costos totales, del 14,74% en los costos de materiales y del 15,15% en los costos de mano de obra. Además, se verificó que, en promedio, la mano de obra representa aproximadamente el 32,39% del costo total, mientras que los materiales corresponden a cerca del 67,61%. Estos parámetros ofrecen elementos relevantes para orientar a los gestores públicos en la asignación más acertada de recursos destinados a la implementación de biodigestores en comunidades rurales del Semiárido nordestino.

Palabras clave: Viabilidad Económica, Biodigestores, Estados del Nordeste.

ABSTRACT

His study presents a comparative analysis of the costs involved in the implementation of rural biodigesters in the Northeastern states of Brazil. For this purpose, the following components were considered: total cost, material cost, and labor cost. The analysis was carried out using the Visus Cost Management tool. As a database, the values from the National System of Costs and Indices for Civil Construction – SINAPI, with a base date of August 2025 (non-tax exempt), were employed, covering all states in the region. A BDI of 23.62% was applied to the calculated costs. The results indicated that costs vary significantly among states, depending on their specific characteristics. A difference of 8.30% in total costs, 14.74% in material costs, and 15.15% in labor costs was observed. Furthermore, it was verified that, on average, labor accounts for approximately 32.39% of the total cost, while materials represent about 67.61%.These parameters provide relevant guidance for public managers in making more assertive allocations of resources aimed at the implementation of biodigesters in rural communities of the Northeastern semi-arid region.

Keywords: Economic Feasibility, Biodigesters, Northeastern States.

INTRODUÇÃO

A utilização de biodigestores em pequena escala, especialmente no contexto do Semiárido brasileiro, tem ganhado destaque como uma alternativa acessível para promover energia limpa e, ao mesmo tempo, gerar economia para famílias rurais. Esses equipamentos, conhecidos como biodigestores sertanejos, permitem reduzir a dependência do gás liquefeito de petróleo (GLP) ou da lenha, além de transformar resíduos agropecuários em biofertilizante.

Entretanto, a viabilidade dessa tecnologia depende de um equilíbrio cuidadoso entre os custos de implantação e manutenção e os benefícios efetivamente obtidos. Como destacam Bond e Templeton (2011), a adoção de biodigestores em países em desenvolvimento precisa ser avaliada não apenas pela sua capacidade técnica, mas também pela sustentabilidade econômica a longo prazo.

No Brasil, instituições como a Embrapa e o CIBiogás apontam que o modelo sertanejo de biodigestor se caracteriza pelo baixo custo inicial de construção, geralmente viabilizado por soluções simples como sistemas tubulares em lona de polietileno. Além da produção de biogás, esses sistemas apresentam ganhos associados ao reaproveitamento de dejetos animais, que retornam ao solo sob a forma de fertilizante orgânico. Nesse sentido, os programas de disseminação têm mostrado maior potencial de sucesso quando existe compatibilidade entre a disponibilidade de substratos (bovinos, caprinos e resíduos orgânicos), a rotina das famílias no manejo do equipamento e a disponibilidade mínima de água para diluição da biomassa (Embrapa, 2015; CIBiogás, 2020).

Do ponto de vista analítico, a metodologia recomendada por organismos internacionais, como a FAO (2018), sugere a consideração de todos os custos de ciclo de vida do biodigestor. Isso inclui, de um lado, os investimentos iniciais em infraestrutura, tubulações e materiais de vedação (CAPEX), e de outro, os custos recorrentes com operação e manutenção (OPEX). Esses valores devem ser contrapostos a benefícios mensuráveis, como a redução de despesas com energia doméstica e a substituição de fertilizantes químicos, possibilitando o cálculo de indicadores de viabilidade, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (payback).

Estudos aplicados ao Semiárido, como os de Haack (2018) e Santos (2020), reforçam que a viabilidade econômica tende a ser maior em propriedades com densidade de rebanho suficiente para garantir uma produção estável de biogás, e em locais onde os custos de energia convencional são mais elevados. Por outro lado, alertam para os riscos de inviabilidade quando o investimento inicial é elevado em comparação com a renda familiar ou quando a logística de operação — especialmente a disponibilidade de água — não é devidamente considerada no desenho do projeto.

Mais recentemente, experiências relatadas por Potiguar (2022) indicam que os benefícios dos biodigestores sertanejos ultrapassam a esfera econômica. Além de proporcionar

economia com combustível e fertilizante, a tecnologia contribui para a redução da coleta de lenha na Caatinga, diminui a emissão de fumaça no ambiente doméstico e melhora a qualidade de vida das famílias envolvidas.

Portanto, ao discutir os custos associados à implantação de biodigestores no Semiárido, é fundamental considerar não apenas os aspectos financeiros diretos, mas também os impactos ambientais e sociais que reforçam sua relevância para a região. Nesse cenário, a análise de viabilidade deve contemplar diferentes cenários, comparando modelos construtivos, estimando custos reais de operação e reconhecendo os co-benefícios que a literatura internacional e nacional já têm apontado como decisivos para a adoção dessa tecnologia.

Consoante a isto, este trabalho busca elaborar um comparativo dos custos de implantação de biodigestores sertanejos no nordeste brasileiro, este comparativo serve para balizar políticas públicas no tocante à implantação destes sistemas já consolidados, é notório que a viabilidade econômica pode, em certa parte, inviabilizar a tomada de decisão de gestores em relação à temática, ou ajudar na aceitação desta solução técnica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise dos custos foi utilizada a ferramenta Visus Cost Management, versão 08-2025, da Empresa AltoQi - S3Eng Tecnologia Aplicada a Engenharia, como banco de dados foram utilizados os dados do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI, com data base de Agosto / 2025 – Não Desonerado, para todos os estados do Nordeste.

Para quantificação dos materiais envolvidos, foi dimensionada uma estrutura com dados da literatura e calculado do volume de carga de esterco por dia, tomando como base 16 animais, sendo 6 bovinos e 10 suínos, e uma relação de água/esterco de 2. O Cálculo de Equivalência de energia, produção média de biogás por animal, foi tomado sendo 0,36 m^3/animal/dia para os bovinos e 0,1725 m^3/animal/dia para os suínos. O volume do biodigestor em função da carga de alimentação foi de 11,205 m^3. O volume do projeto do biodigestor do tipo sertanejo foi de 14,34 m^3. O tanque de alimentação recebe uma carga de 0,25 m^3/dia com tempo de retenção hidráulica de 45 dias, com carga orgânica volumétrica de 1,44 kg/m^3.dia. Os resultados mostram uma produção anual de biogás de aproximadamente 116 m^3/mês.

De posse destes parâmetros de entrada, foram obtidos os quantitativos, bem como foram levantados os custos de todos os materiais e mão de obra envolvidos, além de ser

considerado também os custos referentes à Bonificação e Despesas Indiretas – BDI, levando em consideração como sendo mero fornecimento de materiais e equipamentos, ou seja com um BDI = 23,62 %, sendo obtida através da tabela 1 e conforme a equação:

$$BDI = [\frac{(1 + AC + SG + R)(1 + DF)(1 + L)}{(1 - I)}] x100$$

Tabela 1. Valores para cálculo de BDI conforme Acordão TCU 2.622/2013 – Plenário, 2025

Item	Sigla	Descrição	Taxa adotada (%)	1º Quartil	Médio Quartil	3º Quartil
1	**AC**	**Administração central**	3,45%	1,50%	3,45%	4,49%
2	**SG**	**Seguros e garantia**	0,48%	0,30%	0,48%	0,82%
3	**R**	**Riscos e imprevistos**	0,85%	0,56%	0,85%	0,89%
4	**DF**	**Despesas financeiras**	0,85%	0,85%	0,85%	1,11%
5	**L**	**Lucro bruto**	5,11%	3,50%	5,11%	6,22%
6	**I**	**Impostos**	10,15%			
6.1		PIS	0,65%			
6.2		COFINS	3,00%			
6.3		ISS (conforme legislação municipal)	2,00%			
6.4		CPRB (contribuição prev. sobre receita bruta)	4,50%			

Fonte: Adaptado de AltoQi Visus (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros elencados, foram determinantes para o dimensionamento adequado do biodigestor sertanejo, bem como, de todos os quantitativos envolvidos neste trabalho, de modo que, foram levantados materiais, mão de obra e equipamentos que balizaram este estudo, para tanto, são evidenciados na tabela 2, todos estes insumos, com os referidos códigos SINAPI.

Tabela 2. Códigos SINAPI e os Itens utilizados, 2025

item	Tipo	Código	Descrição	Unid.	Quantidade
1.1	insumo	34449	aco ca-50, 6,3 mm, dobrado e cortado	kg	6
1.2	insumo	43130	arame galvanizado 12 bwg, d = 2,76 mm (0,048 kg/m) ou 14 bwg, d = 2,11 mm (0,026 kg/m)	kg	8
1.3	insumo	4721	pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	0,216
1.4	insumo	37105	caixa d'agua / reservatorio em poliester reforcado com fibra de vidro, 5000 litros, com tampa	un	1
1.5	insumo	11026	chapa de aco galvanizada bitola gsg 14, e = 1,95 mm (15,60 kg/m2)	kg	8

1.6	insumo	7170	tela fachadeira em polietileno, rolo de 3 x 100 m (l x c), cor branca, sem logomarca - para protecao de obras	m²	2
1.7	insumo	7271	bloco ceramico / tijolo vazado para alvenaria de vedacao, 8 furos na horizontal de 9 x 19 x 19 cm (l x a x c)	un	500
1.8	insumo	9836	tubo pvc serie normal, dn 100 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	4
1.9	insumo	41936	tubo coletor de esgoto, pvc, jei, dn 150 mm (nbr 7362)	m	6
1.10	insumo	9875	tubo pvc, soldavel, de 50 mm, agua fria (nbr-5648)	m	3
1.11	insumo	21003	tubo aco carbono com costura, nbr 5580, classe l, dn = 40 mm, e = 3,0 mm, 3,34 kg/m	m	3
1.12	insumo	13294	parafuso de aco zincado, sextavado, com rosca soberba, diametro 3/8", comprimento 80 mm	un	1
1.13	insumo	4299	parafuso zincado rosca soberba, cabeca sextavada, 5/16" x 110 mm, para fixacao de telha em madeira	un	2
1.14	insumo	20209	caibro aparelhado *7,5 x 7,5* cm, em macaranduba/massaranduba, angelim ou equivalente da regiao	m	10
1.15	insumo	9873	tubo pvc, soldavel, de 60 mm, agua fria (nbr-5648)	m	3
1.16	insumo	100	adaptador pvc, soldavel, com flanges e anel de vedacao, 60 mm x 2", para caixa d'agua	un	1
1.17	insumo	43614	tabua nao aparelhada *2,5 x 15* cm, em macaranduba/massaranduba, angelim ou equivalente da regiao - bruta	m	3
1.18	insumo	13294	parafuso de aco zincado, sextavado, com rosca soberba, diametro 3/8", comprimento 80 mm	un	4
1.19	insumo	9837	tubo pvc serie normal, dn 75 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	2
1.20	insumo	12910	cap pvc, soldavel, dn 75 mm, serie normal, para esgoto predial	un	4
1.21	insumo	7138	te soldavel, pvc, 90 graus, 20 mm, para agua fria predial (nbr 5648)	un	2
1.22	insumo	9867	tubo pvc, soldavel, de 20 mm, agua fria (nbr-5648)	m	30
1.23	insumo	3542	joelho pvc, soldavel, 90 graus, 20 mm, cor marrom, para agua fria predial	un	14
1.24	insumo	95	adaptador pvc soldavel, com flange e anel de vedacao, 20 mm x 1/2", para caixa d'agua	un	2
1.25	insumo	88	adaptador pvc, soldavel, longo, com flange livre, 32 mm x 1", para caixa d'agua	un	1
1.26	insumo	44909	mangueira flexivel transparente com espiral azul, em pvc, diam. 1" (25 mm), para servicos leves de succao e descarga	m	5
1.27	insumo	11673	registro de esfera, pvc, com volante, vs, soldavel, dn 20 mm, com corpo dividido	un	2
1.28	insumo	11927	abracadeira, galvanizada/zincada, rosca sem fim, parafuso inox, largura fita *12,6 a *14 mm, d = 2" a 2 1/2"	un	3
1.29	insumo	9905	uniao pvc, soldavel, 20 mm, para agua fria predial	un	1
1.30	insumo	20080	adesivo plastico para pvc, frasco com 175 gr	un	1

1.31	insumo	1379	cimento portland composto cp ii-32	kg	450
1.32	insumo	370	areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³	5
1.33	insumo	4750	pedreiro (horista)	h	80
1.34	insumo	6127	auxiliar de pedreiro (horista)	h	80
1.35	insumo	própria	garrafão acrílico para água mineral - 20 litros	un	1

Fonte: Adaptado de AltoQi Visus (2025).

Através destes quantitativos de materiais, foram levantados os custos para cada estado do nordeste basileiro, separado por material, mão de obra e custo total, levando em consideração também o BDI supracitado, de modo que os dados são elencados na Tabela 3.

Tabela 3. Custos de Material, Mão de Obra e Total do Biodigestor

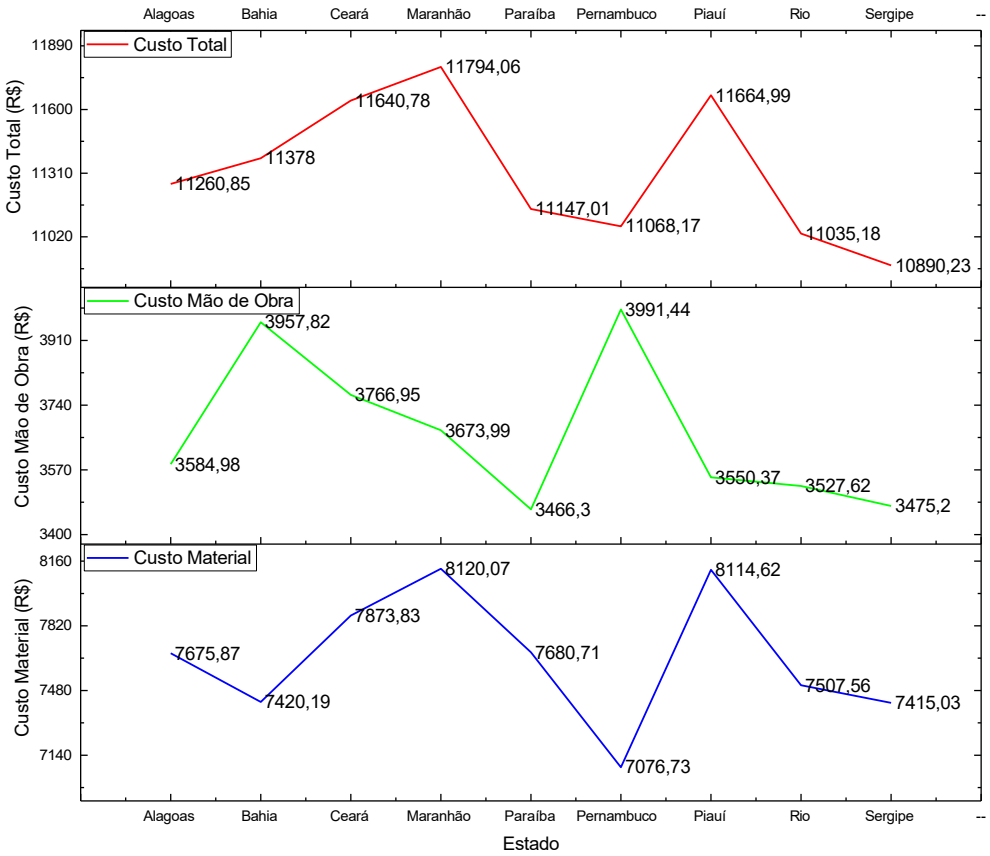
Item	Estado	Custo Material (R$)	Custo Mão de Obra (R$)	Custo Total do biodigestor (R$)
1	Alagoas	7.675,87	3.584,98	11.260,85
2	Bahia	7.420,19	3.957,82	11.378,00
3	Ceará	7.873,83	3.766,95	11.640,78
4	Maranhão	8.120,07	3.673,99	11.794,06
5	Paraíba	7.680,71	3.466,30	11.147,01
6	Pernambuco	7.076,73	3.991,44	11.068,17
7	Piauí	8.114,62	3.550,37	11.664,99
8	Rio Grande do Norte	7.507,56	3.527,62	11.035,18
9	Sergipe	7.415,03	3.475,20	10.890,23

Fonte: Arquivo do Autor (2025).

Ao analisarmos os custos de Material, Mão de Obra e Custos Totais do biodigestor, algumas observações podem ser feitas, o maior valor de Custo Total verificado está no estdo do Maranhão (R$ 8.120,07), neste estado o que eleva o custo é o relativo ao material envolvido, porém, o menor Custo Total está no estado de Sergipe (R$ 10.890,23), devido principalmente a ser o segundo menor custo de material (R$ 7.415,03) e mão de obra (R$ 3.475,20) respectivamente. Em relação ao Custo relativo à Mão de Obra, temos que o estado de Pernambuco tem o maior custo relativo à este item (R$ 3.991,44) , entretanto o menor custo de Mão de Obra está no estado da Paraíba (R$ 3.466,30). Os maiores Custos de Material, estão sendo verificados nos estados do Maranhão (R$ 8.120,07) e Piauí (R$ 8.114,62) , que pode ser atribuído, principalmente, à fatores logísticos destes estados. O menor Custo de Material está no estado de Pernambuco (R$ 7.076,73). O Custo médio para cosntrução dos biodigestores é da ordem de R$ 11.319,92, sendo o Custo médio de Material de R$ 7.653,85 e de Mão de Obra sendo R$ 3.666,07, representando cerca de 67,61 % os materiais e 32,39 % a mão de obra. Há

uma variação da ordem de 8,30 % entre os custos totais do Biodigestor, outra de 15,15 % do Custo de Mão de Obra e 14,74 % dos Custos de Material envolvidos, a Figura 1 apresenta estes valores de forma gráfica.

Figura 1. Custos de Material, Mão de Obra e Total do Biodigestor



Fonte: Arquivo do Autor (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou uma análise comparativa de um biodigestor em todos os estados do Nordeste, foi verificado que nuancias relativas à cada estado, podem inferir diretamente nos custos envolvidos. Os Custos Totais, de Material e Mão de Obra diferem de estado para estado, cada um tem sua realidade, imposta as vezes por questões logísticas.

Também foi observado que há uma variação considerável entre valores, dos Custos Totais (8,30 %), de Material (14,74 %) e de Mão de Obra (15,15 %), estes valores divergem bastante entre os estados. Desta forma, não é possível considerar um valor único para todos os

estados, balizando assim políticas públicas para implantação deste sistema em comunidades rurais.

Ao tentar definir políticas públicas orçamentárias, deve-se analisar a realidade de cada estado separadamente, uma vez que cada um dos estados do Nordeste, terá uma realidade distinta, seja relativa à aquisição de materiais ou até mesmo as questões relativas à mão de obra, que têm custos relativamente consideráveis, haja vista que os valores médios de mão de obra chegam a cerca de 32,39 % e os materiais 67,61 % do custo total.

Espera-se que este trabalho, sirva para que os gestores utilizem os recursos para políticas públicas de forma mais acertiva, orientando a estes a melhor forma de analisar e utilizar os recursos públicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bond, T.; Templeton, M. R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development, v. 15, p. 347-354, 2011.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão nº 2.622/2013 – Plenário. Brasília, DF: TCU, 2013. Disponível em: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/. Acesso em: 29 set. 2025.

Cibiogás. Panorama do biogás no Brasil. Foz do Iguaçu: Centro Internacional de Energias Renováveis, 2020.

Embrapa. Oportunidades e desafios para o desenvolvimento do biogás no Brasil. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015.

FAO. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

Haack, S. C. Viabilidade econômica e financeira de biodigestores no semiárido baiano. Revista Econômica do Nordeste, v. 49, n. 3, p. 113-128, 2018.

Potiguar, S. Biodigestores sertanejos: contribuições para sustentabilidade energética no Semiárido. Holos, v. 3, p. 45-62, 2022.

Santos, A. P. Avaliação de modelos de biodigestores em propriedades familiares no semiárido. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039594

MICROPLÁSTICOS EM SISTEMAS DE SANEAMENTO RURAL: OCORRÊNCIA, PERMANÊNCIA E RISCOS AMBIENTAIS E À SAÚDE HUMANA

MICROPLÁSTICOS EN SISTEMAS DE SANEAMIENTO RURAL: OCURRENCIA, PERMANENCIA Y RIESGOS AMBIENTALES Y PARA LA SALUD HUMANA

MICROPLASTICS IN RURAL SANITATION SYSTEMS: OCCURRENCE, PERSISTENCE, AND ENVIRONMENTAL AND HUMAN HEALTH RISKS

Marcos Pereira de Araújo[1], Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira[2], Mônica de Amorim Coura[3].

[1]Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil, marcos.p.araujo@estudante.ufcg.edu.br, ORCID: 0000-0002-4148-0413;
[2]Doutora em Química, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, Brasil, andrea.maria@professor.ufcg.edu.br, ORCID: 0000-0001-5820-9315.;
[3]Professora – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil, macoura1@yahoo.com.br, ORCID: 0000-0001-5820-9315.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Saneamiento
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitation
Effluent characterization and monitoring of treatment efficiency.

RESUMO

Apesar da crescente atenção voltada à temática dos microplásticos, observa-se que a produção científica relacionada especificamente à sua ocorrência em sistemas de saneamento rural ainda é bastante limitada. Sendo assim, este estudo analisou a ocorrência, permanência e riscos associados aos microplásticos em sistemas rurais de saneamento, por meio de uma revisão de literatura publicada a partir de 2020. Os resultados indicam que os microplásticos estão presentes em esgoto fecal, estações de tratamento de águas residuárias e ambientes fluviais, representando um risco ecológico relevante. Fibras provenientes de vestuário e fragmentos de produtos domésticos são as formas predominantes. A eficiência de remoção varia conforme o tamanho, forma e densidade das partículas, sendo maior para microplásticos maiores e menor para fibras longas e delgadas. Wetlands construídos apresentaram remoção média de 52,4%, enquanto o lodo acumulado atua como vetor secundário de poluição. A irrigação com esgoto fecal e a deposição em solos agrícolas constituem rotas significativas de contaminação. Além dos impactos ambientais, a presença de microplásticos está associada a patógenos e a possíveis efeitos na saúde humana, incluindo doenças inflamatórias do trato gastrointestinal. O estudo evidenciou a necessidade de ampliar pesquisas e desenvolver estratégias de tratamento de lodo e esgoto fecal para reduzir a transferência de microplásticos e mitigar impactos ambientais e à saúde.

Palavras-chave: Microplásticos, Saneamento rural, Lodo, Risco ambiental, Saúde humana.

RESÚMEN

A pesar de la creciente atención hacia la temática de los microplásticos, se observa que la producción científica relacionada específicamente con su ocurrencia en sistemas de saneamiento rural aún es bastante limitada. Por ello, este estudio analizó la ocurrencia, permanencia y riesgos asociados a los microplásticos en sistemas rurales de saneamiento, mediante una revisión de la literatura publicada a partir de 2020. Los resultados indican que los microplásticos están presentes en aguas residuales fecales, estaciones de tratamiento de aguas residuarias y ambientes fluviales, representando un riesgo ecológico relevante. Las fibras provenientes de la vestimenta y los fragmentos de productos domésticos son las formas predominantes. La eficiencia de remoción varía según el tamaño, forma y densidad de las partículas, siendo mayor para microplásticos de mayor tamaño y menor para fibras largas y delgadas. Los humedales construidos presentaron una remoción promedio del 52,4%, mientras que el lodo acumulado actúa como vector secundario de contaminación. La irrigación con aguas residuales fecales y la deposición en suelos agrícolas constituyen rutas significativas de contaminación. Además de los impactos ambientales, la presencia de microplásticos se asocia con patógenos y posibles efectos sobre la salud humana, incluyendo enfermedades inflamatorias del tracto gastrointestinal. El estudio evidenció la necesidad de ampliar la investigación y desarrollar estrategias de tratamiento del lodo y de las aguas residuales fecales para reducir la transferencia de microplásticos y mitigar los impactos ambientales y sobre la salud.

Palabras clave: Microplásticos, Saneamiento rural, Lodo, Riesgo ambiental, Salud humana.

ABSTRACT

Despite the growing attention given to the issue of microplastics, scientific production specifically related to their occurrence in rural sanitation systems remains quite limited. Therefore, this study analyzed the occurrence, persistence, and associated risks of microplastics in rural sanitation systems through a literature review of publications from 2020 onward. The results indicate that microplastics are present in fecal sewage, wastewater treatment plants, and riverine environments, representing a significant ecological risk. Fibers from clothing and fragments of household products are the predominant forms. Removal efficiency varies according to particle size, shape, and density, being higher for larger microplastics and lower for long, thin fibers. Constructed wetlands showed an average removal of 52.4%, while accumulated sludge acts as a secondary pollution vector. Irrigation with fecal sludge and disposal on agricultural soils are significant contamination pathways. Beyond environmental impacts, the presence of microplastics is associated with pathogens and potential human health effects, including inflammatory gastrointestinal diseases. The study highlighted the need to expand research and develop treatment strategies for sludge and fecal sewage to reduce microplastic transfer and mitigate environmental and health impacts.

Keywords: Microplastics, Rural sanitation, Sludge, Environmental risk, Human health.

INTRODUÇÃO

Os microplásticos correspondem a partículas plásticas com dimensões inferiores a 5 mm, resultantes principalmente de processos de fragmentação e degradação de materiais maiores. A presença desses contaminantes no ambiente tem se tornado um tema de atenção crescente, em razão de sua elevada persistência e do potencial de provocar efeitos negativos tanto à saúde humana quanto aos ecossistemas (Chandra; Walsh, 2024).

Apesar da crescente atenção voltada à temática dos microplásticos, observa-se que a produção científica relacionada especificamente à sua ocorrência em sistemas de saneamento rural ainda é bastante limitada. Essa lacuna reforça a necessidade de reunir e analisar as contribuições já existentes, ao mesmo tempo em que destaca a importância de ampliar futuras pesquisas sobre o tema, considerando a vulnerabilidade das comunidades rurais frente à presença de poluentes emergentes.

Sendo assim, este estudo objetivou analisar as evidências sobre a presença de microplásticos em sistemas rurais de esgotamento sanitário, apresentando um panorama das rotas de entrada, da permanência e dos riscos associados a esses poluentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A condução deste estudo seguiu uma abordagem com foco na análise da literatura sobre microplásticos (MPs) em sistemas rurais de esgotamento e tratamento de águas residuárias. Para a busca e coleta dos dados, foi utilizada as bases de dados Science Direct, Scopus e Web of Science, reconhecidas pela abrangência e relevância na indexação de publicações científicas internacionais.

Os termos de pesquisa foram definidos a partir do objetivo central do estudo. A estratégia de busca empregada foi: *microplastic AND (“rural wastewater” OR “fecal sludge” OR “domestic sewage”) AND (“removal” OR “occurrence” OR “ecological risk” OR “health risk”).

A pesquisa foi realizada em setembro de 2025, contemplando artigos publicados a partir de 2020, de forma a garantir atualidade e relevância dos resultados. Foram incluídos exclusivamente artigos originais de pesquisa e escritos em inglês.

Após a triagem, foram selecionados estudos que abordavam: a ocorrência e abundância de MPs em sistemas rurais; as formas predominantes de MPs; a eficiência dos diferentes

processos de tratamento na remoção de MPs; os riscos ambientais e à saúde humana associados, incluindo bioacumulação, ecotoxicidade e correlação com microrganismos patogênicos.

A análise dos dados foi realizada integrando os resultados dos estudos para identificar padrões, lacunas e implicações futuras relacionadas à gestão dos MPs em áreas rurais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos estudos têm demonstrado que a presença de microplásticos (MPs) em sistemas rurais, incluindo esgoto fecal, estações de tratamento de águas residuárias e ambientes fluviais, configura um risco ecológico relevante e não desprezível (Gao et al., 2024; Zhang et al., 2023; Wei et al., 2020; Haque et al., 2024).

Entre as formas mais comuns de MPs identificadas nesses sistemas estão as fibras, predominantemente oriundas de vestuário, e os fragmentos, derivados de embalagens e produtos de uso cotidiano (Gao et al., 2024; Zhang et al., 2023; Wei et al., 2020). A elevada frequência dessas partículas ressalta a contribuição das atividades domésticas como fonte primária de contaminação.

A abundância de MPs em sistemas de tratamento de efluentes rurais estudados em Guiyang, China, variou de 3,8 a 10,2 itens/L, e a taxa de remoção por número foi baixa, de 14, 4% a 54,6% (média de 26,5%). No entanto, a remoção em massa (peso) foi maior em sistemas de tratamento rurais (49,1%) em comparação com os urbanos (30,8%). Isso ocorre porque os MPs no esgoto rural são, em média, maiores em tamanho, e partículas maiores contribuem significativamente mais para a massa total (Gao *et al.*, 2024).

A abundância média de MPs em amostras de esgoto fecal foi de 90,38±20,63 partículas/L, o que é muito maior do que a abundância em esgoto doméstico de estações de tratamento de efluentes rurais (0,43−2,154 partículas/L). A abundância decresceu na ordem: Fossa Comum (101,33 partículas/L) > Tanque Séptico (86,54 partículas/L) > Biodigestor (84,11 partículas/L). A maior abundância na fossa comum deve-se ao acúmulo de MPs no lodo estagnado e menos água de diluição. Já no caso do biodigestor, o menor nível de poluição por MPs pode estar ligado à degradação ou absorção de MPs por anaeróbios (Zhang *et al.*, 2023).

Os sistemas rurais de tratamento foram mais eficazes na remoção de partículas de tamanho maior (>0,1 mm ou 0,1−5 mm) do que as de tamanho pequeno (0,03−0,1 mm). Partículas maiores se sedimentam mais facilmente. Em processos anaeróbios, a remoção de

MPs grandes (0,1−5 mm) foi maior, com eficiência superior a 73% (Gao *et al.*, 2024). A remoção de MPs pequenos (0,0308−0.1 mm) foi mais eficiente no processo aeróbio, com mais de 75% (Wei *et al.,* 2020).

MPs na forma de filme foram removidos de forma muito eficaz nos sitemas de tratamento rurais (taxa de remoção de 82,8%). No entanto, a remoção de fibras foi ineficiente, chegando a uma taxa de remoção negativa (−15,3%), sugerindo entrada endógena ou liberação durante o tratamento. A forma fibrosa, mais longa e esbelta, tem maior propensão a permanecer em suspensão e escapar da sedimentação (Wei *et al.*, 2020; Gao *et al.,* 2024).

Os wetlands construídos desempenharam um papel importante na remoção de MPs. Wetlands utilizados em sistemas de tratamento de águas residuais domésticas na China apresentaram uma taxa média de remoção de 52,4%. Verificou-se que a remoção é influenciada pelo tamanho dos poros do cascalho e pela taxa de carga hidráulica. Já a eficiência média de remoção total de MPs nos processos anaeróbios em sistemas de tratamento de águas residuais domésticas foi de 72,3% (Wei *et al.*, 2020).

Um estudo realizado em Bangkok, na Tailândia, comparou sistemas de tratamento de efluentes centralizados urbanos e sistemas descentralizados rurais. As concentrações de MPs no afluente dos sistemas descentralizados (2,9 a 31,2 MP/L) foram comparáveis às dos sistemas centralizados (4,3 a 51,9 MP/L), apesar da capacidade de tratamento e população atendida serem significativamente menores nas descentralizadas. A eficiência de remoção total foi maior nos sistemas de tratamento centralizados (50% a 96,8%) do que nas descentralizados (14,2% a 53,6%). A maior eficiência nos centralizados pode ser atribuída a configurações de processo como lodo ativado de dois estágios. Observou-se que um tempo de retenção hidráulica mais longo nos sistemas descentralizados, como o lodo ativado por aeração estendida (10−27 h), pode reduzir a eficácia da remoção devido à fragmentação dos MPs (Maw *et al.*, 2024).

O lodo de esgoto é um local primário de acúmulo dos MPs capturados, transformando sistemas de tratamento de efluentes em sumidouros e o lodo em uma fonte potencial de poluição em ecossistemas. A exposição prolongada (como em um leito de secagem de areia) e o estresse mecânico ou térmico podem levar à fragmentação dos MPs no lodo, aumentando o número de partículas menores (Maw *et al.*, 2024).

Em relação ao efluente final, mesmo após o tratamento, uma concentração significativa

de MPs é liberada no efluente, representando uma ameaça contínua aos corpos d'água receptores (Gao *et al.*, 2024).

No contexto agrícola, a irrigação com esgoto fecal tem se mostrado uma rota de contaminação relevante. Estimativas realizadas na China indicam que a entrada anual de MPs derivados de FS no solo varia entre $7{,}8\times10^3$ e $5{,}6\times10^4$ toneladas, valores comparáveis ou até superiores àqueles provenientes de fertilizantes orgânicos e deposição atmosférica (Zhang *et al.,* 2023).

Em ambientes aquáticos, estruturas como barragens podem favorecer o aprisionamento de partículas, promovendo o acúmulo de MPs em águas e sedimentos a montante. De forma semelhante, regiões de confluência de rios, caracterizadas por intensa turbulência, tendem a concentrar maiores quantidades de MPs na coluna d'água (Haque; Holsen; Baki, 2024).

Além da contaminação física, há riscos ecotoxicológicos associados. Devido à sua natureza hidrofóbica e elevada área superficial, os MPs apresentam capacidade de adsorver metais pesados, compostos orgânicos e outros poluentes tóxicos. Como consequência, atuam como vetores de transporte e exposição, afetando organismos aquáticos por ingestão direta e por meio da transferência ao longo das cadeias tróficas (Wei *et al.,* 2020; Zhang *et al.,* 2023; Maw *et al.*, 2024).

Os MPs representam também um risco potencial à saúde humana devido à sua capacidade de atuar como carreadores de toxinas e microrganismos patogênicos. Estudos indicam que patógenos humanos apresentam maior facilidade de adesão a superfícies artificiais, como o plástico, em comparação a materiais naturais, o que pode aumentar sua persistência e disseminação no ambiente. Evidências também apontam para uma correlação positiva entre a abundância de MPs no esgoto fecal rural e os gastos médios com cuidados médicos per capita. Tal associação sugere que a exposição a MPs presentes no lodo fecal pode estar relacionada a riscos aumentados de doenças, incluindo o agravamento de condições inflamatórias do trato gastrointestinal (Zhang *et al.*, 2023).

Adicionalmente, a presença de MPs no esgoto fecal mostrou correlação com gêneros bacterianos específicos, como *Phascolarctobacterium*, um microrganismo anaeróbio colonizador do trato gastrointestinal humano que pode estar implicado em processos patológicos. Esse achado reforça as preocupações quanto à aplicação agrícola do esgoto fecal, uma vez que pode representar uma via indireta de exposição humana a MPs e patógenos

associados (Zhang *et al.*, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise realizada, verificou-se que a permanência e a remoção de MPs nos sistemas de saneamento variam de acordo com o tipo de instalação, o processo de tratamento e as características do próprio microplástico (tamanho, forma, densidade).

A presença de MPs em ambientes terrestres e aquáticos representa um desafio crescente para a sustentabilidade dos ecossistemas. Um dos principais vetores de poluição hídrica e terrestre é o lançamento de esgoto rural sem tratamento adequado, incluindo efluentes de estações de tratamento de águas residuárias e de lodo fecal. Esses fluxos configuram uma fonte contínua e significativa de MPs em rios e lagos.

As estações de tratamento, embora desempenhem papel fundamental na retenção de partículas, atuam como sumidouros ao transferirem a maior parte dos MPs da água para o lodo. Esse resíduo, por sua vez, constitui um potencial vetor secundário de poluição, tanto para ambientes terrestres quanto aquáticos, quando destinado de forma inadequada.

Um aspecto recorrente observado foi a ineficiência dos processos de remoção de fibras, que se mantém como a fração menos retida em diferentes configurações de tratamento. Como consequência, fibras e fragmentos acabam sendo as formas predominantes no lodo, ampliando os desafios associados à gestão segura desses resíduos.

A literatura analisada evidencia a necessidade urgente de ampliar o foco da pesquisa e da gestão de MPs em áreas rurais, historicamente menos investigadas em comparação aos contextos urbanos. Essa lacuna limita a compreensão abrangente sobre a magnitude e as particularidades da poluição por MPs em sistemas descentralizados de saneamento.

No que se refere à disposição final de resíduos, destaca-se a urgência no desenvolvimento de estratégias específicas para o tratamento do lodo e do esgoto fecal, de modo a reduzir a transferência de MPs para o solo e, consequentemente, evitar novas rotas de contaminação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chandra, S.; Walsh, K. B. Microplastics in water: Occurrence, fate and removal. Journal of Contaminant Hydrology, p. 104360, 2024.

Gao, S., X. Zhang, L. Li, et al. 2024. "Significant Effects of Rural Wastewater Treatment Plants in Reducing Microplastic Pollution: A Perspective from China's Southwest Area." Journal of Hazardous Materials 480: 136488. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136488.

Haque, A., T. M. Holsen, and A. B. M. Baki. 2024. "Distribution and Risk Assessment of Microplastic Pollution in a Rural River System near a Wastewater Treatment Plant, Hydro-Dam, and River Confluence." Scientific Reports 14: 6006. https://doi.org/10.1038/s41598-024-56730-x.

Maw, M. M., J. Wang, Y. Liu, et al. 2024. "Microplastics in Wastewater and Sludge from Centralized and Decentralized Wastewater Treatment Plants: Effects of Treatment Systems and Microplastic Characteristics." Chemosphere 361: 142536. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142536.

Wei, S., J. Zhou, Y. Zeng, et al. 2020. "Characteristics and Removal of Microplastics in Rural Domestic Wastewater Treatment Facilities of China." Science of the Total Environment 739: 139935. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139935.

Zhang, X., L. Chen, H. Liu, et al. 2023. "Microplastics in Household Fecal Sewage Treatment Facilities of Rural China." Journal of Hazardous Materials 448: 130925. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130925.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039612

PRINCIPAIS POTENCIALIDADES E DIFICULDADES NO USO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

PRINCIPALES POTENCIALIDADES Y DIFICULTADES EN EL USO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS EN REGIONES SEMIÁRIDAS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

MAIN POTENTIALITIES AND DIFFICULTIES IN THE USE OF CONSTRUCTED WETLANDS IN SEMIARID REGIONS: A LITERATURE REVIEW

Edson Lucas de Sousa[1], Fernanda Carolina Monteiro Ismael [2], Naiara Angelo Gomes [3] e Thâmara Martins Ismael de Sousa [4].

[1] Graduando do Curso de Engenharia Civil, UFCG, edson.lucas22@outlook.com, /0009-0004-3721-4675;
[2]Professora orientadora, Mestra, IFPB, Campus Sousa, fernanda.ismael@ifpb.edu.br, /0009-0008-7564-523X;
[3]Professora Doutora, UACTA/CCTA/UFCG, naiaraangelocz@hotmail.com, orcid.org/0000-0001-6277-2522;
[4] Professora Doutora, UACTA/CCTA/UFCG, thamaraismael@hotmail.com, orcid.org/0000-0003-0593-7209.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

RESUMO

O semiárido brasileiro, sobretudo as áreas rurais, enfrenta limitações históricas relacionadas ao saneamento básico, agravadas pela escassez hídrica, dispersão populacional e restrições institucionais e técnicas. Nesse cenário, os *wetlands construídos* (WC) configuram-se como alternativa descentralizada e sustentável para o tratamento de águas residuárias, baseados em processos naturais mediados por substratos, macrófitas e microrganismos. A metodologia adotada consistiu, basicamente, numa revisão de literatura do tipo sistemática, onde foram consideradas publicações nacionais e internacionais entre os anos 2000 e 2024. Entre os resultados alcançados, verificou-se eficiências acima de 80% na remoção de DBO e DQO, redução significativa de coliformes termotolerantes e potencial para o reúso agrícola. As principais potencialidades constatadas referentes à adoção da tecnologia incluem o custo de implantação e manutenção, a simplicidade operacional e a integração produtiva com a agricultura. Contudo, limitações também foram verificadas, entre elas, destacam-se as elevadas perdas por evaporação, a sazonalidade das chuvas, o risco de colmatação dos filtros a ausência de regulamentação específica sobre critérios para o reuso das águas tratadas. Dessa forma, conclui-se que os WC têm grande potencial de aplicação no semiárido brasileiro, desde que acompanhados de adaptações técnicas, capacitação comunitária, incentivos institucionais e criação de regulamentação específica que viabilizem sua consolidação como solução de saneamento sustentável.

Palavras-chave: Sistemas alagados construídos; Semiárido; Tratamento de efluentes; Saneamento descentralizado; Reúso agrícola.

RESÚMEN

El semiárido brasileño, especialmente las zonas rurales, enfrenta limitaciones históricas relacionadas con el saneamiento básico, agravadas por la escasez hídrica, la dispersión poblacional y las restricciones institucionales y técnicas. En este escenario, los humedales construidos (HC) se configuran como una alternativa descentralizada y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, basada en procesos naturales mediados por sustratos, macrófitas y microorganismos. La metodología adoptada consistió básicamente en una revisión sistemática de literatura, considerando publicaciones nacionales e internacionales entre los años 2000 y 2024. Entre los resultados alcanzados, se verificaron eficiencias superiores al 80% en la remoción de DBO y DQO, reducción significativa de coliformes termotolerantes y potencial para el reúso agrícola. Las principales potencialidades constatadas respecto a la adopción de la tecnología incluyen el costo de implementación y mantenimiento, la simplicidad operacional y la integración productiva con la agricultura. Sin embargo, también se verificaron limitaciones, entre las cuales se destacan las elevadas pérdidas por evaporación, la estacionalidad de las lluvias, el riesgo de colmatación de los filtros y la ausencia de regulación específica sobre criterios para el reúso de las aguas tratadas. De esta forma, se concluye que los HC tienen gran potencial de aplicación en el semiárido brasileño, siempre que sean acompañados de adaptaciones técnicas, capacitación comunitaria, incentivos institucionales y creación de regulación específica que viabilicen su consolidación como solución de saneamiento sostenible.

Palabras clave: Humedales construidos; Semiárido; Tratamiento de aguas residuales; Saneamiento descentralizado; Reúso agrícola.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region, especially rural areas, faces historical limitations in basic sanitation, exacerbated by water scarcity, population dispersion, and institutional and technical constraints. In this context, constructed wetlands (CW) emerge as a decentralized and sustainable alternative for wastewater treatment, based on natural processes mediated by substrates, macrophytes, and microorganisms. The methodology adopted consisted of a systematic literature review, considering national and international publications between 2000 and 2024. Among the results achieved, efficiencies above 80% were verified in the removal of BOD and COD, significant reduction of thermotolerant coliforms, and potential for agricultural reuse. The main potentialities identified regarding the adoption of the technology include implementation and maintenance costs, operational simplicity, and productive integration with agriculture. However, limitations were also observed, such as high evaporation losses, rainfall seasonality, risk of filter clogging, and the lack of specific regulations for criteria regarding the reuse of treated water. Thus, it is concluded that CWs have great potential for application in the Brazilian semi-arid region, provided they are accompanied by technical adaptations, community training, institutional incentives, and the creation of specific regulations to enable their consolidation as a sustainable sanitation solution.

Keywords: *Constructed wetlands*; Semi-arid; Wastewater treatment; Decentralized sanitation; Agricultural reuse.

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro, abrangendo aproximadamente 982 mil km² e distribuído por nove estados do Nordeste e parte de Minas Gerais, é considerado a região semiárida mais populosa do planeta, abrigando cerca de 25 milhões de habitantes, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022). Essa população enfrenta vulnerabilidades históricas associadas à pobreza rural, à irregularidade climática e ao acesso restrito a serviços de saneamento básico. Segundo dados do

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2022), apenas 32% da população rural do semiárido possui acesso a esgotamento sanitário adequado, configurando um desafio estrutural para a saúde pública e para a gestão dos recursos hídricos, o que agrava os riscos de doenças de veiculação hídrica. Essas combinações limita a disponibilidade de água e compromete a qualidade ambiental.

O regime pluviométrico da região semiárida é irregular, com médias anuais entre 300 e 800 mm, concentradas em curtos períodos chuvosos, enquanto a evaporação potencial ultrapassa 2.000 mm/ano de acordo com Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2023). Esse balanço hídrico negativo compromete a disponibilidade de água superficial e subterrânea, exigindo o planejamento no armazenamento e no uso da água, além de ser necessário a busca por tecnologias que viabilizem a reutilização de água residuária para usos menos exigentes. Além disso, as técnicas para tratamento das águas residuárias devem combinar eficiência no tratamento com baixo consumo de água e energia.

Os sistemas convencionais, como as estações compactas de lodos ativados, filtros biológicos ou lagoas de estabilização, apresentam dificuldades de aplicação em áreas rurais dispersas devido ao custo de implantação e operação, necessidade de energia elétrica constante e exigência de operadores qualificados (Carvalho, Oliveira e Souza, 2021).

Diante desse cenário, sobretudo em regiões semiáridas, cresce o interesse por soluções alternativas de saneamento, mais simples e adaptadas ao contexto regional. Entre as alternativas, destacam-se os *wetands construídos* (WC), sistemas utilizados no tratamento de efluentes, baseados em processos naturais de depuração por meio de substratos filtrantes, macrófitas aquáticas e comunidades microbianas (Kadlec e Wallace, 2009).

Diferentemente de tecnologias convencionais como lagoas de estabilização, fossas sépticas e reatores de lodo ativado, os *Wetlands Construídos* (WC) apresentam vantagens significativas, entre as quais se destacam custos de implantação até 60% menores, operação simplificada com mínima necessidade de energia elétrica, potencial de reúso agrícola da água tratada e integração ao conceito de saneamento ecológico, que prioriza o reaproveitamento de recursos e a valorização de ciclos naturais (Sezerino *et al.*, 2015).

Nesse sentido, no que se refere à eficiências dos WCs, estudo mostram que a tecnologia pode atingir eficiências superiores a 80% na remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST) e nutrientes como nitrogênio e fósforo. Além de viabilizarem o tratamento descentralizado, os WC apresentam vantagens como baixo custo, fácil operação, integração paisagística e possibilidade de reúso agrícola da água tratada (Matos, Freitas, e Oliveira 2018).

Experiências internacionais no México (Zurita e White, 2014), na África (Okurut, 2014) e na Austrália (Stefanakis, 2020) comprovam sua adaptabilidade em contextos áridos e semiáridos, com eficiências de remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e sólidos suspensos superiores a 80%. No Brasil, estudos relatados em *Wetlands Brasil: Experiências brasileiras* (2021) confirmam sua aplicabilidade em comunidades rurais do semiárido.

Contudo, a aplicação dessa tecnologia em regiões semiáridas não é isenta de desafios. A alta evaporação pode reduzir significativamente a eficiência hidráulica, enquanto a sazonalidade das chuvas interfere no regime de carga hidráulica. Também se destacam problemas como entupimento de leitos (Stefanakis 2020).

Nesse cenário, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão na literatura científica acerca das principais potencialidades e dificuldades no uso de *wetlands* construídos em regiões semiáridas, com foco no Brasil e em experiências internacionais em condições climáticas similares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo consiste numa revisão sistemática de literatura, estruturada com base em pesquisas realizadas em *SciELO*, CAPES, BDTD, *Scopus, ScienceDirect, Web of Science* e *Google Scholar*, além de relatórios técnicos da ANA (2023), Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (2022) e *UN-Water* (2023). Foram utilizadas as palavras-chave "*wetlands construídos*", "*constructed wetlands*", "semiárido", "wastewater treatment" e "saneamento

descentralizado".

Para tanto, foram considerados trabalhos publicados entre os anos 2000 e 2024, que abordassem a aplicação de *wetlands* construídos em condições semiáridas ou similares. Os critérios de inclusão abrangeram artigos científicos, dissertações e relatórios técnicos que apresentassem resultados práticos ou discussões teóricas sobre o tema. Como critérios de exclusão, foram eliminados estudos restritos a climas umidos ou que não apresentavam informações técnicas relevantes ao contexto semiárido.

Conforme os critérios elencados anteriormente, os trabalhos foram selecionados e, posteriormente, organizados em duas categorias: potencialidades (relacionadas às vantagens técnicas, econômicas, sociais e ambientais), e dificuldades (englobando limitações de ordem climática, operacional e institucional). O processo metodológico desta revisão seguiu as etapas ilustradas na Figura 1, partindo da formulação da questão de pesquisa até a análise e interpretação dos resultados, passando pela seleção de estudos, extração e avaliação de dados, assegurando rigor e clareza na abordagem.

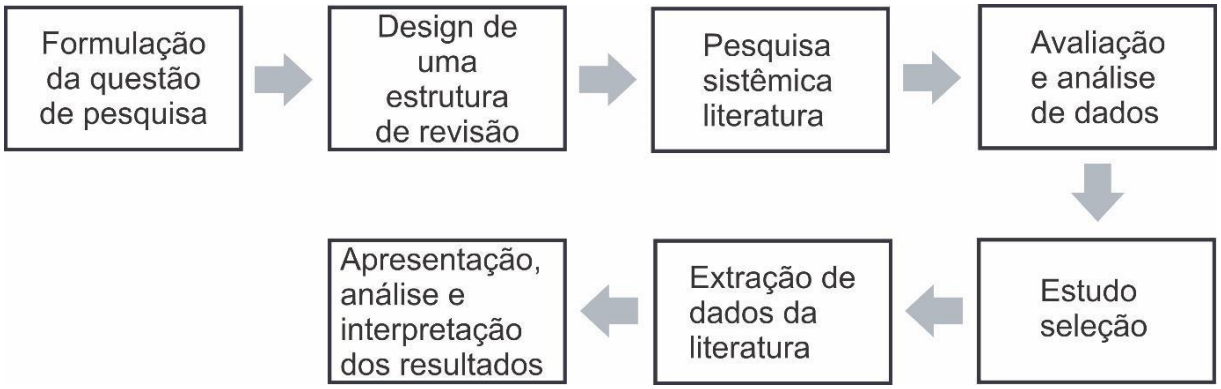


Figura 1. Fluxograma metodológico da revisão
Fonte: Adaptado de Zurita e White 2014.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Potencialidades dos *Wetlands* Construídos

Os *wetlands* construídos apresentam múltiplas vantagens para regiões semiáridas. Entre elas, destaca-se a eficiência no tratamento de efluentes. Estudos apontam que sistemas híbridos (combinação de fluxo subsuperficial horizontal e vertical), mesmo em condições de déficit hídrico acentuado, alcançam reduções superiores a 80% da DBO e da DQO, além de remoção significativa de nutrientes e patógenos (Kadlec e Wallace 2009; Calheiros, Pinto, e Castro 2017).

Zurita e White (2014), ao investigarem *wetlands* em áreas de clima seco no México, observaram que, mesmo sob forte evaporação, o sistema apresentou eficiência média de 78% na remoção de matéria orgânica. Já na Austrália, Stefanakis (2020) destaca que a eficiência no controle de coliformes termotolerantes alcançou reduções de até 4 log units, o que garante uma qualidade do efluente final adequada inclusive para reuso agrícola, prática recorrente em áreas áridas. A Tabela 1 sintetiza as eficiências médias de remoção de poluentes em diferentes configurações de *wetlands* construídos, conforme documentado em estudos realizados em contextos semiáridos. Os dados evidenciam o desempenho consistente desses sistemas no tratamento de efluentes, mesmo sob condições climáticas adversas.

Tabela 1. Potencialidades dos *wetlands* construídos para o semiárido

Tipo de Wetland	DBO (%)	DQO (%)	N total (%)	P total (%)	Coliformes (%)	Referência
HSSF (fluxo subsuperficial horizontal)	80–90	70–85	40–60	20–35	90	Kadlec e Wallace (2009); Teixeira *et al.* (2021)
VSF (fluxo vertical)	85–95	75–90	50–70	25–45	95	Zurita e White (2014); Stefanakis (2020)
Híbrido (HSSF + VSF)	90–95	80–92	60–75	30–50	>95	Calheiros *et al.* (2017); *Wetlands* Brasil (2021)

Fonte: Adaptado de Kadlec e Wallace (2009); Teixeira *et al*. (2021); Zurita e White (2014); Stefanakis (2020); Calheiros *et al*. (2017); *Wetlands* Brasil (2021).

Outro aspecto relevante é o baixo custo de implantação e operação, em comparação a sistemas convencionais, como reatores anaeróbios e lodos ativados. De acordo com Brasil (2020), tecnologias de base natural, como os *wetlands*, podem reduzir em até 60% os custos de manutenção, o que é fundamental em localidades que predominam o baixo poder aquisitivo.

No Brasil, iniciativas relatadas pelo *E-book Wetlands Brasil* (2021) em comunidades rurais da Bahia e da Paraíba demonstraram reduções de 40 a 50% nos gastos operacionais quando comparadas a fossas sépticas convencionais, principalmente pela ausência de necessidade de esgotamento frequente. Outro aspecto econômico relevante é a possibilidade de reaproveitamento dos efluentes tratados para irrigação, o que gera retorno financeiro indireto

por meio do incremento na produção agrícola e forrageira (Matos *et al.*, 2018).

A simplicidade operacional constitui ainda um ponto positivo. Como ressaltam *Carvalho et al.* (2021), a manutenção de *wetlands* pode ser realizada por moradores capacitados, sem a necessidade de operadores especializados, o que amplia a aceitação social e facilita a sustentabilidade a longo prazo.

Além disso, os WC podem ser integrados à produção agrícola, uma vez que a água tratada pode ser destinada à irrigação de culturas de baixo risco sanitário. Essa característica é especialmente relevante no semiárido, onde a escassez hídrica limita a produção agrícola (Matos *et al*. 2018). Assim, o sistema contribui não apenas para o saneamento, mas também para a segurança hídrica e alimentar das comunidades locais.

No que se refere às espécies vegetais utilizadas nos *wetlands*, sabe-se que as mesmas exercem papel crucial no desempenho do sistema, sobretudo em regiões semiáridas, onde a adaptação ao estresse hídrico é determinante. No Brasil, estudos mostram espécies com potencialde serem utilizadas, entre elas, tem-se que a *Typha domingensis* (taboa) apresenta elevada produção de biomassa e resistência à variação hídrica, sendo amplamente empregada em sistemas de fluxo subsuperficial. Já o *Phragmites australis* (caniço), muito utilizado em sistemas europeus e africanos, também tem mostrado bom desempenho em climas secos, especialmente na remoção de nutrientes e na estabilização do leito (Okurut, 2014).

Outras espécies de interesse incluem o Chrysopogon zizanioides (vetiver), cujas raízes profundas favorecem a oxigenação do substrato e aumentam a resistência a entupimentos, e o Cyperus papyrus (papiro), que além de eficiente na depuração confere apelo estético ao sistema. Experiências brasileiras relatadas por Matos *et al.* (2018) apontam ainda o uso do capim-elefante (Pennisetum purpureum), que permite o aproveitamento da biomassa como forragem, integrando a lógica de saneamento ecológico e produção agrícola.

A seleção criteriosa das espécies deve considerar não apenas a eficiência depuradora, mas também aspectos socioeconômicos e culturais, uma vez que o aproveitamento agrícola da biomassa pode aumentar a aceitação comunitária e garantir maior sustentabilidade dos projetos

3.2 Dificuldades e Limitações

Apesar dos benefícios, a implantação de *wetlands* no semiárido enfrenta obstáculos significativos. O principal está relacionado às condições climáticas. A elevada evaporação, que pode ultrapassar 2.000 mm anuais em determinadas áreas, compromete o balanço hídrico dos sistemas e pode reduzir a vazão de saída (Zurita e White, 2014).

Do ponto de vista técnico, para atender comunidades maiores, são exigidos grandes espaços físicos, o que pode dificultar sua aplicação em localidades com restrições de espaço (Kadlec e Wallace 2009). Outro desafio recorrente é a colmatação dos leitos filtrantes, provocada pelo acúmulo de sólidos suspensos e pelo crescimento excessivo das raízes das macrófitas. Esse problema exige manejo periódico, incluindo colheita das plantas e revolvimento do substrato, atividades que, embora simples, dependem do engajamento comunitário.

Os aspectos sociais também representam um desafio. Em muitas comunidades, há desconhecimento ou resistência cultural em relação ao uso de tecnologias baseadas em processos naturais. Esse fator exige capacitação técnica e campanhas de sensibilização para garantir adesão e operação adequada (Matos *et al*., 2018).

Do ponto de vista institucional, destaca-se a ausência de políticas públicas específicas que incentivem a adoção de soluções descentralizadas de saneamento no semiárido. Por fim, a falta de regulamentação específica no Brasil dificulta a difusão da tecnologia. Embora existam normas para o reúso agrícola de efluentes, como a Resolução CONAMA nº 375/2006, que dispõe sobre os critérios e procedimentos para o reúso direto não potável de água proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário, ainda não há diretrizes claras sobre os parâmetros e padrão de qualidade da água residuária tratada para utilização específica na agricultura, o que fragiliza sua inserção em políticas públicas de saneamento.

3.3 Experiências Brasileiras

O Brasil possui experiências significativas no uso de *wetlands* construídos em regiões semiáridas. Em Minas Gerais, Matos, Freitas e Oliveira (2018) demonstraram que o reuso agrícola de efluentes tratados resultou em incremento de até 30% na produtividade de forrageiras, reforçando o potencial de integração entre saneamento e segurança alimentar. Na Paraíba, Teixeira *et al*. (2021) observaram remoções consistentes de 85% da DBO e 80% da DQO em sistemas de fluxo subsuperficial horizontal, mesmo durante períodos de estiagem.

Estudo realizado por Andrade, Silva e Pereira (2020), na Bahia, apontou redução de 50% nos custos de tratamento em agroindústrias familiares que optaram pelo uso de WC em substituição a fossas e filtros anaeróbios. Já o *E-book Wetlands Brasil* (2021) compila casos de sucesso em diferentes estados, incluindo experiências no semiárido nordestino, e enfatiza que a adoção comunitária é mais efetiva quando os sistemas estão associados a usos produtivos, como irrigação de hortas comunitárias ou aproveitamento paisagístico.

Esses exemplos nacionais demonstram que, quando corretamente dimensionados e adaptados às condições climáticas e sociais, os *wetlands* podem não apenas solucionar problemas de saneamento, mas também gerar externalidades positivas, como a valorização do espaço comunitário e a diversificação produtiva.

3.4 Experiências Internacionais

Em escala internacional, os *wetlands* construídos também têm sido amplamente aplicados em regiões áridas e semiáridas, oferecendo importantes lições para o contexto brasileiro. No México, Zurita e White (2014) avaliaram sistemas híbridos implantados em áreas com evaporação anual superior a 2.000 mm, constatando remoções de 78 a 92% da DBO, com destaque para a elevada estabilidade do sistema mesmo em períodos críticos de seca.

Na África, Okurut (2014) estudou *wetlands* naturais e construídos em Uganda e verificou eficiências médias de 85% para DBO e 70% para nitrogênio total, embora tenha registrado perdas de até 35% do volume tratado por evaporação, um aspecto crítico para climas semiáridos. Na Austrália, Stefanakis (2020) analisou a aplicação da tecnologia em *resorts* turísticos localizados em regiões áridas, demonstrando que, além de eficiente no tratamento, o sistema pode ser incorporado ao paisagismo, agregando valor estético e econômico.

Na Espanha, Calheiros *et al*. (2017) reportaram que *wetlands* híbridos foram capazes de promover reduções superiores a 95% na carga de coliformes termotolerantes, permitindo o reuso da água tratada em irrigação de olivares. Esses resultados internacionais reforçam que a adaptação do design dos sistemas às condições locais - em especial a combinação de diferentes configurações (HSSF + VSF) - é a chave para o sucesso em regiões de clima seco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão demonstrou que os *wetlands* construídos são uma alternativa promissora para o tratamento de águas residuárias no semiárido, unindo eficiência depuradora, baixo custo e viabilidade social. Experiências nacionais e internacionais comprovam elevadas remoções da DBO e da DQO, além de significativa redução de patógenos, permitindo o reuso agrícola em segurança.

Entre os arranjos disponíveis, os sistemas híbridos (HSSF + VSF) se destacam pela maior eficiência e estabilidade operacional. O uso de plantas adaptadas ao semiárido, como *Typha domingensis*, *Phragmites australis* e *Chrysopogon zizanioides*, aumenta a resiliência ao estresse hídrico e permite benefícios adicionais, como produção de biomassa.

Apesar das potencialidades, desafios como altas perdas por evaporação e falta de

normatização específica no Brasil limitam a difusão da tecnologia. Recomenda-se que políticas públicas de saneamento rural incorporem os *wetlands* como solução prioritária, com incentivos financeiros e capacitação comunitária para manutenção dos sistemas.

No campo científico, ainda são necessárias pesquisas de longa duração, estudos sobre remoção de micropoluentes emergentes e análises de custo-benefício em escala comunitária são necessários. Assim, os WC devem ser vistos não apenas como uma tecnologia de tratamento, mas como uma estratégia integrada de saneamento e desenvolvimento sustentável para o semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, L. N., M. E. Silva, and J. F. Pereira. "Aplicação de *wetlands construídos* no tratamento de águas residuárias em agroindústrias familiares do semiárido." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 24, no. 3 (2020): 175–83.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. *PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico*. Brasília: MDR, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2023.

Calheiros, C. S. C., R. Pinto, and P. M. L. Castro. "*Constructed wetlands* for the treatment of industrial wastewater: a review." *Journal of Environmental Management* 187 (2017): 560–70.

CARVALHO, L. C.; OLIVEIRA, T. R.; SOUZA, R. *Wetlands construídos*: potencialidades e limitações no semiárido brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 311–320, 2021.Kadlec, R. H., and S. D. Wallace. *Treatment Wetlands*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. *Treatment Wetlands*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

Matos, A. T., W. S. Freitas, and R. A. Oliveira. "Reuso agrícola de águas residuárias tratadas em *wetlands* construídos." *Engenharia Agrícola* 38, no. 1 (2018): 150–60.

OKURUT, T. O. Natural and *constructed wetlands* for wastewater treatment in developing countries: a case study of Uganda. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 5, p. 231–238, 2014.

Sezerino, P. H., C. R. Lopes, and M. Von Sperling. "Experiências brasileiras com *wetlands construídos* aplicados ao tratamento de esgotos." *Revista DAE* 63, no. 202 (2015): 36–49.

Stefanakis, A. I. "*Constructed wetlands* for wastewater treatment in hot and arid climates: challenges and perspectives." *Water* 12, no. 1665 (2020): 1–19.

TEIXEIRA, C. A.; MORAIS, J. S.; FERREIRA, R. S. Avaliação de *wetlands* de fluxo subsuperficial no semiárido brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 5, p. 789–798, 2021.

WETLANDS BRASIL. *Experiências brasileiras*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.

Zurita, F., and J. R. White. "Comparative study of three two-stage hybrid ecological wastewater treatment systems for producing high quality effluent." *Water Research* 55 (2014): 82–92.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039641

PROTÓTIPO DE WETLAND HORIZONTAL PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE FERRO

PROTOTIPO DE HUMEDAL CONSTRUIDO HORIZONTAL PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO CON ALTA CONCENTRACIÓN DE HIERRO

PROTOTYPE OF A HORIZONTAL CONSTRUCTED WETLAND FOR TREATING SYNTHETIC EFFLUENT WITH HIGH IRON CONCENTRATION

Monaliza Barreto[1], André Oliveira[2], José Gabriel Mendes[3] e Francisco Rodrigo de Lemos Caldas[4].

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal do Ceará, Campus Juazeiro do Norte, Brasil, monaliza.rita.silva40@aluno.ifce.edu.br, nº de 0009-0003-2337-2755;
[2]Curso Integrado ao Ensino Médio de Eletrotécnica , Instituto Federal do Ceará, Campus Juazeiro do Norte, Brasil, andre.silva62@aluno.ifce.edu.br, nº de ORCID;
[3]Mestrando em Meio Ambiente, Instituto Federal do Ceará, Campus Juazeiro do Norte, Brasil, gabo.mendes97@gmail.com, 0009-0005-8469-615X;
[4] Doutor em Desenvolvimento e Inovação Tecnológica pela UFRPE, Instituto Federal do Ceará, Campus Juazeiro do Norte, Brasil, rodrigo.lemos@ifce.edu.br, nº de ORCID.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Tecnologias descentralizadas de tratamento: fossas sépticas, biodigestores, wetlands, reatores e outras soluções de baixo custo para comunidades rurais.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Decentralized treatment technologies: septic tanks, biodigesters, constructed wetlands, reactors, and other low-cost solutions for rural communities.

RESUMO

Este estudo avaliou a eficiência de um sistema de *wetland* construído horizontal em escala laboratorial para remoção de ferro de efluentes sintéticos, com concentração inicial de 250 mg/L. O sistema foi operado com *Typha domingensis* como macrófita e tempo de retenção hidráulica (TRH) de 24 horas, demonstrando elevada eficiência na remoção do metal, com taxas entre 96,7,7% e 100 %. As análises por espectrofotometria UV-VIS, utilizando o método da 1,10-fenantrolina (APHA, 2017), confirmaram que os efluentes tratados apresentaram concentrações inferiores a 15 mg/L, atendendo ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Os resultados destacam a estabilidade do sistema e sua viabilidade técnica e ambiental, reforçando os *wetlands* construídos como uma alternativa sustentável e de baixo custo para o tratamento de águas contaminadas por metais. A presença da vegetação e do substrato selecionado foi fundamental para os processos de oxidação, precipitação e retenção do ferro. Além disso, sugere-se que a inoculação de microrganismos específicos pode potencializar a formação de biofilmes e a remoção do metal, ampliando as possibilidades de aplicação da tecnologia. O estudo também discute a relevância da técnica para contextos rurais e industriais, onde a contaminação por ferro é frequente devido a atividades agrícolas e mineradoras. A simplicidade operacional e a integração com o ambiente tornam os *wetlands* construídos uma solução promissora para regiões com

limitações de infraestrutura. Como perspectivas futuras, recomenda-se a avaliação do sistema em escala real, a investigação de sua eficácia para outros metais e a otimização por meio de bioaumento microbiano.

Palavras-chave: *Wetland* construído, remoção de ferro, *Typha domingensis*, tratamento de efluentes, sustentabilidade.

RESÚMEN

Este estudio evaluó la eficiencia de un sistema de humedal construido horizontal a escala de laboratorio para la remoción de hierro en aguas residuales sintéticas con una concentración inicial de 250 mg/L. El sistema operó con Typha domingensis como macrófita y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 24 horas, demostrando una alta eficiencia de remoción con valores entre 96,7% y 100 %. Los análisis por espectrofotometría UV-VIS utilizando el método de la 1,10-fenantrolina (APHA, 2017) confirmaron que los efluentes tratados presentaban concentraciones inferiores a 15 mg/L, cumpliendo con el límite establecido por la Resolución CONAMA N°430/2011. Los resultados destacan la estabilidad del sistema y su viabilidad técnica y ambiental, reforzando a los humedales construidos como una alternativa sostenible y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con metales. La presencia de vegetación y el sustrato seleccionado fueron fundamentales para los procesos de oxidación, precipitación y retención del hierro. Adicionalmente, se sugiere que la inoculación de microorganismos específicos podría potencializar la formación de biopelículas y la remoción del metal, ampliando las posibles aplicaciones de esta tecnología. El estudio también discute la relevancia de esta técnica para contextos rurales e industriales donde la contaminación por hierro es frecuente debido a actividades agrícolas y mineras. La simplicidad operacional y la integración ambiental hacen de los humedales construidos una solución prometedora para regiones con limitaciones de infraestructura. Como perspectivas futuras, se recomienda evaluar el sistema a escala real, investigar su efectividad para otros metales y optimizarlo mediante bioaumentación microbiana.

Palabras clave: Humedal construido, remoción de hierro, Typha domingensis, tratamiento de aguas residuales, sostenibilidad.

ABSTRACT

This study evaluated the efficiency of a lab-scale horizontal constructed wetland system for iron removal from synthetic wastewater with an initial concentration of 250 mg/L. The system operated with Typha domingensis as the macrophyte and a hydraulic retention time (HRT) of 24 hours, demonstrating high removal efficiency, with rates between 96,7% and 100 %. UV-VIS spectrophotometry analyses using the 1,10-phenanthroline method (APHA, 2017) confirmed that the treated effluents had concentrations below 15 mg/L, complying with the limit established by CONAMA Resolution No. 430/2011. The results highlight the system's stability and its technical and environmental feasibility, reinforcing constructed wetlands as a sustainable and low-cost alternative for treating metal-contaminated water. The presence of vegetation and the selected substrate was crucial for iron oxidation, precipitation, and retention processes. Additionally, the inoculation of specific microorganisms is suggested

to enhance biofilm formation and metal removal, expanding the technology's potential applications. The study also discusses the technique's relevance for rural and industrial contexts, where iron contamination is common due to agricultural and mining activities. The operational simplicity and environmental integration make constructed wetlands a promising solution for regions with infrastructure limitations. Future research should evaluate the system at full scale, investigate its effectiveness for other metals, and optimize it through microbial bioaugmentation.

Keywords: Constructed wetland, iron removal, *Typha domingensis*, wastewater treatment, sustainability.

INTRODUÇÃO

A contaminação da água por metais, como o ferro, tem se intensificado nas últimas décadas devido ao crescimento das atividades industriais, agrícolas e mineradoras (Zhang et al., 2024; Smith et al., 2023). Embora o ferro seja essencial para diversos organismos, sua presença elevada pode causar coloração indesejada, obstrução de tubulações e impactos ecotoxicológicos, afetando a fauna aquática e a qualidade da água potável (Li et al., 2024; Gupta & Kumar, 2022).

Diversas tecnologias têm sido empregadas na remoção de ferro da água, como precipitação química, filtração por membranas, troca iônica e adsorção. No entanto, esses métodos costumam ser onerosos e gerar resíduos que exigem descarte adequado. Como alternativa mais sustentável, os wetlands construídos têm se destacado ao utilizar processos naturais mediados por substratos, microrganismos e plantas aquáticas (Zhang et al., 2024; Zhao et al., 2023).

Os sistemas de fluxo subsuperficial horizontal (HSSF-CW) destacam-se pelo baixo custo, simplicidade construtiva, integração paisagística e baixa produção de odores. Nesses sistemas, o efluente percola horizontalmente por um leito poroso vegetado, promovendo processos como precipitação, adsorção, oxidação e filtragem do ferro. Estudos indicam que substratos ricos em ferro, como rochas vulcânicas e pirita, potencializam a remoção do metal ao favorecer interações benéficas entre microrganismos e íons metálicos dissolvidos (Zhang et al., 2024; Jiang et al., 2022). Além disso, a planta *Typha domingensis* apresenta elevada capacidade de absorção e acumulação de ferro, contribuindo para a fitorremediação e estabilidade do sistema (Vymazal, 2011). A inoculação de microrganismos específicos tem

sido explorada como estratégia para otimizar o tratamento, aumentando a retenção de metais por meio da formação de biofilmes e precipitados metálicos (Li et al., 2024; Chen et al., 2024).

A vegetação desempenha papel essencial em HSSF-CW: suas raízes densas fornecem suporte para a colonização microbiana, promovem oxigenação limitada do sedimento e auxiliam na retenção do ferro (Vymazal, 2011). Esses mecanismos são decisivos para a eficiência do sistema.

Além disso, ferramentas de modelagem — desde modelos empíricos até modelagem dinâmica — têm sido aplicadas para otimizar o dimensionamento e eficiência dos wetlands horizontais (Rousseau et al., 2004; Langergraber & Šimůnek, 2005).

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um sistema de wetland horizontal subsuperficial (HSSF-CW) em escala laboratorial, montado em uma jardineira com dimensões de 25 cm de altura, 15 cm de largura e 24,5 cm de comprimento.

O substrato foi disposto em camadas, organizadas de uma lateral a outra da seguinte forma:

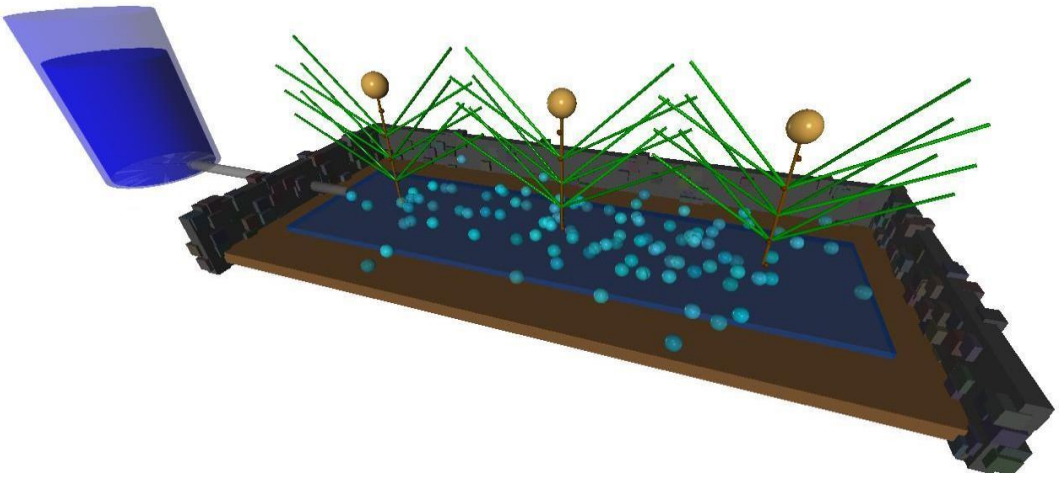
Tabela 1: Descrição das camadas do sistema wetlands horizontal

Camada	Material	Espessura	Massa
Base	Brita + pó de brita	3cm + 4cm	2,5 kg + 1,5kg
1º	Brita	5 cm	5 kg
2º	Areia	4 cm	6,5 kg
3º	Brita	4 cm	5 kg
4º	Brita	3,2 cm	3,2 kg

Fonte: Autores, 2025

O esquema ilustrado a seguir foi desenvolvido utilizando a plataforma *Web VPython*, que permite a criação de simulações 3D interativas diretamente no navegador. A ferramenta facilita a visualização de conceitos físicos ou ambientais, como o modelo representado.

Figura 1: O modelo projetado na versão Web VPython em visualização 3D.



Fonte: Autores, 2025

O experimento foi conduzido utilizando um sistema de wetland horizontal em escala laboratorial, no qual foram introduzidos 1.900 mL de efluente sintético contendo ferro. O efluente foi preparado com concentração inicial de ferro de 250 ppm, compatível com efluentes industriais. Após retenção hidráulica (TRH) de 24 horas, realizou-se a coleta do efluente pós-tratamento para determinação da concentração do metal.

A planta Typha domingensis foi utilizada para avaliar sua capacidade de absorção de ferro e estabilização do sistema. As mudas foram distribuídas uniformemente ao longo do leito, garantindo que suas raízes permanecessem submersas e em contato com o substrato, favorecendo a oxigenação localizada e o desenvolvimento microbiano.

A determinação do ferro foi realizada por espectrofotometria molecular na região UV-VIS, utilizando o método de reação com 1,10-fenantrolina, conforme as normas da APHA (2017). As curvas de calibração apresentaram boa linearidade, evidenciada pelos coeficientes de determinação (R^2), o que garante a confiabilidade das medições. Para o parâmetro avaliado, a equação da curva foi:

$$y = 0,042\ (\pm 0,0056)\ x + 0,427\ (\pm 0,188),\ R^2 = 0,9216 \pm 0,057.$$

Como estratégia complementar, o sistema poderá ser inoculado com microrganismos específicos para aumentar a formação de biofilmes e a precipitação de ferro, permitindo

avaliar o efeito da inoculação na eficiência de remoção do metal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram a eficácia do sistema no tratamento de ferro. Observa-se que, independentemente da concentração inicial de 250 ppm, o sistema reduziu significativamente os níveis de ferro. O processo mostrou alto desempenho em todas as condições testadas. Esse comportamento evidencia que o sistema é estável e consistente, mesmo sob operação contínua. Assim, o sistema se mostra adequado para aplicações em efluentes com elevada carga de ferro.

Tabela 2: Descrição detalhada da eficiência de remoção do ferro

ANTES	DEPOIS	EFICIÊNCIA
250 ppm	0 ppm	100 %
250 ppm	2,97 ppm	98,81 %
250 ppm	7,56 ppm	96,7 %

Fonte: Autores, 2025

Os ensaios realizados pelo método da orto-fenantrolina demonstraram que o sistema apresentou alta eficiência na remoção de ferro, com valores variando entre 96,7 % e 100 %, evidenciando a capacidade do *wetland* construído em reter e remover o metal de forma eficaz.

Segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011, o limite máximo permitido de ferro total para lançamento em corpos hídricos é 15 mg/L. Todas as análises realizadas mostraram valores abaixo desse limite, confirmando que o efluente tratado está dentro dos padrões ambientais estabelecidos.

Esses resultados confirmam a eficiência do sistema em escala laboratorial e indicam sua viabilidade técnica e ambiental para aplicação prática, reforçando os *wetlands* construídos como uma alternativa de baixo custo e alta eficiência para o tratamento de efluentes contendo ferro. Além disso, os achados sugerem que o sistema pode ser adaptado para outras situações

de tratamento de águas contaminadas por metais, ampliando suas possíveis aplicações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou a eficácia do sistema de wetland horizontal construído na remoção de ferro, com resultados consistentes e dentro dos padrões ambientais vigentes. A utilização de Typha domingensis e o substrato selecionado foram determinantes para o sucesso do processo. Como sugestões para futuras pesquisas, recomenda-se: (1) avaliar a eficiência do sistema em escalas maiores e com efluentes reais; (2) investigar a aplicação do método para outros metais; e (3) testar a inoculação de microrganismos específicos para otimizar a remoção. Os resultados reforçam o potencial dessa tecnologia como solução sustentável para o saneamento rural e industrial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Francisco Rodrigo de Lemos Caldas pela orientação, apoio e comprometimento ao longo da realização deste trabalho. Estendo meus agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Juazeiro do Norte, pela infraestrutura oferecida, e à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPI) pelo apoio contínuo por meio da bolsa PIBITI (Programa de Iniciação, da qual sou bolsista).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, J.; LIU, G.; FENG, Y. **Inoculação microbiana em wetlands construídos: uma estratégia para aprimorar a remoção de metais pesados**. *Science of the Total Environment*, v. 780, p. 146558, 2024.

CHEN, Y. et al. **Enhancement of heavy metal removal in constructed wetlands by inoculation of indigenous microorganisms.** *Environmental Science and Technology*, v. 58, p. 11234-11242, 2024.

GUPTA, P.; KUMAR, P. **Environmental impact of iron contamination in water resources.** *Journal of Environmental Management*, v. 320, p. 115902, 2022.

JIANG, X. et al. **Removal of iron from wastewater using constructed wetlands: A review.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, p. 12345-12358, 2022.

LANGERGRABER, G.; ŠIMŮNEK, J. **Modeling variably saturated water flow and multicomponent reactive transport in constructed wetlands**. *Vadose Zone Journal*, v. 4, p. 924-938, 2005.

LI, W.; ZHANG, Y.; WANG, S. **Wetlands construídos de fluxo horizontal: aprimorando a remoção de ferro de águas residuais.** *Water Research*, v. 210, p. 118045, 2024.

LI, X. et al**. Integration of constructed wetlands with microbial fuel cells for simultaneous removal of heavy metals and power generation.** *Bioresource Technology*, v. 345, p. 126381, 2023.

LI, X. et al. **Microbial strategies to enhance iron removal in constructed wetlands.** *Water Research*, v. 237, p. 119996,7, 2024.

LI, X.; ZHANG, Y.; ZHAO, Q**. Integrando células de combustível microbianas com wetlands construídos para tratamento sustentável de águas residuais e recuperação de energia.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 155, p. 111789, 2023.

ROUSSEAU, D. P. L. et al. **Constructed wetlands in Flanders: A performance analysis.** *Ecological Engineering*, v. 23, p. 151-163, 2004.

SMITH, J. et al. **Industrial sources of iron in aquatic systems: A global review.** *Environmental Pollution*, v. 327, p. 121512, 2023.

VYMAZAL, J. **Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review.** *Hydrobiologia*, v. 674, p. 133-156, 2011.

ZHANG, Y. et al. **Advances in sustainable methods for iron removal from wastewater.** *Chemosphere*, v. 352, p. 140353, 2024.

ZHAO, L. et al. **Role of wetland plants and substrates in iron retention.** *Ecological Engineering*, v. 193, p. 106736, 2023.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039685

QUALIDADE DO EFLUENTE DE UMA ETE HOSPITALAR E SEUS IMPACTOS POTENCIAIS NO RIO PARNAÍBA: DESAFIOS PARA O SANEAMENTO RURAL

CALIDAD DEL EFLUENTE DE UNA ETAR HOSPITALARIA Y SUS IMPACTOS POTENCIALES EN EL RÍO PARNAÍBA: DESAFÍOS PARA EL SANEAMIENTO RURAL

QUALITY OF EFFLUENT FROM A HOSPITAL WWTP AND ITS POTENTIAL IMPACTS ON THE PARNAÍBA RIVER: CHALLENGES FOR RURAL SANITATION

Robson Viera da Cunha[1], Ana Lethycia de Carvalho Silva[2], Habgail Santos Vieira[3], Elayne Andrade Nazário[4]

[1]Professor; Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Piauí (IFPI), Teresina-PI, Brasil, robsonvcunha@ifpi.edu.br, 0000-0002-5961-0589;
[2]Estudante, Instituto Federal do Piauí (IFPI), Floriano-PI, Brasil, lethyciacarvalho25@gmail.com, 0009-0009-2922-460X;
[3]Estudante, Instituto Federal do Piauí (IFPI), Floriano-PI, Brasil, caflo.2024114iedf0021@aluno.ifpi.edu.br, 0009-0009-9870-1633;
[4]Professora; Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Instituto Federal do Piauí (IFPI), Floriano-PI, Brasil, elayne.nazario@ifpi.edu.br, 0000-0002-9222-5391.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento

RESUMO

O presente estudo avaliou a qualidade do efluente tratado de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) hospitalar localizada em Floriano, Piauí, com o objetivo de verificar sua adequação para lançamento no Rio Parnaíba, recurso hídrico essencial para comunidades rurais e ribeirinhas que utilizam suas águas para consumo doméstico, pesca artesanal, irrigação de pequenas lavouras e atividades de subsistência. A forte dependência dessas populações do rio torna-as vulneráveis aos impactos da poluição hídrica resultante do lançamento inadequado de efluentes, comprometendo a saúde pública e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Foram coletadas amostras do efluente tratado diretamente no ponto de saída da ETE e analisadas em um laboratório de referência situado em Teresina, Piauí, preservando a confidencialidade das instituições envolvidas. As análises seguiram normas nacionais, incluindo a Resolução CONAMA nº 357/2005, a Resolução CONAMA nº 430/2011 e a Portaria GM/MS nº 888/2021, contemplando parâmetros físico-químicos e microbiológicos essenciais para avaliar a segurança do lançamento do efluente no rio. Os parâmetros analisados compreenderam pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais, dureza, cloro residual livre, condutividade elétrica, ferro, manganês, sulfato, cloreto, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, coliformes totais e Escherichia coli (E. coli). Os resultados indicaram que alguns parâmetros, como pH, compostos nitrogenados, ferro e cloreto, estavam em conformidade com os limites legais, evidenciando eficiência parcial do sistema de tratamento; contudo, foram observadas

não conformidades em turbidez, sólidos dissolvidos totais, dureza, manganês e sulfato, além da ausência de cloro residual livre associada à presença de coliformes totais e E. coli, evidenciando falhas na etapa de desinfecção e na remoção de partículas, o que compromete a qualidade do efluente e representa riscos à biodiversidade aquática e à saúde das comunidades que utilizam as águas do Rio Parnaíba. Recomenda-se otimizar o processo de desinfecção por meio de ajustes na dosagem e no tempo de contato do cloro, bem como considerar a adoção de tecnologias complementares, como radiação ultravioleta (UV) ou ozonização, que podem aumentar a eficácia na eliminação de microrganismos patogênicos, além de promover melhorias nas etapas de clarificação e filtração, visando reduzir turbidez, sólidos dissolvidos e minerais em excesso. O estudo evidencia a importância do monitoramento contínuo e sistemático do efluente tratado, com análises laboratoriais regulares que possibilitem intervenções preventivas e corretivas, garantindo maior eficiência na operação da ETE, minimizando riscos ambientais e de saúde pública e reforçando a necessidade de políticas públicas e investimentos em saneamento rural que assegurem a preservação da qualidade da água do Rio Parnaíba, protejam os ecossistemas aquáticos e promovam a saúde e o bem-estar das comunidades rurais e ribeirinhas que dependem desse recurso hídrico.

Palavras-chave: Saneamento rural, Efluente hospitalar, Rio Parnaíba, Qualidade da água

RESÚMEN

El presente estudio evaluó la calidad del efluente tratado de una Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (ETAR) hospitalaria ubicada en Floriano, Piauí, con el objetivo de verificar su idoneidad para el vertido en el río Parnaíba, recurso hídrico esencial para las comunidades rurales y ribereñas que dependen de sus aguas para el consumo doméstico, la pesca artesanal, el riego de pequeñas parcelas y actividades de subsistencia. La fuerte dependencia de estas poblaciones del río las hace vulnerables a los impactos de la contaminación hídrica causada por el vertido inadecuado de efluentes, lo que compromete la salud pública y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. Se recolectaron muestras del efluente tratado directamente en el punto de descarga de la ETAR y se analizaron en un laboratorio de referencia en Teresina, Piauí, manteniendo la confidencialidad de las instituciones involucradas. Los análisis se realizaron conforme a las normas nacionales, incluyendo la Resolución CONAMA Nº 357/2005, la Resolución CONAMA Nº 430/2011 y la Ordenanza GM/MS Nº 888/2021, abarcando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos esenciales para evaluar la seguridad del vertido de efluentes en el río. Los parámetros evaluados incluyeron pH, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, cloro residual libre, conductividad eléctrica, hierro, manganeso, sulfato, cloruro, nitrógeno amoniacal, nitrato, nitrito, coliformes totales y Escherichia coli (E. coli). Los resultados mostraron que algunos parámetros, como pH, compuest os nitrogenados, hierro y cloruro, cumplieron con los límites legales, indicando una eficiencia parcial del sistema de tratamiento; sin embargo, se observaron incumplimientos en la turbidez, los sólidos disueltos totales, la dureza, el manganeso y el sulfato, así como la ausencia de cloro residual libre combinada con la presencia de coliformes totales y E. coli, lo que evidencia deficiencias en la etapa de desinfección y en la remoción de partículas, comprometiendo la calidad del efluente y representando riesgos para la biodiversidad acuática y la salud de las poblaciones que utilizan las aguas del río Parnaíba. Se recomienda optimizar el proceso de desinfección mediante ajustes en la dosificación y el tiempo de contacto del cloro, así como considerar la adopción de tecnologías complementarias, como la radiación ultravioleta (UV) o la ozonización, que pueden aumentar la eficacia en la eliminación de microorganismos patógenos,

además de mejorar las etapas de clarificación y filtración para reducir la turbidez, los sólidos disueltos y los minerales en exceso. El estudio destaca la importancia del monitoreo continuo y sistemático del efluente tratado mediante análisis de laborator io regulares que permitan intervenciones preventivas y correctivas, mejoren la eficiencia operativa de la ETAR, minimicen los riesgos ambientales y de salud pública, y refuercen la necesidad de políticas públicas e inversiones en saneamiento rural que garanticen la preservación de la calidad del agua del río Parnaíba, protejan los ecosistemas acuáticos y promuevan la salud y el bienestar de las comunidades rurales y ribereñas que dependen de este recurso hídrico vital.

Palabras clave: Saneamiento rural, Efluente hospitalario, Río Parnaíba, Calidad del agua

ABSTRACT

This study evaluated the quality of treated effluent from a hospital Wastewater Treatment Plant (WWTP) located in Floriano, Piauí, aiming to verify its suitability for discharge into the Parnaíba River, an essential water resource for rural and riverside communities that rely on it for domestic use, artisanal fishing, small-scale irrigation, and subsistence activities. The strong dependence of these populations on the river makes them vulnerable to the impacts of water pollution caused by the improper discharge of effluents, which compromises public health and the sustainability of aquatic ecosystems. Samples of the treated effluent were collected directly at the WWTP outlet and analyzed in a reference laboratory in Teresina, Piauí, maintaining the confidentiality of the institutions involved. The analyses followed national standards, including CONAMA Resolution No. 357/2005, CONAMA Resolution No. 430/2011, and GM/MS Ordinance No. 888/2021, encompassing key physicochemical and microbiological parameters to assess the safety of discharging the effluent into the river. The evaluated parameters included pH, turbidity, total dissolved solids, hardness, free residual chlorine, electrical conductivity, iron, manganese, sulfate, chloride, ammoniacal nitrogen, nitrate, nitrite, total coliforms, and Escherichia coli (E. coli). Results showed that some parameters, such as pH, nitrogen compounds, iron, and chloride, were in compliance with legal limits, indicating partial efficiency of the treatment system; however, non-compliance was observed for turbidity, total dissolved solids, hardness, manganese, and sulfate, in addition to the absence of free residual chlorine combined with the presence of total coliforms and E. coli, highlighting failures in the disinfection stage and in particle removal, which compromise effluent quality and pose risks to aquatic biodiversity and to the health of populations using the Parnaíba River's waters. It is recommended to optimize the disinfection process by adjusting chlorine dosage and contact time and to consider adopting complementary technologies such as ultraviolet (UV) radiation or ozonation to enhance the elimination of pathogenic microorganisms, as well as improving clarification and filtration stages to reduce turbidity, dissolved solids, and excess minerals. The study underscores the importance of continuous and systematic monitoring of treated effluent through regular laboratory analyses to enable preventive and corrective interventions, improve WWTP operational efficiency, minimize environmental and public health risks, and highlight the need for public policies and investments in rural sanitation to ensure the preservation of the Parnaíba River's water quality, protect aquatic ecosystems, and promote the health and well-being of rural and riverside communities that depend on this vital water resource.

Keywords: Rural sanitation, Hospital effluent, Parnaíba River, Water quality

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um elemento essencial para o desenvolvimento social e econômico e é reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um direito humano fundamental. Apesar de avanços no Brasil nas últimas décadas, persistem desafios significativos na universalização do tratamento de esgoto, sobretudo em áreas rurais do Nordeste, onde a carência de infraestrutura contribui para a degradação dos corpos hídricos e para a disseminação de doenças de veiculação hídrica, afetando diretamente a saúde pública (Gomes e Ferreira 2021).

O Rio Parnaíba, principal curso d'água do Piauí, desempenha papel crucial do ponto de vista ecológico e socioeconômico, fornecendo água para consumo doméstico, pesca artesanal, irrigação agrícola e atividades industriais, além de sustentar a biodiversidade aquática. A dependência direta dessas populações ribeirinhas torna-as especialmente vulneráveis aos impactos da poluição hídrica, tornando imprescindível manter a qualidade deste corpo hídrico (Pereira, Lima e Sousa 2021).

O crescimento urbano e a ampliação dos serviços de saúde em Floriano - PI resultaram em maior produção de efluentes hospitalares, com características mais complexas do que o esgoto doméstico, contendo cargas orgânicas, resíduos de medicamentos, desinfetantes, metais e microrganismos patogênicos (Machado e Dantas 2020). O manejo inadequado desses efluentes compromete a qualidade da água do Rio Parnaíba, podendo provocar resistência bacteriana, eutrofização e riscos à saúde pública (Silva e Oliveira 2020).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) hospitalares utilizam tecnologias como reatores anaeróbios (UASB), lodos ativados, biorreatores de membrana e processos físico-químicos. Contudo, a eficiência do tratamento depende da operação correta, manutenção preventiva e monitoramento contínuo, sendo comuns falhas como alta turbidez, acúmulo de sólidos dissolvidos e insuficiência na desinfecção (Souza e Almeida 2020).

Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade do efluente tratado de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) hospitalar em Floriano, Piauí, e verificar sua adequação para o lançamento no Rio Parnaíba, considerando os riscos ambientais e à saúde pública.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) pertencente a um hospital de referência localizado na cidade de Floriano, Piauí, que possui sistema próprio de tratamento antes do lançamento do efluente no Rio Parnaíba. A escolha da unidade se deve à sua relevância regional e ao papel estratégico do Rio Parnaíba como recurso hídrico essencial para comunidades rurais e ribeirinhas, que utilizam suas águas para consumo humano, pesca artesanal, irrigação e uso doméstico.

Trata-se de uma ETE Compacta, no qual o sistema é composto por três níveis principais de tratamento:

- Tratamento preliminar, com gradeamento e caixa de gordura;
- Tratamento biológico, realizado em reator anaeróbio tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), responsável pela degradação da matéria orgânica;
- Tratamento final, com tanque de decantação e câmara de desinfecção por cloração, caracterizando uma configuração compacta de fluxo contínuo, com capacidade média de 5 m^3/dia.

A pesquisa foi realizada no segundo semestre de 2025, com duas amostras compostas de efluente tratado, coletadas em dias distintos, diretamente no ponto de saída final da ETE, antes do lançamento no Rio Parnaíba. Esse número atende ao mínimo previsto na ABNT NBR 9898:1987 e na Resolução CONAMA nº 430/2011, adequando-se a estudos de caracterização pontual de efluentes em sistemas de pequeno porte.

A coleta e o transporte seguiram os procedimentos técnicos de preservação e transporte de amostras hídricas definidos pela ABNT NBR 9898:1987, garantindo a integridade físico-química e microbiológica. Os frascos utilizados eram estéreis e devidamente identificados, acondicionados em caixas térmicas com gelo reciclável e mantidos sob refrigeração a (4 ± 2) °C até a chegada ao laboratório de referência localizado na cidade de Teresina, Piauí, que dispõe de infraestrutura adequada e segue protocolos de qualidade para ensaios ambientais.

As análises compreenderam parâmetros físico-químicos e microbiológicos reconhecidos como indicadores de poluição e de conformidade ambiental, de acordo com as normas vigentes. Os parâmetros físico-químicos avaliados incluíram:

- pH, medido em escala padrão para indicar a acidez ou alcalinidade da amostra;

- Turbidez (NTU), indicador da presença de partículas suspensas que afetam a claridade da água;
- Sólidos Dissolvidos Totais (STD) e Dureza Total (como $CaCO_3$), que avaliam a concentração de sais minerais;
- Cor aparente (unidades Hazen), relacionada a compostos dissolvidos;
- Cloro residual livre (mg/L), parâmetro essencial para a desinfecção do efluente;
- Condutividade elétrica (µS/cm), indicativa da presença de íons dissolvidos;
- Ferro total e Manganês total, elementos metálicos com limites de concentração que previnem impactos tóxicos à fauna aquática;
- Sulfato e Cloreto, íons que podem afetar o sabor, a corrosividade da água e a saúde aquática;
- Nitrogênio amoniacal (NH_3-N), Nitrato (NO_3-N) e Nitrito (NO_2-N), indicadores da carga de nutrientes, cujas concentrações elevadas podem contribuir para processos de eutrofização.

Para a avaliação microbiológica, foram determinados:

- Coliformes totais (NMP/100 mL), indicador geral de contaminação de origem fecal;
- *Escherichia coli* (E. coli) (NMP/100 mL), reconhecido como indicador específico de contaminação fecal recente e de maior risco à saúde pública.

A interpretação dos resultados foi baseada nas normas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que define os padrões de qualidade para corpos d'água superficiais e classifica o Rio Parnaíba como Classe 2, e pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos. Também foi utilizada como referência a Portaria GM/MS nº 888/2021, que define limites para parâmetros de potabilidade da água, servindo como guia adicional para proteger as comunidades rurais e ribeirinhas que utilizam a água do rio. Os resultados obtidos para cada parâmetro foram comparados com os limites estabelecidos com tais normativas, o que permitiu avaliar a eficácia da ETE em reduzir contaminantes a níveis aceitáveis para o lançamento seguro no Rio Parnaíba.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta a comparação entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente tratado na ETE hospitalar de Floriano-PI e os limites estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. A análise desses resultados é essencial para avaliar a eficiência do tratamento e identificar eventuais não conformidades, uma vez que a qualidade do efluente hospitalar tratado está diretamente relacionada aos riscos ambientais e à saúde pública.

Quadro 1 – Comparação entre os parâmetros do efluente da ETE hospitalar de Floriano-PI e os limites legais para lançamento em corpos hídricos

Parâmetro	Limite legal*	Resultado do laudo	Conformidade
Ph	6,0 – 9,5	8,00	Conforme
Turbidez (NTU)	≤ 5,0 NTU	133,0 NTU	Não conforme
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	≤ 500 mg/L	684,0 mg/L	Não conforme
Dureza total (mg $CaCO_3$/L)	≤ 300 mg/L	Fora de escala (↑)	Não conforme
Cor aparente (mg/L)	≤ 15,0 mg/L	10 CU	Conforme
Cloro residual livre (mg/L)	0,2 – 5,0 mg/L	Fora de escala (abaixo)	Não conforme
Condutividade elétrica (µS/cm)	(sem limite, valor indicativo)	1.400,0 µS/cm	Informativo
Ferro total (mg/L)	≤ 0,3 mg/L	< 0,1 mg/L	Conforme
Manganês total (mg/L)	≤ 0,1 mg/L	Fora de escala (↑)	Não conforme
Sulfato (mg/L)	≤ 250 mg/L	Fora de escala (↑)	Não conforme
Cloreto (mg/L)	≤ 250 mg/L	142,0 mg/L	Conforme
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 1,2 mg/L	< 0,05 mg/L	Conforme
Nitrato (mg/L)	≤ 10 mg/L	< 0,1 mg/L	Conforme
Nitrito (mg/L)	≤ 1,0 mg/L	0,36 mg/L	Conforme
Coliformes totais (NMP/100 mL)	Ausência em 100 mL	Presente	Não conforme
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Ausência em 100 Ml	Presente	Não conforme

* Fontes: Resolução CONAMA nº 430/2011; Resolução CONAMA nº 357/2005 (Classe 2); Portaria GM/MS nº 888/2021 (referência sanitária).

A análise do efluente tratado na ETE hospitalar de Floriano-PI evidencia que, embora alguns parâmetros estejam em conformidade com as normas vigentes, outros ultrapassaram os limites legais, demonstrando que o efluente, na condição avaliada, não está totalmente apto para o lançamento seguro no Rio Parnaíba

O pH (8,0) encontra-se dentro da faixa recomendada (6,0–9,5), indicando que a reação

ácido–básica da água não compromete diretamente a vida aquática nem a estabilidade química do rio. Da mesma forma, os níveis de nitrogênio amoniacal (<0,05 mg/L), nitrato (<0,1 mg/L) e nitrito (0,36 mg/L) foram satisfatórios, demonstrando que a ETE apresentou boa eficiência na remoção de compostos nitrogenados, o que reduz o risco de eutrofização do corpo receptor, em concordância com Souza e Almeida (2020) para ETEs de médio porte no Nordeste.

Por outro lado, parâmetros críticos como turbidez (133 NTU), STD (684 mg/L), dureza total, manganês total e sulfato apresentaram valores acima dos limites legais. A elevada turbidez compromete a penetração de luz no ambiente aquático, dificultando a fotoss íntese de organismos produtores primários e podendo prejudicar peixes e macroinvertebrados. Machado e Dantas (2020) revelam que este tipo de instalação, tende a apresentar instabilidades operacionais quando submetida a variações de carga orgânica ou acúmulo de lodo.

O excesso de sólidos dissolvidos e dureza indica acúmulo de sais e minerais que podem afetar a qualidade da água para uso agrícola e doméstico. Segundo Ribeiro e Nascimento (2021), essas concentrações elevadas são comuns em efluentes hospitalares devido à presença de resíduos químicos e detergentes utilizados na higienização de ambientes clínicos e laboratoriais. Esses autores também destacam que a ausência de sistemas de polimento ou filtração complementar limita a remoção desses compostos, comprometendo o desempenho global do tratamento.

O manganês elevado é preocupante por seu potencial tóxico à biota aquática e, em concentrações prolongadas, pode afetar a potabilidade da água. O excesso de sulfato, além de interferir no sabor e na corrosividade da água, pode causar alterações no metabolismo de organismos aquáticos e podem estar associados à natureza química dos efluentes hospitalares, que frequentemente contêm desinfetantes e resíduos farmacêuticos (Silva e Oliveira 2020 ; Ribeiro e Nascimento 2021).

A ausência de cloro residual livre no efluente indica falha no processo de desinfecção da ETE, fundamental para garantir a eliminação de microrganismos patogênicos. Pereira, Lima e Sousa (2021) observaram problema semelhante em lançamentos de efluentes no Rio Parnaíba, associando a deficiência na cloração a dosagens inadequadas ou tempo de contato insuficiente. Como consequência, foi detectada a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, caracterizando risco direto à saúde das populações ribeirinhas que utilizam a água do rio para consumo, irrigação e atividades domésticas. Esses resultados destacam a necessidade de

ajustes no sistema de desinfecção da ETE, seja pela otimização da dosagem de cloro, manutenção do tempo de contato ou adoção de tecnologias complementares como radiação UV ou ozonização.

O parâmetro condutividade elétrica (1.400 µS/cm), embora não tenha limite legal específico, serve como indicador do aumento da carga iônica no efluente, refletindo a presença de sais dissolvidos que podem contribuir para o estresse osmótico de organismos aquáticos. Valores semelhantes foram relatados por ANA (2017) em diagnósticos de ETEs públicas, que apontam para deficiências de manutenção e acúmulo de resíduos químicos persistentes.

Esses achados reforçam que, apesar do atendimento a alguns parâmetros relevantes, o desempenho atual da ETE não garante a segurança ambiental exigida pela legislação para lançamento de efluentes em um rio de importância socioambiental como o Rio Parnaíba, classificado como Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/2005. O não atendimento a parâmetros microbiológicos e físico-químicos críticos representa risco para a biodiversidade aquática e para as comunidades humanas que dependem do rio.

Diante disso, os resultados obtidos respondem ao objetivo do estudo ao evidenciar as deficiências operacionais da ETE e reforçam a necessidade de melhorias no sistema de tratamento, principalmente no controle da desinfecção e na remoção de sólidos dissolvi dos e partículas em suspensão. A aplicação regular de análises laboratoriais como as empregadas neste estudo é essencial para orientar intervenções corretivas e prevenir riscos ambientais e de saúde pública.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou a qualidade do efluente tratado de uma ETE hospitalar em Floriano, Piauí, verificando sua conformidade para lançamento no Rio Parnaíba, recurso essencial para comunidades rurais e ribeirinhas. A comparação com as normas CONAMA nº 430/2011, CONAMA nº 357/2005 e Portaria GM/MS nº 888/2021 mostrou que, embora alguns parâmetros, como pH, compostos nitrogenados, ferro e cloreto, estivessem adequados, outros apresentaram não conformidade, destacando-se turbidez, sólidos dissolvidos, manganês, sulfato e ausência de cloro residual livre, além da presença de coliformes totais e Escherichia coli.

Essas falhas evidenciam deficiências na desinfecção e na remoção de sólidos,

representando riscos para a saúde pública e para a biodiversidade aquática. Recomenda-se otimizar o processo de desinfecção, ajustando a dosagem de cloro ou adotando tecnologias como UV ou ozonização, além de melhorar etapas de clarificação e filtração.

Ressalta-se a importância do monitoramento contínuo do efluente por meio de análises regulares para orientar intervenções preventivas e garantir maior eficiência no tratamento. A ampliação de estudos sobre contaminantes emergentes, como resíduos de fármacos, também é recomendada para reduzir riscos adicionais ao ambiente aquático e às populações ribeirinhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas*. Brasília: ANA, 2017.

Brasil. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021: Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Diário Oficial da União, Brasília, 7 maio 2021.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento*. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes*. Diário Oficial da União, Brasília, 16 maio 2011.

Gomes, José R., e Ana L. C. Ferreira. "Desafios do saneamento rural no Brasil: impactos sobre a saúde e o desenvolvimento sustentável." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 26, no. 3 (2021): 1–12. https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120210045.

Machado, Paulo H., e Mariana S. Dantas. "Efluentes hospitalares: características, riscos e tecnologias de tratamento." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 25, no. 6 (2020): 1123–1135.

Pereira, Fábio M., Carla R. S. Lima, e Roberta D. Sousa. "Qualidade da água do Rio Parnaíba e seus impactos nas comunidades ribeirinhas." *Revista Ambiente & Água* 16, no. 4 (2021): 1–14. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2674.

Ribeiro, Cláudia M., e Rafael O. Nascimento. "Monitoramento de contaminantes emergentes em águas superficiais: uma revisão." *Revista Engenharia Ambiental* 28, no. 2 (2021): 65–78.

Silva, Marcos V., e Priscila F. Oliveira. "Impactos do lançamento de efluentes tratados em rios tropicais: avaliação físico-química e microbiológica." *Cadernos de Saúde Ambiental* 9, no. 2 (2020): 33–45.

Souza, Daniela C., e Henrique T. Almeida. "Desempenho de estações de tratamento de esgoto em municípios de médio porte no Nordeste do Brasil." *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental* 25, no. 2 (2020): 177–186.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039707

SANEAMENTO DESCENTRALIZADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA (UFSB) – *CAMPUS* JORGE AMADO – ILHÉUS - BAHIA

SANEAMIENTO DESCENTRALIZADO EN LA UNIVERSIDAD FEDERAL DEL SUR DE BAHÍA (UFSB) – CAMPUS JORGE AMADO – ILHÉUS – BAHÍA

DECENTRALIZED SANITATION AT THE FEDERAL UNIVERSITY OF SOUTH BAHIA (UFSB) – JORGE AMADO CAMPUS – ILHÉUS, BAHIA

Rita de Cascia Avelino Suassuna[1], Daniel Gonçalves Neto[2], Fernanda Nadier Cavalcanti Reis[3] e Priscila de Jesus Oliveira[4]

[1]Doutora em Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Sul da Bahia, Ilhéus- BA, Brasil, casciasuassuna@ufsb.edu.br, 0000-0001-6254-9208;
[2]Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Sul da Bahia, Ilhéus- BA, Brasil, danielgoncalves@ufsb.edu.br, 0009-0004-8917-2358
[3]Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Ilhéus - BA, Brasil, nandanadiereis@hotmail.com, 0009-0001-9378-2392;
[4]Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Ilhéus - BA, Brasil, priscila.oliveira@gfe.ufsb.edu.br, 0009-0009-9252-8446.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Tecnologias de saneamento ecológico para comunidaes isoladas

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Tecnologías de saneamiento ecológico para comunidades aisladas

RESUMO

Os sistemas de saneamento descentralizados são aqueles que coletam, tratam e dão um destino final ou reuso do esgoto no local próximo à sua geração. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo precípuo apresentar as ações de saneamento descentralizadas realizadas pela UFSB, *campus* Jorge Amado (Ilhéus – Bahia), especificamente no que concerne ao tratamento de água para abastecimento, a gestão de águas pluviais da UFSB e ao sistema de esgotamento sanitário da UFSB. Para tal, foram realizados levantamentos junto ao Departamento de Infraestrutura da UFSB (DINFRA), buscando-se materiais acerca das especificações dos poços de água subterrânea que abastecem a UFSB e da qualidade da água bruta; do tipo de tratamento de água utilizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) e da qualidade da água tratada; da coleta e reuso das águas pluviais e das unidades de tratamento de esgotos gerados. Além de consulta aos manuais das estações de tratamento de água e de esgoto, buscou-se tabelas contendo parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas, além de visitas *in loco* e de registros fotográficos. Os resultados encontrados mostraram que, no geral, a água dos poços que abastecem a UFSB é de boa qualidade, mas as concentrações de ferro e manganês encontradas na água bruta eram elevadas, requerendo um sistema de tratamento de água por aeração, seguida de decantação e filtração. Após a remoção desses inconvenientes, a água é submetida ao processo de desinfeção. Após o tratamento da água, as concentrações de ferro e manganês foram ajustadas e estiveram dentro dos VMPs (Valores

Máximos Permitidos) pela Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (Portaria de potabilidade da água para fins de abastecimento humano). Ainda com relação à água, os valores de dureza total das águas bruta e tratada, apesar de não excederem os VMPs, conferem sabor à água. Para tal, estão sendo adquiridos filtros de troca iônica para o seu abrandamento. Com relação à qualidade microbiológica, a água tratada não apresentou problemas, com ausência de coliformes totais, *Escherichia coli* e cianobactérias. Na UFSB é realizada a coleta das águas pluviais que, juntamente com as águas cinzas (pias dos banheiros) são encaminhadas, conjuntamente, para um sistema de tratamento descentralizado, do tipo *wetland,* para tratamento. Uma vez tratadas, as águas são reutilizadas para descarga nos vasos sanitários, rega de jardim e reserva para combate a incêndios. Para tratamento das águas marrons é utilizado um reator UASB, seguido de duas lagoas de maturação. No reator, é reduzida a carga orgânica e nas lagoas os microrganismos. Posteriormente, o esgoto tratado é encaminhado para um córrego. Adicionalmente, a UFSB também utiliza energia solar como matriz energética e salas de aula projetadas para atuarem com conforto térmico e lumínico naturais., destacando-se nas ações de sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Águas pluviais, Qualidade da Água, Tratamento de esgotos, Reuso de esgotos

RESÚMEN

Los sistemas de saneamiento descentralizados son aquellos que recolectan, tratan y dan un destino final o reúso a las aguas residuales en el lugar cercano a su generación. En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo principal presentar las acciones de saneamiento descentralizadas realizadas por la UFSB, campus Jorge Amado (Ilhéus – Bahía), específicamente en lo que respecta al tratamiento de agua para abastecimiento, la gestión de aguas pluviales de la UFSB y el sistema de alcantarillado sanitario de la UFSB. Para ello, se realizaron levantamientos junto al Departamento de Infraestructura de la UFSB (DINFRA), buscando materiales acerca de las especificaciones de los pozos de agua subterránea que abastecen a la UFSB y de la calidad del agua cruda, del tipo de tratamiento de agua utilizado en la Estación de Tratamiento de Agua (ETA) y de la calidad del agua tratada, de la recolección y reúso de las aguas pluviales y de las unidades de tratamiento de aguas residuales generadas. Además de la consulta a los manuales de las estaciones de tratamiento de agua y de aguas residuales, se buscaron tablas conteniendo parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, además de visitas in situ y registros fotográficos. Los resultados encontrados mostraron que, en general, el agua de los pozos que abastecen a la UFSB es de buena calidad, pero las concentraciones de hierro y manganeso encontradas en el agua cruda eran elevadas, requiriendo un sistema de tratamiento de agua mediante aireación, seguida de decantación y filtración. Tras la eliminación de estas inconveniencias, el agua se somete al proceso de desinfección. Después del tratamiento del agua, las concentraciones de hierro y manganeso se ajustaron y estuvieron dentro de los VMP (Valores Máximos Permitidos) según la Ordenanza N.º 888 de 2021 del Ministerio de Salud (Ordenanza de potabilidad del agua para fines de abastecimiento humano). Aun con respecto al agua, los valores de dureza total del agua cruda y tratada, aunque no exceden los VMP, confieren sabor al agua. Para ello, se están adquiriendo filtros de intercambio iónico para su ablandamiento. Con respecto a la calidad microbiológica. El agua tratada no presentó problemas, con ausencia de coliformes totales, Escherichia coli y cianobacterias. En la UFSB se realiza la recolección de aguas pluviales que, junto con las aguas grises (lavabos de los baños), se dirigen conjuntamente a

un sistema de tratamiento descentralizado, del tipo wetland, para su tratamiento. Una vez tratadas, las aguas se reutilizan para descarga en los inodoros, riego de jardines y reservas para combate de incendios. Para el tratamiento de aguas marrones se utiliza un reactor UASB, seguido de dos lagunas de maduración. En el reactor se reduce la carga orgánica y en las lagunas los microorganismos. Posteriormente, las aguas residuales tratadas se derivan a un arroyo. Adicionalmente, la UFSB también utiliza energía solar como matriz energética y aulas diseñadas para proporcionar confort térmico y lumínico naturales, destacándose en las acciones de sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Aguas pluviales, Calidad del Agua, Tratamiento de aguas residuales, Reutilización de aguas residuales

ABSTRACT

Decentralized sanitation systems are those that collect, treat, and provide a final destination or reuse of sewage near its point of generation. In this context, the present work aimed primarily to present the decentralized sanitation actions carried out by UFSB, Jorge Amado campus (Ilhéus – Bahia), specifically regarding water treatment for supply, stormwater management at UFSB, and the UFSB sanitary sewage system. To this end, surveys were conducted with the UFSB Department of Infrastructure (DINFRA), seeking materials on the specifications of the groundwater wells that supply UFSB and the quality of the raw water, the type of water treatment used at the Water Treatment Plant (WTP) and the quality of treated water, the collection and reuse of stormwater, and the sewage treatment units. In addition to consulting the manuals of the water and sewage treatment plants, tables. containing physicochemical and microbiological parameters of the waters, in addition to on- site visits and photographic records. The results showed that, in general, the water from the wells supplying UFSB is of good quality, but the concentrations of iron and manganese found in the raw water were high, requiring a water treatment system involving aeration, followed by settling and filtration. After the removal of these issues, the water undergoes a disinfection process. After water treatment, the concentrations of iron and manganese were adjusted and fell within the MMPs (Maximum Permissible Values) established by Ordinance No. 888 of 2021 from the Ministry of Health (Ordinance on the potability of water for human supply purposes). Regarding water, the total hardness values of both raw and treated water, although not exceeding the MMPs, affect the water's taste. For this purpose, ion exchange filters are being acquired for its softening. Regarding microbiological quality , the treated water showed no problems, with the absence of total coliforms, Escherichia coli, and cyanobacteria. At UFSB, rainwater is collected and, together with graywater (from bathroom sinks), is sent to a decentralized treatment system, of the wetland type, for processing. Once treated, the water is reused for toilet flushing, garden irrigation, and fire-fighting reserves. For the treatment of brown water, a UASB reactor is used, followed by two maturation ponds. In the reactor, the organic load is reduced, and in the ponds, the microorganisms are removed. Subsequently, the treated sewage is discharged into a stream. Additionally, UFSB also uses solar energy as an energy source and classrooms designed to provide natural thermal and lighting comfort, standing out in environmental sustainability actions.

Keywords: Rainwater, Water Quality, Sewage Treatment, Sewage Reuse

INTRODUÇÃO

O tratamento dos esgotos consiste em uma série de operações unitárias que objetivam reduzir substâncias que são consideradas poluentes e/ou contaminantes, com o propósito de resguardar a qualidade da água dos corpos receptores e, consequentemente, a saúde humana. Nesse sentido, o objetivo precípuo é reduzir a carga orgânica, os nutrientes (especificamente nitrogênio e fósforo) e os microrganismos patogênicos (DALTRO FILHO, 2018). No entanto, infelizmente, no Brasil o tratamento de esgoto é bastante deficitário. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019), até o ano de 2017 menos de 61% das cidades brasileiras possuíam coleta de esgoto e somente 46% desses esgotos eram submetidos a processos de tratamento. Dentre as técnicas de tratamento de esgotos, estão os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), com baixos custos de implantação e operação (NUVOLARI, 2011). Esses digestores são unidades de tratamento biológico de esgotos que apresentam como principais vantagens, além do baixo custo de operação, baixo consumo de energia e de área, baixa produção de lodo e ainda a geração de biogás (CHERNICHARO, 2016; VON SPERLING, 2014). Outra possibilidade de tratamento de esgotos de baixo custo e de fácil operação são as denominadas lagoas de maturação, utilizadas como pós-tratamento de esgotos para a redução de microrganismos. No que se refere à água, as tecnologias de tratamento empregadas variam em função da qualidade da água bruta e visam remover partículas sólidos suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias prejudiciais à saúde (LIBÂNIO, 2016). Uma das tecnologias empregadas para tornar a água potável é o processo de aeração. Segundo DALTRO FILHO (2018), essa técnica é uma operação unitária que consiste em aerar a água, com a finalidade de remover impurezas tais como ferro, manganês, gases e matéria orgânica presentes na água bruta. O ferro e o manganês, comumente encontrados em águas subterrâneas, são oxidadas durante a aeração, precipitando-se, e são removidos posteriormente por meio do processo de decantação. O tratamento da água bruta, no geral, tem como finalidade adequar a sua qualidade aos padrões de potabilidade listados pela Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os padrões de qualidade para água potável (BRASIL, 2022). Na UFSB, *Campus* Jorge Amado (Ilhéus, Bahia), o esgoto é separado e encaminhado para diferentes unidades de tratamento. As águas cinzas (pias) vão para a *wetland* e, após o tratamento, são encaminhadas para os reservatórios de água não potável, onde são misturadas com as águas azuis (pluviais), para utilização nas descargas dos vasos sanitários, na rega da grama e armazenada para reserva de combate à incêndios. As águas marrons (vasos sanitários), são encaminhadas para o UASB e, posteriormente, são direcionadas para as duas lagoas de maturação (polimento), que trabalham em paralelo. O efluente das lagoas é descarregado em um córrego, por meio de um emissário. As águas amarelas (mictórios dos banheiroas masculinos) são direcionadas para um reservatório individual para correção do pH e a vazão excedente é lançada na rede coletora de águas marrons. A proposta desse artigo é

apresentar as ações de saneamento descentralizadas realizadas pela UFSB, *campus* Jorge Amado (Ilhéus – Bahia), especificamente no que concerne ao tratamento de água para abastecimento, a gestão de águas pluviais e ao sistema de esgotamento sanitário. Para tal, foram realizados levantamentos junto ao Departamento de Infraestrutura da UFSB (DINFRA), buscando-se materiais acerca das especificações dos poços de água subterrânea que abastecem a UFSB e da qualidade da água bruta; do tipo de tratamento de água utilizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) e da qualidade da água tratada; da coleta e reuso das águas pluviais e das unidades de tratamento de esgotos gerados. Foram consultados os manuais das estações de tratamento de água e de esgoto, assim como tabelas contendo parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas, além de visitas *in loco* e de registros fotográficos. O presente trabalho é de importância relevante para disseminar as tecnologias de saneamento ecológico em áreas isoladas.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Fonte de abastecimento da UFSB: a fim de se conhecer sobre a fonte de abastecimento de água da UFSB, foram realizados levantamentos junto ao Departamento de Infraestrutura (DINFRA), especificamente no que concerne referente às especificações dos poços de água subterrânea, realizados pela empresa que realizou a perfuração desses poços. Nesse material, foram verificados os números de poços que abastecem a UFSB e suas especificações, além dos parâmetros físico-químicos da água bruta desses poços. Além disso, foram realizadas visitas *in loco* e registros fotográficos.

2. Estação de Tratamento de Água (ETA) da UFSB: com relação à ETA, foram realizados levantamento junto à DINFRA, especificamente no manual da ETA, buscando-se pesquisar sobre o tipo de tratamento de água realizado nessa estação, bem como parâmetros microbiológicos de qualidade da água tratada. Além disso, foram realizadas visitas *in loco* e registros fotográficos.

3. Gestão de águas pluviais da UFSB: a fim de se conhecer sobre a gestão das águas pluviais, foram realizadas visitas *in loco* e registros fotográficos, sob orientação da DINFRA.

4. Sistemas de esgotamento sanitário da UFSB: foi realizada uma ampla pesquisa junto à DINFRA, além de visitas de campo e de registros fotográficos, buscando-se identificar os processos de separação e coleta das águas residuárias, além dos tipos de processos de tratamento de esgoto e o destino final delas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Fonte de abastecimento de água da UFSB

A UFSB, *Campus* Jorge Amado, é abastecida por dois poços artesianos (denominados 1 e 2). O poço 1 tem 100 metros de profundidade e vazão de 7.200 L/h, e o poço 2 tem 84 metros de profundidade e vazão de 7.200 L/h. Os parâmetros físico-químicos da água bruta estão na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da água bruta dos poços 1 e 2, que abastecem a UFSB.

Parâmetros físico-químicos	Poço 1		Poço 2	
	2016	2024	2018	2024
Turbidez (NTU)	12,00	3,04	6,23	1,65
pH	7,02	6,81	7,10	6,65
Dureza Total ($mgCaCO_3/L$)	150,00	210,0	178,00	65,00
Cloretos (mg/L)	18,00	60,00	25,00	37,00
Oxigênio (mgO_2/L)	1,03	ND	1,45	ND
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	312,00	ND	270,00	ND
Condutividade elétrica (µS/cm)	460,00	ND	397,00	ND
Ferro (mg/L)	0,53	0,29	1,20	< 0,25

Fonte: os autores (2025)
Onde:
ND: Parâmetro Não Determinado
VMP : Valor Máximo Permitido, conforme Portaria GM/MS nº 888/2021 (Anexo XX – Padrão de Potabilidade).

No poço 1, o valor de turbidez encontrado foi elevado, especificamente no ano de 2016. No poço 2, em 2018, o valor de turbidez também foi elevado. Esses valores estiveram associados à perfuração dos poços, que promove um aumento na turbidez da água, especificamente no poço 1. Já no ano de 2024, em ambos os poços, esses valores foram menores, inclusive não ultrapassaram os VMP da Portaria de Potabilidade para água de abastecimento. Mesmo assim, a água coletada desses poços é submetida ao processo de tratamento na ETA, cuja finalidade não é necessariamente a remoção de turbidez, mas o controle das concentrações de ferro e manganês, assim como a desinfeção.

O pH da água bruta variou entre 6 e 8, classificados como adequados ao consumo dessa água. A dureza da água bruta foi considerada elevada na água dos dois poços, embora não ultrapasse o VMP pela Portaria (300 $mgCaCO_3/L$). No entanto, esses valores de dureza configuram uma água dura, causando sabor desagradável. Assim, está sendo adquirido pela UFSB um sistema de troca iônica para remoção dos íons de cálcio e magnésio (dureza total). No que tange às concentrações de cloretos, os valores atendem ao padrão de Potabilidade. As concentrações de oxigênio dissolvido da água bruta foram baixas, o que é de se esperar de uma água subterrânea.

Existe uma relação direta entre a condutividade elétrica e as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), ratificada nos valores encontrados. Observou-se que as concentrações de STD também não inviabilizariam a utilização da água para fins de abastecimento doméstico (VMP de 500 mg/L).

De modo geral, as concentrações de ferro na água foram classificadas como elevadas, especificamente nos anos de 2016 e de 2018. Embora não tenham sido determinadas as concentrações de manganês, existe uma relação entre esses parâmetros, supondo-se elevadas concentrações de manganês também na água bruta. Assim, a partir desses resultados, foi proposta a utilização de uma ETA, com o uso de aeração, para remoção desses inconvenientes da água bruta, em operação.

2. Estação de Tratamento de Água (ETA) da UFSB e qualidade da água tratada

A fim de reduzir as concentrações de ferro e manganês da água bruta oriunda dos poços que abastecem a UFSB, a água é submetida a um tratamento em uma Estação de Tratamento de Água (ETA), mediante o processo de aeração, seguido de decantação e filtração. O aerador utilizado na ETA é do tipo bandeja, onde a água é submetida à aeração ao passar de uma bandeja para a outra, fazendo com que o ferro e o manganês, anteriormente presentes na água bruta na forma de sólidos dissolvidos, precipitem e sejam e removidos no decantador. E, posteriormente, nos filtros. Finalmente, a água é submetida ao processo de desinfeção com cloro, pra remoção de microrganismos. Os parâmetros de qualidade físico-químicos da água tratada na ETA são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos da água tratada – UFSB – 11/05/2024

Parâmetro	Unidade	Resultado	VMP
pH	-	6,92	6 a 9
Turbidez	uT	0,0	5
Cor aparente	uH	0,0	15
Sulfato	mg/L	10	250
Sulfeto	mg/L	< 0,01	0,05
Nitrato (como N)	mg/L	< 0,10	10
Nitrito (como N)	mg/L	< 0,025	1
Cloreto	mg/L	98,7	250
Dureza total	mg/L	210,3	300
Ferro	mg/L	< 0,25	0,3
Manganês	mg/L	< 0,25	0,1

Fonte: os autores, 2025
Onde:
VMP : Valor Máximo Permitido, conforme Portaria GM/MS nº 888/2021 (Anexo XX – Padrão de Potabilidade).

Os valores de pH, turbidez, cor aparente, sulfato, sulfeto, nitrato, nitrito e cloretos estiveram dentro dos VMP pela Portaria de Potabilidade. No que concerne à dureza total, a concentração continuou elevada, a exemplo da água bruta, pois o sistema de tratamento utilizado para a água

(aeração) não remove dureza. No entanto, encontra-se em fase de aquisição um sistema de troca iônica, com resinas catiônicas, para remoção de dureza total da água. Com relação às concentrações de ferro e manganês, ocorreram reduções quando comparadas a água bruta, inclusive com os valores (após tratamento) atendendo ao padrão de potabilidade, ratificando a eficiência do sistema de tratamento da água, cuja finalidade é a remoção desses inconvenientes.

No ano de 2025, foram realizados exames microbiológicos da água tratada da UFSB, cujos valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros microbiológicos determinados para a água tratada da UFSB - 31/07/2025

Parâmetros microbiológicos

Parâmetro	Unidade	Resultado	VMP
Coliformes totais	UFC/mL	Ausente	Ausência
Eschirichia coli	UFC/mL	Ausente	Ausência
Cianobactérias	células/mL	< 1,0	10.000 celulas/ml

Fonte: os autores (2025)
Onde:
VMP : Valor Máximo Permitido, conforme Portaria GM/MS nº 888/2021 (Anexo XX – Padrão de Potabilidade).

Os parâmetros microbiológicos da água tratada estão de acordo com o que preconiza a Poratia de potabilidade da água, não oferecendo problemas de contaminação.

3. Gestão de águas pluviais

As águas pluviais da UFSB são coletadas, por meio de calhas, dos telhados dos prédios e lajes de cobertura do núcleo pedagógico e do núcleo de vivência e gestão acadêmica. Após essa coleta, as águas passam por um sistema de decantação e são encaminhadas para os reservatórios de água não potável. Desses, são direcionadas para o tratamento na *wetland,* juntamente com as águas cinzas. Posteriormente, são reutilizadas para descarga nos vasos sanitários, para irrigação do gramado e para reserva de combate à incêndios.

4. Sistemas de esgotamento sanitário da UFSB

Separação e coleta das águas residuárias: o esgoto produzido no *campus* da UFSB é coletado separadamente em águas cinzas (águas das pias dos banheiros sanitários femininos e masculinos); águas marrons (águas provenientes das descargas dos vasos sanitários masculinos e femininos), águas amarelas (urina dos mictórios dos banheiros masculinos);e águas azuis (águas de chuva provenientes dos telhados dos prédios e lajes de cobertura do núcleo pedagógico e do núcleo de vivência e gestão acadêmica).

Tratamento das águas residuárias geradas na UFSB: na UFSB, são utilizados os seguintes sistemas de tratamento de esgoto: ***Wetland,*** do tipo fluxo vertical, subsuperficial, não alagada, que recebe as águas cinzas (das pias dos banheiros feminino e masculino), para tratamento. As macrófitas utilizadas são do tipo papiro. Após o tratamento, o esgoto tratado é encaminhado ao reservatório de

água não potável, onde se juntam com as águas azuis (pluvias), oriundas das coberturas dos prédios, e seguem para reutilização na descarga nos vasos sanitários dos banheiros, na rega da grama e no combate a incêndio.

Reator UASB seguido de lagoas de maturação: o reator UASB recebe as águas marrons, provenientes das descargas dos vasos sanitários masculinos e femininos, para tratamento. Como pós- tratamento do UASB, o esgoto é direcionado para duas lagoas de maturação, que operam em paralelo. O esgoto oriundo da lagoa 1 e o do lagos 2 é então reunidos em uma caixa de passagem e direcionado para um emissário que o direciona para um córrego. Foi realizada uma determinação de alguns parâmetros físico-químicos do esgoto do UASB e das lagoas de maturação, cujos valores encontram- se na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos do esgoto afluente e efluente do reator UASB e das lagoas de maturação, para tratamento das águas marrons da UFSB – 27/01/2024

PARÂMETROS	UASB		LAGOA 1	LAGOA 2	SAÍDA LAGOA 1 + LAGOA 2
	Entrada	Saída	Entrada	Entrada	
pH	6,20	6,28	8,74	8,60	8,25
Temperatura (ºC)	30,0	29,3	28,6	29,0	29,7
Condutividade Elétrica (µS/cm)	413,0	194,0	205,0	200,0	191,0
Oxigênio Dissolvido (mg/|L)	5,1	4,7	12,1	12,0	7,6

Fonte: os autores (2025)

Os valores de pH foram elevados nos afluente e efluentes das lagoas de maturação, devido o processo fotossintético das algas, com consumo de CO_2 e consequente elevação do pH. Os valores de temperatura medidos foram usuais aos sistemas de tratamento e a condutividade elétrica do esgoto afluente ao reator UASB foi da ordem de 400 µS/cm, típico de esgoto bruto doméstico. Observou-se a redução da condutividade elétrica na saída do UASB, ratificando a redução dos sólidos totais dissolvidos e, certamente, da carga orgânica do esgoto bruto. Com relação às concentrações de oxigênio dissolvido, observou-se elevação nas lagoas em função do processo fotossintético das algas (produção de oxigênio).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral, a água dos poços que abastece a UFSB é de água de boa qualidade, com exceção dos valores de ferro e manganês. No entanto, as concentrações foram reduzidas na ETA e atenderam ao padrão de potabilidade. Apesar da dureza total das águas bruta e tratada atender ao VMP da Portaria de potabilidade da água, ela causa gosto desagradável à água. Para corrigir esse problema, está sendo adquirido um sistema troca iônica, para remoção de cálcio e magnésio da água. Quanto aos padrões microbiológicos da água tratada, não oferecem risco de contaminação e atendem a Portaria de

potabilidade. A UFSB utiliza água de reuso para descarga nos vasos sanitários, rega de jardim e reserva para combate a incêndios, destacando-se nas ações de sstentabilidade. As águas marrons são tratadas em um reator UASB, seguido de duas lagoas de maturação. Neles, são reduzidas a carga orgânica e microbiológica, respectivamente. Posteriormente, o esgoto tratado é encaminhado para um córrego. Como destino final. Vale salientar que trabalhos futuros deverão ser realizados, a fim de se realizar balanço de massa para a *Wetland* e para o UASB, para determinar as eficiências de remoção de matéria orgânica (por exemplo, de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO), bem como de nutrientes (nitrogênio e fósforo), além de estudos da qualidade da água do córrego que recebe os efluentes finais do UASB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério da Saúde. 2022. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2022: dispõe sobre os padrões de qualidade para água potável.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 de maio de 2022.

Chernicharo, C. A. L. 2016. *Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos.* Belo Horizonte: Editora UFMG.

Heller, L., and V. L. Pádua. 2016. *Abastecimento de Água para Consumo Humano.* 3ª ed. Belo Horizonte: UFMG.

Jordão, E. P., and P. A. Constantino. 2014. *Tratamento de Esgotos Domésticos.* 7ª ed. Rio de Janeiro: ABES.

Libânio, M. 2016. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.* São Paulo: Átomo.

Nuvolari, A. 2011. *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola.* São Paulo: Blucher.

Richter, C. A., and J. M. Azevedo Neto. 2021. *Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada.* São Paulo: Blucher.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). 2019. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2017.* Brasília: SNIS.

Von Sperling, M. 2017. *Lagoas de Estabilização.* Vol. 3. Belo Horizonte: UFMG.

Von Sperling, M. 2014. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.* 4ª ed. Belo Horizonte: UFMG.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039751

SANEAMENTO ECOLÓGICO EM COMUNIDADES INDÍGENAS: CONSTRUÇÃO DO CÍRCULO DE BANANEIRA NA ALDEIA ARAÇÁS, TERRITÓRIO KIRIRI, BANZAÊ/BA

SANEAMIENTO ECOLÓGICO EN COMUNIDADES INDÍGENAS: CONSTRUCCIÓN DEL CÍRCULO DE PLÁTANOS EN LA ALDEIA ARAÇÁS, TERRITORIO KIRIRI, BANZAÊ/BA

ECOLOGICAL SANITATION IN INDIGENOUS COMMUNITIES: CONSTRUCTION OF THE BANANA CIRCLE IN THE ALDEIA ARAÇÁS, KIRIRI TERRITORY, BANZAÊ/BA

Lisa Coelho Nascimento[1], Diane Gabrielle Costa Henrique[2], Hugo Larchert de Oliveira[3] e Francisco Ramon Alves do Nascimento[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFBA, Escola Politécnica, Brasil, lisanascimento@ufba.br, 0009-0000-8923-5604;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFBA, Escola Politécnica, Brasil, dianehenrique@ufba.br, 0009-0008-0159-349X;
[3]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFBA, Escola Politécnica, Brasil, hugolarchert@ufba.br, 0009-0000-9224-0666;
[4]Doutor em Engenharia Industrial, UFBA, Escola Politécnica, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Tecnologias de saneamento ecológico para comunidades isoladas.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Tecnologías de saneamiento ecológico para comunidades aisladas

RESUMO

O trabalho “Saneamento ecológico em comunidades indígenas: construção do círculo de bananeira na Aldeia Araçás, Território Kiriri, Banzaê/BA” apresenta uma experiência de aplicação de tecnologia de saneamento voltada ao manejo das águas cinzas em contexto rural e indígena. O estudo parte do diagnóstico da desigualdade no acesso ao saneamento básico na Bahia, revelando a necessidade de soluções descentralizadas, adaptadas ao semiárido e de baixo custo. A pesquisa foi desenvolvida no Colégio Estadual Indígena Kiriri Índio Feliz - Aldeia Araçás, que apresentava ausência de sistemas adequados para destinação de águas cinzas, anteriormente descartadas diretamente no solo, gerando risco ambiental e sanitário. A partir de metodologia participativa vinculada à Ação Curricular em Comunidade e Sociedade (ACCS/UFBA), foram realizadas capacitações sobre saneamento ecológico e, em seguida, a construção coletiva de um círculo de bananeiras. O sistema consistiu em vala circular de 1,5 m de diâmetro por 1 m de profundidade, preenchida com brita, troncos e matéria orgânica, associada ao plantio de dez mudas de bananeira. O dimensionamento considerou a geração de cerca de 1.920 L/dia de águas cinzas, conduzidas por tubulações em PVC e caixa de gordura para retenção de óleos. Os resultados evidenciaram benefícios ambientais, como a eliminação do descarte inadequado, o reaproveitamento de nutrientes, a melhoria da fertilidade do solo e

a produção de biomassa e frutos, além do aumento da umidade local. No aspecto social, a participação comunitária garantiu apropriação do conhecimento e autonomia para a manutenção do sistema, reforçando a importância da gestão comunitária. Conclui-se que o círculo de bananeiras é uma alternativa eficiente, sustentável e replicável para o tratamento de águas cinzas em comunidades indígenas e rurais, unindo simplicidade técnica, baixo custo e ganhos ambientais, sociais e sanitários, além de promover educação ambiental e fortalecer a soberania hídrica e alimentar no Território do Povo Kiriri.

Palavras-chave: Águas residuárias, Participação social, Águas cinzas, Comunidades indígenas.

RESÚMEN

El trabajo “Saneamiento ecológico en comunidades indígenas: construcción del círculo de plátanos en la Aldeia Araçás, Territorio Kiriri, Banzaê/BA” presenta una experiencia de aplicación de tecnología de saneamiento orientada al manejo de aguas grises en un contexto rural e indígena. El estudio parte del diagnóstico de la desigualdad en el acceso al saneamiento básico en Bahía, lo que revela la necesidad de soluciones descentralizadas, adaptadas al semiárido y de bajo costo. La investigación se desarrolló en el Colegio Estadual Indígena Kiriri Índio Feliz - Aldea Araçás, que carecía de sistemas adecuados para la disposición de aguas grises, anteriormente vertidas directamente al suelo, generando riesgos ambientales y sanitarios. A partir de una metodología participativa vinculada a la Acción Curricular en Comunidad y en Sociedad, se llevaron a cabo capacitaciones sobre saneamiento ecológico y, posteriormente, la construcción colectiva de un círculo de plátanos. El sistema consistió en una zanja circular de 1,5 m de diámetro por 1 m de profundidad, rellenada con grava, troncos y materia orgánica, asociada a la plantación de diez plataneras. El diseño consideró una generación de aproximadamente 1.920 L/día de aguas grises, conducidas por tuberías de PVC y una caja de grasa para la retención de aceites. Los resultados mostraron beneficios ambientales, como la eliminación de vertidos inadecuados, el aprovechamiento de nutrientes, la mejora de la fertilidad del suelo y la producción de biomasa y frutos, además del aumento de la humedad local. En el aspecto social, la participación comunitaria aseguró la apropiación del conocimiento y la autonomía para el mantenimiento del sistema, reforzando la importancia de la gestión comunitaria. Se concluye que el círculo de plátanos es una alternativa eficiente, sostenible y replicable para el tratamiento de aguas grises en comunidades indígenas y rurales, al combinar simplicidad técnica, bajo costo y beneficios ambientales, sociales y sanitarios, además de promover la educación ambiental y fortalecer la soberanía hídrica y alimentaria en el Territorio del Pueblo Kiriri.

Palabras clave: Aguas residuales, Participación social, Aguas grises, Comunidades indígenas

ABSTRACT

The work “Ecological sanitation in indigenous communities: construction of the banana circle in Aldeia Araçás, Kiriri Territory, Banzaê/BA” presents an experience in applying sanitation technology aimed at managing greywater in rural and indigenous contexts. The

study begins with the diagnosis of inequality in access to basic sanitation in Bahia, revealing the need for decentralized, low-cost solutions adapted to semi-arid conditions. The research was carried out at Colégio Estadual Indígena Kiriri Índio Feliz - Aldeia Araçás, which lacked adequate systems for greywater disposal, previously discharged directly into the soil, creating environmental and sanitary risks. Using a participatory methodology linked to the Curricular Action in Community and Society (ACCS/UFBA), training sessions on ecological sanitation were conducted, followed by the collective construction of a banana circle. The system consisted of a circular trench measuring 1.5 m in diameter and 1 m in depth, filled with gravel, logs, and organic matter, combined with the planting of ten banana trees. The design considered the generation of approximately 1,920 L/day of greywater, conveyed through PVC pipes and a grease trap to retain oils. Results highlighted environmental benefits such as the elimination of improper discharges, nutrient reuse, improved soil fertility, and the production of biomass and fruits, as well as increased local moisture. From a social perspective, community participation ensured knowledge appropriation and autonomy for system maintenance, reinforcing the importance of community management. It is concluded that the banana circle is an efficient, sustainable, and replicable alternative for greywater treatment in indigenous and rural communities, combining technical simplicity, low cost, and environmental, social, and sanitary benefits, while also promoting environmental education and strengthening water and food sovereignty in the Territory of the Kiriri People.

Keywords: Wastewater, Social participation, Greywater, Indigenous communities

INTRODUÇÃO

De acordo com os dados no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), ano base 2023, no estado da Bahia, 80,8% da população tem acesso às redes de abastecimento de água e 59,7% à rede de esgoto. No recorte das áreas urbanas e rurais, os serviços são terminantemente desiguais. Em relação a população urbana, 98,9% tem acesso a água e 55,3% conectados às redes de esgotamento sanitário. Já nas áreas rurais, 67,3% da população são atendidos pelo abastecimento de água, mas apenas 3,2% da população rural possui o mesmo acesso às redes de esgoto (Brasil, 2024a; Brasil, 2024b).

Os dados supracitados evidenciam a dificuldade de acesso a serviços adequados de saneamento em diversas zonas rurais, realidade que afeta sobretudo comunidades tradicionais. Nesse sentido, a gestão das águas residuárias segregadas, isto é, as águas provenientes do uso humano em atividades domésticas, configura-se como uma alternativa mais sustentável a partir da abordagem de Saneamento Ecológico, que podem melhorar a gestão da água e de outros recursos essenciais às comunidades cujas atividades estão intrinsecamente ligadas à terra e ao meio ambiente.

Segundo Santos (2019), as águas residuárias possuem quatro correntes líquidas

diferentes, sendo elas: as águas cinza (águas de pias e chuveiros, por exemplo), as águas amarelas (águas formadas por urina humana e água de descarga), águas marrons (oriunda das fezes humanas) e o líquido que é a junção de águas marrons e águas amarelas, as águas negras. Atualmente, o sistema tecnológico convencional de saneamento, denomina esgoto doméstico a mistura destes líquidos em uma só corrente.

A segregação das correntes apresenta vantagens econômicas, sanitárias, ambientais e facilita o tratamento descentralizado. As águas cinzas, sobretudo, são ricas em nutrientes que enriquecem o solo e estimulam a produção de fruto e biomassa de algumas espécies que se adaptam ao despejo desta água. Essa característica viabiliza seu uso em tecnologias hidrossanitárias que empregam sistemas com plantas, como o leito de evapotranspiração (sistema fechado com fluxo horizontal e uso de plantas/pedras para infiltração), o círculo de bananeiras (poço com brita e matéria orgânica seca que recebe o efluente, rodeado por bananeiras) e o tratamento por zona de raízes (que requer pré-tratamento em tanques sépticos e utiliza um leito cultivado com camadas filtrantes) (Fagundes et al, 2009).

Dentre os sistemas alternativos para o tratamento de águas cinzas, o círculo de bananeiras se destaca sendo a tecnologia mais adequada para o saneamento rural em virtude de sua eficiência e simples aplicação. A corrente líquida é utilizada para nutrir plantas capazes de reter a umidade, como as bananeiras, que atuam como filtros biológicos naturais ao invés de ser descartada (AGEVAP, 2023).

Diante dessas considerações, o propósito deste estudo é apresentar o processo da construção de um círculo de bananeira no Colégio Estadual Indígena Kiriri Indio Feliz - Aldeia Araçás, localizada no município de Banzaê/BA, como um estudo de caso.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido no âmbito da Ação Curricular em Comunidade e em Sociedade (ACCS) “ENFD:50: Meio Ambiente e Saúde: E eu com isso?”, vinculada à Escola de Enfermagem da Universidade Federal da Bahia (UFBA), tendo como área de intervenção o Colégio Estadual Indígena Kiriri Indio Feliz - Aldeia Araçás. A instituição atende 17 estudantes do Infantil até o 5º ano do Ensino Fundamental, 15 funcionários e funciona, de segunda a sexta, no período de 07:45 às 17:00.

O colégio está localizado na Aldeia Araçás, no Território Indígena do Povo Kiriri,

município de Banzaê/BA, inserida em região de clima Tropical Nordeste Oriental, caracterizado por temperaturas médias superiores a 18 °C em todos os meses do ano e regime pluviométrico com seis meses de estação seca, o que confere condições semiáridas (IBGE, 2002). Hidrograficamente, a área pertence à Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) do Rio Itapicuru (INEMA, 2019).

Do ponto de vista pedológico, predominam diferentes classes de solos: Argissolo Amarelo Distrófico, Planossolo Háplico Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico e Neossolo Litólico Distrófico (EMBRAPA, 2018). Essa diversidade influencia na dinâmica de infiltração das águas cinzas no sistema de círculo de bananeira, justificando a adoção de soluções de saneamento descentralizado adaptadas ao contexto semiárido.

O município de Banzaê possui população de 11.958 habitantes distribuída em 3.935 domicílios (IBGE, 2022). Os indicadores de saneamento apontam desafios significativos: apenas 34,22% da população do município é atendida com abastecimento de água, enquanto o acesso ao esgotamento sanitário é de 6,98% (SNIS, 2022), evidenciando a vulnerabilidade do município quanto aos serviços básicos.

Durante a etapa diagnóstica, observou-se a ausência de soluções adequadas para o manejo ou destinação adequada para as águas cinzas provenientes da cozinha e dos banheiros. O efluente era descartado diretamente no solo, a céu aberto, acumulando-se no entorno da edificação e resultando na presença de odores desagradáveis e no potencial risco de proliferação de insetos e outros vetores.

Para o dimensionamento do sistema foi necessário estimar o volume de águas cinzas geradas diariamente. De acordo com Carvalho Júnior (2014), para escolas sob regime de semi-internato (integral), adota-se 100 L/pessoa*dia. Em seguida, determinou-se a fração de águas cinzas em relação ao esgoto doméstico. Segundo Elmitwalli *et al.* (2007), as águas cinzas correspondem de 60% a 75% do total de águas residuárias geradas. Para este estudo adotou-se a taxa de 60%. O valor obtido foi utilizado para verificar a compatibilidade das dimensões do círculo de bananeira projetado e do círculo de bananeira construído.

As atividades foram realizadas nos dias 22 e 23 de julho de 2025, contando com a participação de 25 membros da comunidade. No primeiro dia, ocorreu uma capacitação comunitária sobre saneamento ecológico e tecnologias aplicáveis a comunidades isoladas,

com ênfase no sistema do círculo de bananeira para tratamento de águas cinzas. O encontro teve duração de duas horas, conduzido pelo professor responsável e pela equipe discente, composta por quatro graduandos do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFBA.

No segundo dia, procedeu-se à construção do círculo de bananeira, sendo iniciada pela escavação manual de uma vala circular, não impermeabilizada e não compactada, em conformidade com as especificações técnicas da EMATER-MG. De acordo com o termo de referência para implantação de projetos hidroambientais e/ou de saneamento rural na bacia hidrográfica do rio doce, o círculo de bananeiras é dimensionado com diâmetro entre 1,40 e 1,50 m e profundidade entre 0,60 e 1,0 m. No presente projeto, adotou-se 1,5 m de diâmetro e 1,0 m de profundidade, sendo o volume da vala calculado pela relação abaixo.

$$V = \pi r^2 h \qquad (1)$$

onde: V= Volume da vala (m^3); r = raio do vala (m) = diâmetro/2; h = profundidade da vala (m)

Após a escavação, procedeu-se ao recobrimento e preenchimento da vala com troncos de madeira, brita e restos vegetais (folhas e capins). Esses materiais atuam como meio filtrante, pois sobre suas superfícies forma-se um biofilme, composto por microrganismos que promovem a degradação da matéria orgânica e a redução de nutrientes presentes no efluente.

A condução das águas cinzas, provenientes da cozinha e dos dois banheiros, foi realizada por meio de tubulações em PVC rígido. A tubulação da cozinha, com diâmetro de 50 mm, foi a de maior distância e foi interligada a uma caixa de gordura, destinada à retenção de óleos e resíduos graxos. Após, o efluente seguiu até a junção com as tubulações dos banheiros, também em PVC de 50 mm, convergindo em um ponto de conexão equipado com um redução, que permitiu a transição para tubulação de 100 mm, com uma declividade proposta de, no mínimo, 2%. Este trecho final foi responsável por conduzir, por gravidade, o volume unificado de águas cinzas até a vala do círculo de bananeira. Todo o conjunto de tubulações foi enterrado a fim de assegurar a proteção e integridade hidráulica do sistema.

Na etapa seguinte, foram plantadas dez mudas de bananeira (*Musa sp.*) ao redor da escavação, conforme apresentado na Figura 4, com o espaçamento de aproximadamente 0,5 m entre plantas e 0,3 m da borda, de modo a otimizar a absorção hídrica e o desenvolvimento radicular. Por fim, instalou-se um cercado de proteção em torno do círculo para evitar acidentes com os estudantes do colégio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação do círculo de bananeiras representou a concretização de uma solução sustentável e de baixo custo para o manejo das águas cinzas, contribuindo para a melhoria das condições sanitárias da comunidade escolar. A Figura 1 apresenta a situação anterior à intervenção, identificada na etapa diagnóstica.

Figura 1. Saídas de águas cinzas da cozinha e banheiros antes da intervenção
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os parâmetros definidos em etapa anterior indicaram uma produção aproximada de 1,92 m³ de efluente diariamente. Ao relacionar esse valor com a estrutura construída (Figuras 2 e 3), cujo volume útil foi de 1,77 m³, observou-se valores superiores ao volume estático da vala construída. Apesar disso, o funcionamento do círculo de bananeira não depende de armazenamento permanente, mas da infiltração e absorção contínua do efluente pelo solo e pelo sistema radicular das bananeiras, o que garante o escoamento diário do efluente sem risco de acúmulo prolongado. Assim, o sistema mostrou-se funcional para a realidade local, ainda que operando próximo ao limite de sua capacidade.

Figura 2. Processo de construção do círculo de bananeira
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 3. Caixa de gordura e tubulações
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Sob a perspectiva ambiental, a tecnologia implantada promoveu a redução da disposição inadequada de efluentes domésticos no ambiente, além de transformar a água residuária em recurso produtivo, sendo absorvida pelo sistema radicular das plantas e incorporada ao ciclo da biomassa. Isso contribui para o aumento da umidade no entorno imediato, melhoria da fertilidade do solo e produção de frutos. A Figura 4 apresenta o resultado final do círculo de bananeira.

Figura 4. Círculo de bananeira construído.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Do ponto de vista social, a capacitação e construção realizadas com a comunidade proporcionou o entendimento do funcionamento e das práticas de manutenção do sistema, como a reposição periódica de matéria orgânica e o replantio de mudas. Esse processo formativo é fundamental para garantir a longevidade da intervenção, visto que a tecnologia

depende da gestão comunitária para manter a eficiência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação do círculo de bananeira no Colégio Estadual Indígena Kiriri Índio Feliz - Aldeia Araçás evidenciou-se como uma alternativa eficaz e de baixo custo para o tratamento de águas cinzas em contexto rural e indígena. Ainda que os cálculos indiquem uma geração de efluente superior ao volume geométrico da vala, o princípio de funcionamento por infiltração contínua assegura a eficiência do sistema. A tecnologia proporcionou benefícios ambientais, como a melhoria das condições sanitárias, o aproveitamento de nutrientes e o aumento da umidade do solo, ao mesmo tempo em que fortaleceu a participação comunitária no cuidado com o sistema. Ressalta-se, contudo, a importância do acompanhamento contínuo do desempenho da estrutura e a possibilidade de replicação da experiência em outras aldeias, ampliando o acesso a soluções de saneamento ecológico em comunidades isoladas da Bahia.

AGRADECIMENTOS

À equipe da ACCS ENFD:50 – “Meio Ambiente e Saúde: E eu com isso?” pelo apoio, convite e organização durante todo o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – AGEVAP. 2023. Anexo II – Especificações Técnicas. Ato Convocatório 06/2023: Contratação de Empresa para Fornecimento de Mão de Obra para Implantação de Projetos Hidroambientais e/ou de Saneamento Rural na Bacia Hidrográfica do Rio Doce – Iniciativa Rio Vivo. Governador Valadares, MG: AGEVAP, 4 jul. 2023.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2011. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Brasil. Ministério das Cidades. 2024a. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA): Relatório dos Serviços de Esgotamento Sanitário. Brasília, DF. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_ESGOTAMENTO_SANITARIO_20

24.pdf.

Brasil. 2024b. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA). Relatório dos Serviços de Abastecimento de Água. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024 Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_ABASTECIMENTO_DE_AGUA_2024.pdf.

Carvalho Júnior, Osvaldo de. 2014. Instalações Hidráulicas e Sanitárias. 5. ed. São Paulo: Editora Erica.

Elmitwalli, Tarek, Ralf Otterpohl, and Christian Wendland. 2007. "Anaerobic Biodegradability and Treatment of Grey Water in UASB Reactor." Water Research 41 (6): 1379–1387. https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.001.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2018. Mapa de Solos do Brasil. 5. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos.

Fagundes, Renata Magalhães. Scherer, Minéia Johann. 2009. "Sistemas Alternativos Para o Tratamento Local dos Efluentes Sanitários." Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, (10), n. 1, p. 53-65, 2009. ISSN 1981-2841.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2002. Mapa de Clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2022. Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: IBGE.

INEMA/SEMARH (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos / Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia). 2016. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru. Salvador: INEMA/SEMARH.

Santos, André Bezerra dos. 2019. "Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais". Fortaleza: Imprece, 2019. ISBN 978-85-8126-190-4.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). 2022. Diagnóstico Temático do Saneamento Básico – Água e Esgotos. Brasília: Ministério das Cidades.

29, 30 AND 31TH OCTOBER 2025

II SANEA BRASIL
International Congress on Rural Sanitation
Climate Change: A New Challenge for Rural Sanitation

EXPERIENCE REPORT

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039772

Saneamento seguro com banheiros secos separadores de urina (UDDT) em uma vila produtora de algodão no Mali: uma experiência de cooperação Sul-Sul

Saneamiento seguro mediante sanitarios secos con desviación de orina (UDDT) en una aldea productora de algodón de Mali: una experiencia de cooperación Sur-Sur

Safe sanitation through Urine-Diverting Dry Toilets (UDDT) in a cotton-producing village in Mali: an experience of South–South cooperation

Camila S. Franco[1], Andréa A. R. Corrêa[2], Luciana Sanches[3], Milson E. Serafim[4]
[1] Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brazil. E-mail: camila.sfranco@ufla.br[1]
[2] Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brazil. E-mail: andrea.rcorrea@ufla.br[2]
[3] Federal University of Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, Brazil. E-mail: luciana.sanches@ufmt.br[3]
[4]Ministry of Agrarian Development and Family Farming, ES, Brazil. E-mail: milsonserafim@gmail.com [4]

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

ABSTRACT

This experience report presents the process of implementing safe sanitation alternatives in Bandiagara II, a cotton-producing village in southern Mali, within the South–South cooperation between Brazil and Mali. The main objective was to provide a feasible sanitation solution adapted to the local context, ensuring groundwater protection, water, and nutrient recovery. The context of the experience was characterized by severe sanitation challenges in the Sahel region, where unimproved latrines are the prevailing system. These latrines pose health risks due to groundwater contamination and limited circular economy. During three missions, two sanitation scenarios were analyzed: (i) existing unimproved pit latrines, and (ii) an alternative system based on Urine-Diverting Dry Toilets (UDDT) with ammonium sanitization of faeces (lime, ash, and urea) and urine treatment in a planted circle. The results demonstrated that UDDTs can significantly enhance safety, mitigate groundwater contamination risks, and facilitate nutrient recovery for agricultural purposes. Community participation was central to the implementation, with local adaptations such as the replacement of bananas with papaya plants in the urine treatment circle. The main challenges included logistics, material provision, and the need for continuous monitoring. Despite these challenges, the initiative showed that locally adapted technologies can promote health, environmental protection, and socio-economic benefits. This experience highlights the importance of South-South cooperation. It provides a replicable model for other rural communities in Sub-Saharan Africa and similar contexts.

Keywords: Sustainability, "Synthetic termite saliva", Soil stabilization, Compressive strength, Water absorption.

RESÚMEN

Este informe de experiencia presenta el proceso de implementación de alternativas de saneamiento seguro en Bandiagara II, un pueblo productor de algodón en el sur de Malí, en el marco de la cooperación Sur–Sur entre Brasil y Malí. El objetivo principal fue ofrecer una solución de saneamiento factible y adaptada al contexto local, garantizando la protección de las aguas subterráneas, así como la recuperación de agua y nutrientes. El contexto de la experiencia se caracterizó por los graves desafíos de saneamiento en la región del Sahel, donde predominan las letrinas no mejoradas. Estas letrinas representan riesgos para la salud debido a la contaminación de las aguas subterráneas y a la limitada

economía circular. Durante tres misiones se analizaron dos escenarios de saneamiento: (i) letrinas de pozo no mejoradas existentes y (ii) un sistema alternativo basado en inodoros secos separadores de orina (UDDT) con sanitización amoniacal de las heces (cal, cenizas y urea) y tratamiento de la orina en un círculo plantado. Los resultados demostraron que los UDDT pueden mejorar significativamente la seguridad, mitigar los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas y facilitar la recuperación de nutrientes para fines agrícolas. La participación comunitaria fue central en la implementación, con adaptaciones locales como la sustitución de bananos por papayas en el círculo de tratamiento de orina. Los principales desafíos incluyeron la logística, el suministro de materiales y la necesidad de monitoreo continuo. A pesar de estas dificultades, la iniciativa mostró que las tecnologías adaptadas localmente pueden promover la salud, la protección ambiental y beneficios socioeconómicos. Esta experiencia resalta la importancia de la cooperación Sur–Sur y proporciona un modelo replicable para otras comunidades rurales en África Subsahariana y contextos similares.

Palabras clave: Recuperación de agua y nutrientes; África Subsahariana; Saneamiento seguro

RESUMO

Este relato de experiência apresenta o processo de implementação de alternativas de saneamento seguro em Bandiagara II, uma comunidade produtora de algodão no sul do Mali, no âmbito da cooperação Sul–Sul entre Brasil e Mali. O objetivo principal foi oferecer uma solução de saneamento viável e adaptada ao contexto local, assegurando a proteção das águas subterrâneas, bem como a recuperação de água e nutrientes. O contexto da experiência foi marcado por graves desafios de saneamento na região do Sahel, onde predominam as latrinas rudimentares não melhoradas. Essas latrinas representam riscos à saúde devido à contaminação do lençol freático e à limitada economia circular. Durante três missões foram analisados dois cenários de saneamento: (i) latrinas rudimentares existentes e (ii) um sistema alternativo baseado em banheiros secos separadores de urina (UDDT) com sanitização amoniacal das fezes (cal, cinzas e ureia) e tratamento da urina em círculo plantado. Os resultados demonstraram que os UDDT podem melhorar significativamente a segurança, reduzir os riscos de contaminação das águas subterrâneas e facilitar a recuperação de nutrientes para fins agrícolas. A participação comunitária foi central na implementação, com adaptações locais como a substituição da bananeira pela mamoeira no círculo de tratamento da urina. Os principais desafios incluíram a logística, o fornecimento de materiais e a necessidade de monitoramento contínuo. Apesar dessas dificuldades, a iniciativa mostrou que tecnologias adaptadas localmente podem promover saúde, proteção ambiental e benefícios socioeconômicos. Esta experiência evidencia a importância da cooperação Sul–Sul e fornece um modelo replicável para outras comunidades rurais da África Subsaariana e contextos semelhantes.

Palavras-chave: Reuso de água e nutrientes, esgotamento sanitário seguro, Ágrica Subsaariana

DESCRIPTION OF THE EXPERIENCE

Originally from the Bandiagara Cliffs near Mopti, at the centre of the Mali, the Dogon people migrated to Bandiagara II due to conflicts in the north. The village is now geographically situated in the Koutiala region and has an estimated population of 630 inhabitants (Figure 1). It lies in a semi-arid climate. Annual rainfall ranges between 600 and 900 mm, supporting primarily rainfed cotton as the main crop, followed by cereals and livestock (World Bank, 2023). Cooperation between Brazil and Mali is facilitated through the CMDT and the Brazilian Cooperation Agency (ABC), with a focus on increasing cotton production (Agência Brasileira de Cooperação ABC, 2024). In this process, the need for health and sanitation care in villages has become a path to improve producers' quality of life. Over three one-week missions, we assessed the sanitation system, including latrines, faecal sludge emptying,

transport, usage, and water supply from hand wells. We also discussed and implemented the UDDTs.

Figure 1. Bandiagara II village drone photography, where the nuclei organization can be seen.
Source: Authors, 2024.

RESULTS AND DISCUSSION

The existing sanitation system consists of unimproved pit latrines used for defecation, which are approximately 3 meters deep and are typically in use for 2 years. After that period, they are closed with a piece of wood and left to rest for another year (Figure 2). After that, the faeces are transported by handcart and used in the family's agricultural field. The urine runs down the superstructure walls and remains on the floor surface, posing epidemiological risks and creating an unpleasant odour.

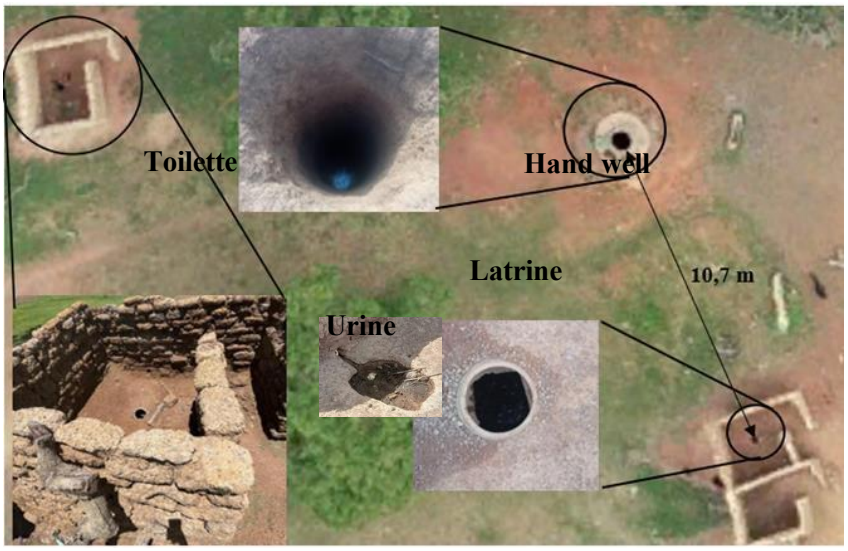


Figure 2. Existing scenario observed in the village of Bandiagara II, where unhygienic latrines are located near water supply wells, with the risk of groundwater contamination. Source: Authors, 2024.

The alternative system consists of Urine Diverting Dry Toilets (UDDT), where faeces are contained in buckets of 50 L, and treated using ammonium-based sanitization through a 1:1 mix of lime and ash (130 g/person) with 2% urea to elevate the pH and closed for two months, inactivating pathogens for safe soil use (Magri, 2015). Urine (from urinals) and anal cleansing are conducted through flexible hoses to a planted circle for land-based treatment and nutrient recovery (Figueiredo et al., 2018). Additionally, a local hand-wash basin was installed near the toilet to promote good hygiene practices. The grey water is used to pour flush the urine through the hose into the plant circle (Figure 3).

Figure 3. UDDT community installation, usage, and monitoring
Source: Authors, 2024.

FINAL CONSIDERATIONS

This experience demonstrated that UDDTs with plant circles can be implemented in rural villages of Mali to enhance water and nutrient recovery by segregating and treating excreta for proper use. The buckets' containment prevents underground water contamination and simplifies safe emptying and transport (E&T), especially after the treatment period. Handwash water can be used for flushing urine, which, combined, helps with papaya production by infiltration, avoiding standing water and vector spread. This experience highlights the role of South–South cooperation in addressing complex challenges in vulnerable regions and provides a replicable model for other rural communities in Sub-Saharan Africa.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq - grant number 307950/2021-2), Brazilian Cooperation Agency (ABC), the Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT), the United Nations Development Programme (UNDP), and the community of Bandiagara II for their support and collaboration.

REFERENCES

Agência Brasileira de Cooperação. (2024, 25 de novembro). *Da agricultura ao saneamento: Cotton Solos e o desenvolvimento comunitário no Mali*. Agência Brasileira de Cooperação. https://www.gov.br/abc/pt-br/assuntos/noticias/da-agricultura-ao-saneamento-cotton-solos-e-o-desenvolvimento-comunitario-no-mali

Figueiredo, C. B. M., de Almeida, A. P. A., Silva, C. M. M., & Costa, A. P. R. (2018). *Use of banana circle for greywater treatment and food production in small rural properties*. Revista Ambiente & Água, 13(4), e2148. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2148

Magri, M. E., Fidjeland, J., Jönsson, H., Albihn, A., & Vinnerås, B. (2015). Inactivation of adenovirus, reovirus and bacteriophages in fecal sludge by pH and ammonia. *Science of the Total Environment, 520*, 213–221. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.035

World Bank. (2023). *Mali overview*. https://www.worldbank.org/en/country/mali/overview

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039794

TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE AVES EM CONSÓRCIO COM ESGOTO DOMÉSTICO

TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE EFLUENTES DE MATADEROS AVÍCOLAS EN CONSORCIO CON AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

ANAEROBIC TREATMENT OF POULTRY SLAUGHTERHOUSE EFFLUENTS IN CONSORTIUM WITH DOMESTIC SEWAGE

Elzio Lima da Silva Júnior[1] e Selma Cristina da Silva[2].

[1]Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFRB. Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, elziojunior.97@gmail.com, no de ORCID 0009-0003-1868-7306
[2]Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos pela UFBA. Mestre em Recursos Hídricos pela UFCG. Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Departamento pela UnB. Pós Doutora em tratamento de efluentes pela UFMG, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas/BA, Brasil, selma@ufrb.edu.br, no de ORCID: 0000-0002-0387-6943

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a biodegradabilidade anaeróbia de efluentes de um frigorífico de frango e seu co-tratamento com esgoto doméstico, foi realizado o presente estudo com amostras coletadas na cidade de Cruz das Almas-BA. A pesquisa utilizou o efluente bruto, sem prévia remoção de gordura, e o analisou em reatores experimentais. A caracterização físico-química dos efluentes incluiu parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos, pH e alcalinidade. Foram montados reatores para testar a biodegradabilidade do efluente puro e a eficiência da co-digestão em diferentes proporções com esgoto doméstico (50/50 e 70/30). Os reatores foram preenchidos com misturas (efluente frango, lodo e esgoto) de diferentes proporções: R1 - Efluente diluído (100%); R2 - Efluente bruto (100%); R3 - Efluente de frango (50%) + Esgoto bruto (50%); R4- Efluente (70%) + esgoto bruto (30%); R5- Glicose (100%). Os reatores R1 e R5 foram utilizados no teste de biodegradabilidade anaeróbia sem uso de solução nutritiva, a fim de observar se apenas os nutrientes presentes no efluente de abate de frango e no inóculo (lodo), seriam suficientes para os testes de biodegradabilidade. Os ensaios constataram a elevada biodegradabilidade anaeróbia do efluente do frigorífico, que alcançou 98%. Um achado importante foi que os nutrientes presentes no próprio efluente e no lodo de esgoto (utilizado como inóculo) foram suficientes para o bom desempenho dos microrganismos, não sendo necessária a adição de soluções nutritivas. Com relação ao co-tratamento, observou-se que para a efetividade do processo é necessário um maior volume de

lodo (inóculo) ou misturar o efluente com esgoto doméstico em proporção igual ou superior à do efluente de abate. O tratamento do efluente bruto com pouco inóculo mostrou-se menos eficiente, possivelmente pelo elevado teor de gordura, que dificulta a biodegradação.

.

Palavras-chave: Reatores anaeróbios, matadouros de aves, lodo de esgoto, biodegradabilidade anaeróbia

RESÚMEN

Para evaluar la biodegradabilidad anaeróbica de efluentes de un matadero de pollos y su co-tratamiento con aguas residuales domésticas, este estudio se llevó a cabo con muestras colectadas en la ciudad de Cruz das Almas, Bahía. La investigación utilizó efluente crudo, sin desengrasado previo, y lo analizó en reactores experimentales. La caracterización fisicoquímica de los efluentes incluyó parámetros como Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos, pH y alcalinidad. Los reactores se configuraron para probar la biodegradabilidad del efluente puro y la eficiencia de la co-digestión en diferentes proporciones con aguas residuales domésticas (50/50 y 70/30). Los reactores se llenaron con mezclas (efluente de pollo, lodos y aguas residuales) de diferentes proporciones: R1 - Efluente diluido (100%); R2 - Efluente crudo (100%); R3 - Efluente de pollo (50%) + Aguas residuales crudas (50%); R4 - Efluente (70%) + Aguas residuales crudas (30%); R5 - Glucosa (100%). Los reactores R1 y R5 se utilizaron en la prueba de biodegradabilidad anaeróbica sin el uso de una solución nutritiva, para determinar si los nutrientes presentes en el efluente de sacrificio de pollos y en el inóculo (lodo) por sí solos serían suficientes para las pruebas de biodegradabilidad. Las pruebas confirmaron la alta biodegradabilidad anaeróbica del efluente del matadero, alcanzando el 98%. Un hallazgo importante fue que los nutrientes presentes en el propio efluente y en el lodo de depuradora (utilizado como inóculo) fueron suficientes para que los microorganismos prosperaran, eliminando la necesidad de la adición de soluciones nutritivas. Con respecto al cotratamiento, se observó que para que el proceso sea efectivo, se requiere un mayor volumen de lodo (inóculo) o una mezcla del efluente con aguas residuales domésticas en una proporción igual o mayor que la del efluente de sacrificio. El tratamiento de efluentes crudos con bajo inóculo resultó menos eficiente, posiblemente debido al alto contenido de grasa, que dificulta la biodegradación.

Palabras clave: Reactores anaeróbicos, mataderos de aves de corral, lodos de depuradora, biodegradabilidad anaeróbica

ABSTRACT

To evaluate the anaerobic biodegradability of effluents from a chicken slaughterhouse and their co-treatment with domestic sewage, this study was carried out with samples collected in the city of Cruz das Almas, Bahia. The research used raw effluent, without prior fat removal, and analyzed it in experimental reactors. The physicochemical characterization of the effluents included parameters such as Chemical Oxygen Demand (COD), solids, pH, and alkalinity. Reactors were set up to test the biodegradability of pure effluent and the efficiency of co-digestion in different proportions with domestic sewage (50/50 and 70/30). The reactors were

filled with mixtures (chicken effluent, sludge, and sewage) of different proportions: R1 - Diluted effluent (100%); R2 - Raw effluent (100%); R3 - Chicken effluent (50%) + Raw sewage (50%); R4 - Effluent (70%) + Raw sewage (30%); R5 - Glucose (100%). Reactors R1 and R5 were used in the anaerobic biodegradability test without the use of a nutrient solution, to determine whether the nutrients present in the chicken slaughter effluent and in the inoculum (sludge) alone would be sufficient for the biodegradability tests. The tests confirmed the high anaerobic biodegradability of the slaughterhouse effluent, reaching 98%. An important finding was that the nutrients present in the effluent itself and in the sewage sludge (used as inoculum) were sufficient for the microorganisms to thrive, eliminating the need for the addition of nutrient solutions. Regarding co-treatment, it was observed that for the process to be effective, a larger volume of sludge (inoculum) or a mixture of the effluent with domestic sewage in a proportion equal to or greater than that of the slaughter effluent is required. Treatment of raw effluent with a low inoculum proved less efficient, possibly due to the high fat content, which hinders biodegradation.

Keywords: Anaerobic reactors, poultry slaughterhouse, sewage sludge, anaerobic biodegradability

INTRODUÇÃO

A indústria avícola brasileira consolidou sua posição de liderança global, destacando-se como a maior exportadora e a segunda maior produtora de carne de frango do mundo. Em 2023, a produção nacional atingiu 14,9 milhões de toneladas, um reflexo direto da contínua modernização tecnológica, aprimoramento genético e rigorosos controles sanitários implementados ao longo das últimas décadas (ABPA, 2024).

O expressivo crescimento do setor é um pilar para a economia do país, gerando empregos e divisas. Contudo, essa expansão impõe desafios ambientais significativos. A indústria de abate de aves é caracterizada pelo alto consumo de água, gerando efluentes complexos com elevada carga poluidora. Esses efluentes apresentam altas concentrações de matéria orgânica, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo, exigindo tratamento robusto antes do descarte para evitar a poluição de corpos hídricos (KUMAR; CHOPRA, 2023).

Diante disso, a legislação ambiental determina a necessidade de tratamento adequado. A seleção do método mais eficaz depende da caracterização físico-química detalhada do efluente. Processos biológicos, como a digestão anaeróbia, são frequentemente empregados devido à alta carga orgânica. Este método se destaca por reduzir a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e ainda permitir a recuperação de energia através da produção de biogás, alinhando o tratamento à sustentabilidade e à economia circular (DELLOMONACO et al., 2021).

Entre as tecnologias de tratamento biológicas, existem os digestores anaeróbios, que são uma opção atraente devido ao baixo custo, menor demanda de área, produção reduzida de lodo e geração de biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia; e são adequados para efluentes de abatedouros avícolas devido à sua capacidade de reduzir cargas orgânicas (RODRIGUES et al., 2016).

Assim, o estudo teve como objetivo avaliar a biodegradabilidade anaeróbia dos efluentes de abate de aves, misturados ou não com esgoto doméstico bruto de forma a observar se o co-tratamento com esgotos domésticos acelerara o processo de biodigestão dos efluentes de abate de aves. A relevância da pesquisa é dada pela necessidade de tecnologias que visam a melhoria e facilidades nos processos de tratamento de esgotos, principalmente em comunidades não atendidas por sistemas de tratamento centralizados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o experimento foi utilizado um lodo anaeróbio como inóculo. O efluente, foi coletado no ponto correspondente a etapa de evisceração do processo de produção de frangos por abate. Nesta etapa ocorre a retirada de vísceras, intestinos e demais miúdos da ave. Foram utilizados recipientes plásticos de cinco litros devidamente identificados e transportados em caixas térmicas até o laboratório. O efluente foi conservado a 4ºC até o momento da montagem do aparato experimental em escala de bancada que ocorreu em até 24h da coleta.

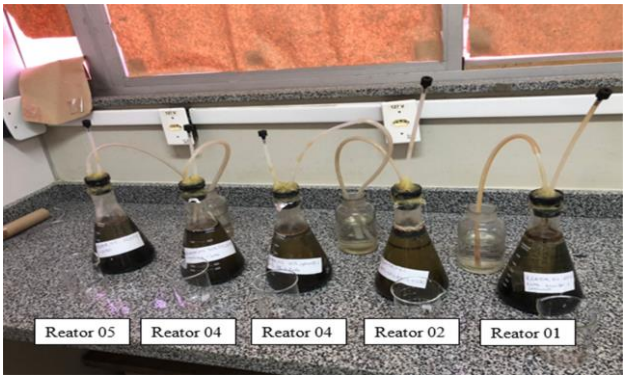
A caracterização das amostras utilizadas no experimento foi realizada a partir dos parâmetros físico-químicos: Alcalinidade, pH, turbidez, cor, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais, Sólidos Suspensos e Sólidos Dissolvidos.

Para medição do pH e da turbidez foram utilizados o pHmetro e o turbidímetro, respectivamente, onde as medições foram realizadas no início e ao final do experimento. A cor foi determinada pelo método espectrofotométrico.

A DQO e a série de sólidos foram determinadas pelo método do refluxo fechado obedecendo os procedimentos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

Os reatores experimentais eram representados por Erlenmeyers de 1 L (Figura 1). Em cada um deles foi adicionado 150 mL de do inóculo lodo lavado com solução osmótica a 0,05%,

e posteriormente os efluentes já misturados ou diluídos.



R1- Efluente diluído (100%);
R2- Efluente bruto (100%);
R3- Efluente de frango (50%) + Esgoto bruto (50%);
R4- Efluente (70%) + esgoto bruto (30);
R5- Glicose (100%).

Figura 1. Reatores anaeróbios utilizados nos ensaios experimentais.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os percentuais dos volumes do esgoto, do efluente de abate de aves e da glicose, utilizados nos ensaios, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Percentuais (%) do volume do reator ocupado com cada efluente, inoculados com 150 mL de lodo

Reator	% do volume total do reator		Glicose (controle)
	Esgoto bruto	Efluente abate aves	
R1	0	100*	-
R2	0	100	-
R3	50	50	-
R4	70	30	-
R5	0	0	100

Legenda: R1*- Efluente diluído (100%)); R2- Efluente bruto (100%); R3- Efluente de frango (50%) + Esgoto bruto (50%); R4- Efluente (70%) + esgoto bruto (30); R5- Glicose (100%).

Fonte: Elaboração própria, 2025

O pH das misturas de cada reator, foi corrigido para 7,0 com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1 N, antes de vedar os reatores a fim de mantê-lo na faixa adequada para o desempenho dos microrganismos, que varia de 6,3 a 7,8 (PECORA, 2006).

A DQO foi monitorada a cada 3 dias na semana por 6 semanas e, posteriormente a frequência passou a semanal, até ocorrer o momento das concentrações de DQO.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-química do esgoto bruto e efluente de abate, caracterizadas antes da montagem do experimento, podem ser observadas na **tabela 2**.

Tabela 2. Características físico-químicas do esgoto bruto e efluente de abate de aves

Parâmetros	Unidade	Água residuária	
		Esgoto bruto	Efluente abate
Alcalinidade	$mgCaCO_3/L$	363,80	115,16
Cor	uC	1.498,89	15.955,56
DQO	mg/L	1.086,00	7.602,00
pH	-	7,33	4,72
Sólidos totais (ST)	mg/L	734,00	8.274,67
Sólidos totais fixos (STF)	mg/L	298,00	1.166,00
Sólidos totais voláteis (STV)	mg/L	436,00	7.108,67
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	214,6	2.806,67
Sólidos suspensos fixos (SSF)	mg/L	71,2	60,00
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	mg/L	143,4	2.746,67
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	mg/L	519,4	5.468,00
Sólidos dissolvidos fixos (SDF)	mg/L	226,8	1.106,00
Sólidos dissolvidos voláteis (SDV)	mg/L	292,6	4.362,00
Temperatura (T)	°C	22,13	23,10
Turbidez	UNT	53,36	530,99

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A alcalinidade do esgoto encontrava-se dentro da faixa considerada adequada para sistemas biológicos (Von Sperling, 2005). O pH do esgoto doméstico foi de 7,3, valor compatível com a faixa ideal para o crescimento de microrganismos, que varia entre 5,5 e 7,5 (Metcalf & Eddy, 1991). No entanto, o pH do efluente de abate apresentou caráter ácido, sendo necessário o seu ajuste prévio à realização do experimento. A elevada coloração observada no efluente proveniente da etapa de evisceração deve-se à presença de sangue das aves, enquanto a turbidez está associada à lavagem das vísceras.

As concentrações de DQO das amostras do efluente de abate e da glicose, sem adição de solução nutritiva, inoculados com o lodo anaeróbio de esgoto doméstico e as eficiências de remoção, ao longo dos dias de monitoramento nos reatores são apresentados na **Figura 2.**

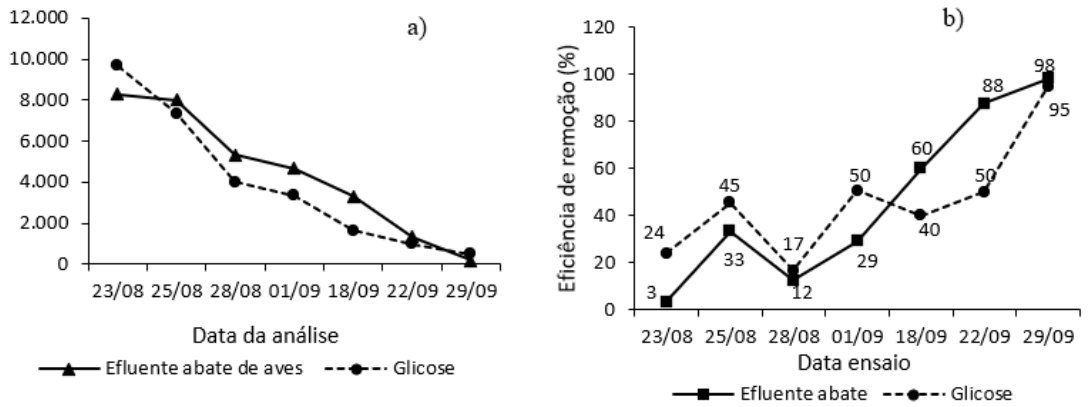


Figura 2. Decaimento das concentrações de DQO remanescentes (a) e eficiência de remoção (b) do efluente de abate de aves em comparação com a glicose ao longo do tempo.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os ensaios de biodegradabilidade anaeróbia, mostraram que o inóculo de lodo dispensa uso de soluções nutritivas. Para o efluente de abate, a remoção da carga orgânica foi gradual, atingindo maior eficiência no final. Assim, efluentes agroindustriais não necessitam de solução nutritiva, como utilizado por outros autores (AQUINO *et al*., 2006), pois o lodo atende às demandas nutricionais dos microrganismos, otimizando a degradação da matéria orgânica. A eficiência do efluente de abate (98%) superou a da glicose (95%), devido, possivelmente, à maior quantidade de nutrientes e microrganismos nos reatores de abate de frango.

As eficiências globais (%) de remoção de DQO dos efluente de abate de aves bruto (R2) e misturas com esgoto doméstico bruto (R3 e R4) após o tratamento, podem ser observadas na **Figura 3**.

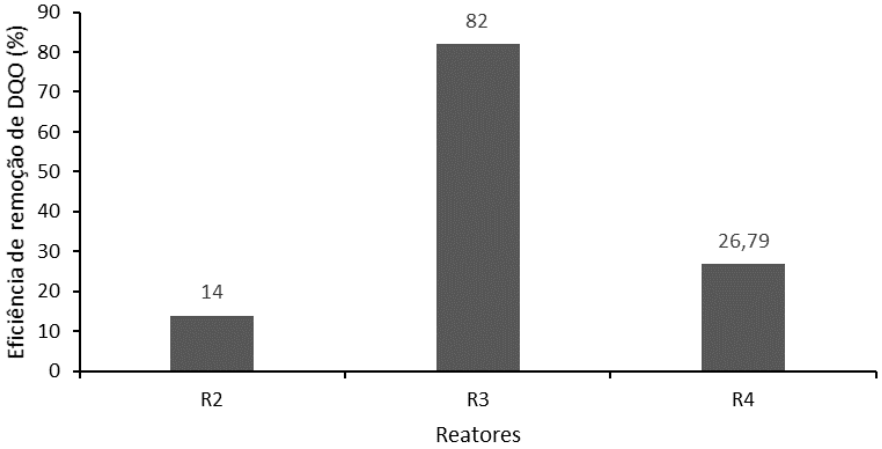


Figura 3. Eficiência global (%) de remoção de DQO dos reatores anaeróbios em escala de bancada tratando: R2- Efluente bruto (100%); R3- Efluente de frango (50%) + Esgoto bruto (50%); R4- Efluente (70%) + esgoto bruto (30%).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

No co-tratamento com esgoto doméstico, observou-se um aumento na eficiência de remoção, diretamente proporcional à quantidade de esgoto misturado (**Figura 3**). Com proporções iguais (50%) de esgoto e efluente, a eficiência atingiu 80%, enquanto com 30% de esgoto e 70% de efluente permaneceu baixa. Para um percentual menor de esgoto, deve-se aumentar a concentração de SSV no reator na faixa de 2,5 a 5g/L.

Nota-se no reator R2, no com efluente bruto, o volume do inóculo foi desproporcional a carga de DQO do efluente de abate de aves, o que interferiu na eficiência de remoção final. No reator com proporção igual de efluente de abate de aves e esgoto (R3), houve uma diluição do efluente, que juntamente com os microrganismos presente nos esgotos, proporcionou a melhor biodegradabilidade, aumentando a eficiência de remoção do efluente de abate. No reator com menor volume de esgoto (R4), a eficiência aumentou, mas não foi expressiva (**Figura 3**). Logo, para manter uma elevada biodegradabilidade, é importante

manter a concentração de lodo adequada no reator ou manter um volume de esgoto igual ou superior ao do efluente de abate de aves.

As características dos reatores afluentes e efluentes nas misturas no início e ao fim do experimento, após 19 dias (R2 e R4) e 26 dias (R3) podem ser observados na **Tabela 3.**

Tabela 3. Características físico-químicas do esgoto bruto e efluente de abate de aves

Parâmetros	Afluente			Efluente		
	R2	R3	R4	R2	R3	R4
Cor (UC)	17.788,89	7.088,89	6.533,33	1.802,22	1.102,22	1.780,00
Turbidez (NTU)	158,04	124,48	138,98	26,50	17,88	50,89
Alcalinidade – AT (mgCaCO3/L)	856,00	749,00	695,50	1.498,00	1.498,00	1.605,00
pH	6,9	6,9	6,8	7,4	7,8	7,8

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Observa-se, que embora o reator R2, que não recebeu esgoto tenha apresentado desempenho de remoção de cor levemente superior ao R3, que recebeu proporções iguais de efluente de abate e esgoto, a remoção de turbidez foi semelhante ao do R2, e, ambos tiveram desempenho superior ao R4.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios demonstraram que, apesar da elevada concentração de lipídeos no efluente proveniente do abate de aves, sua biodegradabilidade é considerada alta. Os microrganismos presentes tanto no próprio efluente quanto no lodo (inóculo) mostraram-se suficientes para promover a degradação da matéria orgânica, sem necessidade do acréscimo de solução nutritiva durante os testes de biodegradabilidade. Entretanto, para assegurar uma eficiência elevada, é fundamental ajustar a quantidade de lodo adicionada em função da carga orgânica (DQO) do efluente. Quando a demanda por lodo for muito alta, alternativas viáveis incluem o uso de solução nutritiva para potencializar a atividade microbiana ou o co-tratamento do efluente de abate com esgoto doméstico, desde que o volume de esgoto seja igual ou superior ao volume do efluente gerado no abate.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo incentivo às pesquisas que possibilitaram a publicação desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal). 2024. *Relatório Anual 2024*.

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), e Water Environment Federation (WEF). 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23ª ed. Washington, DC: American Public Health Association.

Aquino, F. S., C. A. L. Chernicharo, E. Foresti, M. L. F. Santos, e L. O. Monteggia. 2007. "Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 12, n. 2: 192–201.

DelloMonaco, C., Tonelli, G., e Domingues, N. 2021. "Anaerobic digestion of poultry slaughterhouse wastewater: The effects of the organic loading rate on the biogas production." *Journal of Water Process Engineering* 43: 102220.

Kumar, M., e A. K. Chopra. 2023. "A review on treatment of poultry slaughterhouse wastewater." *Water and Environment Journal* 37 (1): 3–21.

Pecora, V. 2006. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

Rodrigues, L. S., B. C. Lopes, C. A. Lima, M. C. Ribeiro, R. P. Santos, e I. J. Silva. 2016. "Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio." *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 68, n. 1: 97–103.

Von Sperling, Marcos. 2005. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039806

Tratamento de Efluente Industrial em Protótipo de Sistema Wetland Vertical

Tratamiento de Efluentes Industriales en Prototipo de Sistemas Wetland Verticales

Industrial Effluent Treatment in Vertical Wetland System Prototype

José Gabriel Mendes dos Santos[1], Monalisa Rita Barreto[2], André Oliveira S ilva[3] e Francisco Rodrigo de Lemos Caldas[4].

[1]Mestrando, Instituto federal do ceará - campus Juazeiro do Norte - Ce, Brasil, gabo.mendes97@gma il.com, 0009-0005-8469-615X;

[2]Graduando ,Instituto federal do ceará - campus Juazeiro do Norte - Ce, Brasil, monaliza.rita.silva40@aluno.ifce.edu.br, 0009-0003-2337-2755;

[3]Discente de curso técnico integrado, Instituto federal do ceará - campus Juazeiro do Norte - Ce, Brasil, oliveirasilvaandre072@gma il.com, 0009-0009-2843-6627;

[4]Doutor, Instituto federal do ceará - campus Juazeiro do Norte - Ce, Brasil, rodrigo.lemos@ifce.edu.br, 0000-0002-5376-849X.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

Wetlands construídos de fluxo vertical são alternativas sustentáveis para o tratamento de efluentes, combinando processos físicos, químicos e biológicos. Este estudo avaliou a eficiência de três protótipos operando com tempos de detenção hidráulica (TDHs) de 24h, 12h e 8h no tratamento de efluente industrial, analisando turbidez, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, pH e demanda química de oxigênio (DQO). Foi realizada a avaliação da senescência da *Typha domingensis* no sistema de 12h, visando compreender a resposta vegetal ao regime de operação.Os sistemas foram montados em protótipos idênticos, cultivados com *Typha domingensis* e preenchidos com substratos filtrantes. O efluente bruto, previamente caracterizado, foi aplicado às unidades, e as amostras tratadas foram analisadas conforme o efluente bruto. A senescência foi avaliada por fotodocumentação semanal, observando coloração foliar, turgescência, necroses, emissão de folhas, alterações morfológicas e textura.Todos os sistemas apresentaram alta eficiência na remoção de turbidez e DQO(>97%). O TDH de 12h obteve o melhor desempenho global, com remoções de 99,82% para turbidez, 99,86% para DQO e completa remoção de fósforo, além de 70% para nitrato. O sistema de 24h destacou-se na remoção de amônia (90%) e o de 8h na remoção de nitrato (90%). No sistema de 12h, a senescência apresentou sinais iniciais de estresse, seguidos de recuperação fisiológica a partir da terceira semana, com intensificação da cor verde e emissão de novas folhas.Conclui-se que o TDH de 12h conciliou alta eficiência de remoção com estabilidade da vegetação, sendo uma alternativa viável para tratamento de efluentes industriais.

Palavras-chave: Águas residuárias, tecnologia, saneamento.

RESÚMEN

Los humedales construidos de flujo vertical son alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, combinando procesos físicos, químicos y biológicos. Este estudio evaluó la eficiencia de tres prototipos que operaban con tiempos de retención hidráulica (TRHs) de 24h,12h y 8h en el tratamiento de aguas residuales industriales, analizando turbidez, amoníaco, nitrito, nitrato, fosfato, pH y demanda química de oxígeno (DQO). Se evaluó la senescencia de *Typha domingensis* en el sistema de 12h, con el objetivo de comprender la respuesta vegetal al régimen de operación. Los sistemas fueron montados en prototipos idénticos, cultivados con *Typha domingensis* y rellenos con sustratos filtrantes. El agua residual cruda, previamente caracterizada, fue aplicada a las unidades, y las muestras tratadas se analizaron con los mismos parámetros que el efluente crudo. La senescencia se evaluó mediante fotodocumentación semanal, observando la coloración foliar, la turgencia, las necrosis, la emisión de hojas, los cambios morfológicos y la textura. Todos los sistemas presentaron alta eficiencia en la eliminación de turbidez y DQO(>97%). El TRH de 12h obtuvo el mejor rendimiento global, con eliminaciones del 99,82% para turbidez, 99,86% para DQO y remoción completa de fósforo, además de un 70% de remoción de nitrato. El sistema de 24h se destacó en la eliminación de amoníaco (90%) y el de 8 h en la eliminación de nitrato (90%). En el sistema de 12h, la senescencia mostró signos iniciales de estrés, seguidos de una recuperación fisiológica a partir de la tercera semana, con intensificación del color verde y emisión de nuevas hojas. Se concluye que el TRH de 12h combinó una alta eficiencia de eliminación con la estabilidad de la vegetación, constituyendo una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Palabras clave: Aguas residuales, tecnología, saneamiento.

ABSTRACT

Vertical flow constructed wetlands are sustainable alternatives for wastewater treatment, combining physical, chemical, and biological processes. This study evaluated the efficiency of three prototypes operating with hydraulic retention times (HRTs) of 24h,12h, and 8h in the treatment of industrial wastewater, analyzing turbidity, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, pH, and chemical oxygen demand (COD). The senescence of *Typha domingensis* was also assessed in the 12h system to understand the plant's response to the operational regime. The systems were assembled in identical prototypes, cultivated with *Typha domingensis* and filled with filter substrates. The raw wastewater, previously characterized, was applied to the units, and the treated samples were analyzed using the same parameters as for the raw effluent. Senescence was evaluated through weekly photodocumentation, observing leaf coloration, turgor, necrosis, leaf emergence, morphological changes, and texture. All systems showed high efficiency in turbidity and COD removal(>97%). The 12h HRT achieved the best overall performance, with removals of 99.82% for turbidity, 99.86% for COD, and complete phosphorus removal, in addition to 70% nitrate removal. The 24h system excelled in ammonia removal (90%), while the 8 h system achieved the highest nitrate removal (90%). In the 12h system, senescence showed initial signs of stress, followed by physiological recovery from the third week onward, with intensified green coloration and new leaf emergence.It is concluded that the 12h HRT combined high removal efficiency with vegetation stability, representing a viable alternative for industrial wastewater treatment.

Keywords: Wastewater, technology, sanitation.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água e os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de efluentes industriais têm gerado preocupações em escala global. A indústria é responsável por lançar cargas significativas de poluentes em corpos hídricos, exigindo soluções que conciliam eficiência, baixo custo e sustentabilidade ambiental (Vymazal et al., 2021). Nesse contexto, tecnologias naturais de tratamento, como os wetlands construídos, têm se destacado como alternativas promissoras.

Os wetlands construídos (Constructed Wetlands – CWs) são sistemas bioengenheirados que simulam zonas úmidas naturais, utilizando plantas, microrganismos, substratos e processos físico-químicos para promover a depuração de águas residuais (Vymazal, 2021). Dentro desse grupo, os sistemas de fluxo vertical (Vertical Flow Constructed Wetlands – VFCWs) têm apresentado resultados superiores na remoção de matéria orgânica e nutrientes (Zhao et al., 2025). Esse design permite maior difusão de oxigênio e favorece a atividade microbiana aeróbia, essencial para a degradação da matéria orgânica e oxidação de amônia, por exemplo (Masharqa et al., 2023). Além disso, o contato direto entre a zona radicular das plantas e o efluente estimula processos como absorção de nutrientes e filtragem mecânica.

Outro fator muitas vezes negligenciado é o estado fitossanitário das plantas utilizadas no sistema, que pode ser afetado pela carga orgânica, pela qualidade do efluente e pelo próprio TDH. A senescência, caracterizada pela perda de vigor vegetal, necroses foliares, queda de folhas e alterações na textura e cor, pode indicar estresse ambiental ou sobrecarga do sistema (Zhang et al., 2022).

Diante desse panorama, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um sistema de wetland de fluxo vertical aplicado ao tratamento de efluente industrial sob três diferentes tempos de detenção hidráulica (24h, 12h e 8h). Além da análise físico-química tradicional, este trabalho inclui uma abordagem complementar de análise sensorial baseada na fotodocumentação das plantas, com foco na senescência vegetal ao longo de cinco semanas de operação, todos os estudos foram desenvolvidos dentro das imediações do IFCE - *campus* Juazeiro do Norte - CE.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

A caracterização foi realizada com o objetivo de determinar os parâmetros físico-químicos e avaliar a carga poluente inicial antes do tratamento nos sistemas. A amostra foi coletada diretamente da fonte geradora de efluente industrial, utilizando frascos d e polietileno previamente higienizados e esterilizados, seguindo os procedimentos recomendados pela APHA (2017) para coleta de amostras líquidas. Foram determinados os seguintes parâmetros: turbidez (nefelometria), pH (eletrometria), amônia (colorimetria), nitrito (colorimetria), nitrato (colorimetria), ortofosfato (colorimetria) e demanda química de oxigênio (espectrofotometria).

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Foram utilizados três sistemas de wetland construídos de fluxo vertical (Vertical Flow Constructed Wetlands – VFCW), montados em escala de bancada. Os protótipos foram confeccionados com as mesmas dimensões e configuração interna, variando apenas no tempo de detenção hidráulica (TDH) aplicado a cada unidade: 24 horas, 12 horas e 8 horas.

Cada unidade foi montada em recipientes comerciais de polipropileno, com 26 cm de altura. O meio filtrante foi composto por camadas de brita grossa, areia lavada e uma granulometria menor de brita, dispostas em espessuras variadas.

A espécie vegetal utilizada nos sistemas foi a *Typha domingensis*, escolhida por sua ampla adaptação a ambientes alagados e comprovada eficiência na remoção de nutrientes e compostos orgânicos, como demonstrado em estudos recentes (Rigotti, Paqualini, & Rodrigues, 2021).

3. OPERAÇÃO DOS SISTEMAS

Os sistemas Wetlands de fluxo vertical foram operados em regime único utilizando volumes equivalentes de um litro entre os três protótipos. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi o parâmetro operacional variável entre as unidades, definido como 24 horas, 12 horas e 8 horas, respectivamente, para as três réplicas idênticas em estrutura e composição.

A alimentação foi realizada manualmente, com o efluente sendo vertido sobre a superfície do leito filtrante em cada sistema. Após o tempo de detenção correspondente, o efluente tratado foi coletado na saída inferior, acondicionando-se as amostras em frascos apropriados para posterior análise laboratorial. Durante o período de operação, os sistemas foram mantidos sob condições ambientais externas parcialmente controladas, com exposição à

luz natural, temperatura ambiente e sem adição de nutrientes ou condicionantes químicos ao efluente.

4. ANÁLISES LABORATORIAIS

As amostras de efluente tratadas, coletadas após a operação dos sistemas nos diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH de 24h, 12h e 8h), foram submetidas às mesmas análises laboratoriais descritas no item 2.1, a fim de verificar a eficiência de remoção dos compostos pelo sistema de tratamento.

5. AVALIAÇÃO DE SENESCÊNCIA VEGETAL

Com o objetivo de monitorar a resposta da vegetação ao efluente tratado, designou-se o protótipo de maior eficiência para uma avaliação da senescência. A espécie utilizada, *Typha domingensis*, foi observada quanto a sinais visuais de estresse e envelhecimento ao longo do período experimental.

A avaliação foi conduzida por meio de fotodocumentação em três momentos distintos (Semana 01, Semana 03 e Semana 05), utilizando imagens que foram posteriormente analisadas por inspeção sensorial e comparativa, adotando critérios visuais em função de indicadores morfológicos e fisiológicos da senescência vegetal.

Os aspectos observados na avaliação compreenderam a cor das folhas (verdejante, amarelada ou amarronzada), a turgescência (presença ou perda de rigidez dos tecidos), a intensidade e localização da queda foliar, a presença de necroses (nas bordas ou regiões centrais), a emissão de novas folhas, as alterações morfológicas (como enrugamento e arqueamento) e a textura e brilho foliar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

1.1 Caracterização do Efluente Bruto

A caracterização do efluente bruto é uma etapa fundamental para entender a carga poluente inicial e estabelecer uma base comparativa para avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento wetland. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da caracterização do efluente bruto, 2025.

Parâmetro	Unidade	Valor Obtido	Valor de Referência (CONAMA 430/2011)
Turbidez	NTU	218	100 NTU (máximo permitido)
Amônia ($N–NH_3$)	mg/L	1	Não especificado
Nitrito (NO_2^-)	mg/L	0,01	Não especificado
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	0,1	Não especificado
Fosfato (PO_4^{3-})	mg/L	>3,0	Não especificado
pH	-	5,3	5,0 – 9,0
DQO	mg/L O_2	5696±284	Não especificado

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os resultados apontam para uma carga orgânica elevada, evidenciada principalment e pela DQO de 5696±284 mg/L O_2. Valores tão altos podem provocar a depleção de oxigênio dissolvido nos corpos receptores, caso não haja tratamento adequado.

A turbidez, com valor de 218 NTU, também excede o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece 100 NTU como valor de referência para lançamento em corpos hídricos. Esse dado revela a elevada presença de sólidos em suspensão, que podem comprometer processos naturais de autodepuração no ambiente aquático. O pH de 5,3 está no limite inferior da faixa aceitável, indicando tendência à acidificação. Embora esteja tecnicamente dentro do intervalo permitido (5,0 a 9,0), essa acidez marginal sugere a necessidade de atenção ao equilíbrio químico do efluente em monitoramentos futuros.

Quanto aos nutrientes inorgânicos, como nitrito (0,01 mg/L), nitrato (0,10 mg/L) e amônia (1,0 mg/L), os valores foram relativamente baixos, mas o fosfato apresentou-se acima de 3,0 mg/L — valor que, embora não possua limite federal estabelecido, é considerado crítico em termos ambientais por sua contribuição à eutrofização. De forma geral, os resultados reforçam a necessidade de tratamento eficiente para esse efluente, priorizando a remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, especialmente o fósforo, para mitigar impactos ambientais e atender à legislação vigente.

2. ANÁLISES LABORATORIAIS

2.1 Análises Laboratoriais dos Efluentes Tratados

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises laboratoriais dos efluentes tratados após passagem pelos três sistemas wetland de fluxo vertical, operando sob diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH): 24 horas, 12 horas e 8 horas.

Tabela 2. Comparativo dos parâmetros analisados nos efluentes tratados, 2025

Parâmetro	Unidade	Efluente Bruto	TDH 24h	TDH 12h	TDH 8h
Turbidez	NTU	218	1,52	0,39	5,32
Amônia ($N–NH_3$)	mg/L	1	0,1	0,25	0,25
Nitrito (NO_2^-)	mg/L	0,01	0,01	0,1	0,1
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	0,1	0,1	0,03	0,01
Fosfato (PO_4^{3-})	mg/L	>3,0	1,5	0	0
pH	-	5,3	5,2	6,7	6,4
DQO	mg/L O_2	5696±284	23±1,05	7,75±0,37	97,75±4,49

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os resultados demonstram que todos os sistemas promoveram reduções expressivas nos parâmetros analisados, especialmente em relação à demanda química de oxigênio (DQO), turbidez e fosfato, indicadores diretos da carga orgânica e da presença de sólidos e nutrientes no efluente. O sistema com TDH de 12 horas apresentou os melhores resultados globais, com a menor DQO (7,75 mg/L), menor turbidez (0,39 NTU) e remoção total de fosfato. A concentração de nitrato também foi reduzida a 0,03 mg/L, e o pH estabilizou-se em 6,7 — dentro da faixa ideal para tratamentos biológicos (5,0 a 9,0).

O sistema de 24 horas, apesar de operar com o maior TDH, apresentou um acúmulo de fósforo residual (1,5 mg/L) e uma turbidez superior à do sistema de 12h (1,52 NTU). Contudo, ainda promoveu redução significativa da DQO para 23±1,05 mg/L, sendo eficiente na remoção de matéria orgânica. Já o sistema com TDH de 8 horas, embora tenha apresentado bons resultados em alguns parâmetros, como fósforo (0,0 mg/L) e nitrato (0,01 mg/L), foi o que teve o pior desempenho em DQO (97,75±4,49 mg/L) e turbidez (5,32 NTU).

A partir da comparação entre os três sistemas, observa-se uma relação direta entre o TDH e a eficiência de remoção de alguns parâmetros, especialmente a DQO. No entanto, a eficiência não foi linear, e o sistema de 12h se destacou por equilibrar TDH e eficiência.

2.2 Análises de eficiência dos sistemas

A Tabela 3 apresenta os percentuais de remoção obtidos para cada parâmetro analisado, comparando os três sistemas de wetland com tempos de detenção hidráulica de 24h, 12h e 8h. Os cálculos foram realizados com base nas concentrações do efluente bruto e dos efluentes tratados, segundo a metodologia descrita.

Tabela 3. Eficiência de remoção (%) dos parâmetros analisados, 2025

Parâmetro	Unidade	TDH 24h	TDH 12h	TDH 8h
Turbidez	NTU	99,30 %	99,82 %	97,56 %
Amônia ($N–NH_3$)	mg/L	90,00 %	75,00 %	75,00 %
Nitrito (NO_2^-)	mg/L	0 %	—900 %*	—900 %*
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	0 %	70,00 %	90,00 %
Fosfato (PO_4^{3-})	mg/L	≥50,00 %**	≥100,00 %	≥100,00 %
DQO	mg/L O_2	99,59 %	99,86 %	98,28 %

Fonte: Elaboração própria, 2025.

*Nota: Os valores negativos para nitrito indicam possível oxidação da amônia ou conversão intermediária durante o processo nitrificante, com concentração final maior que a inicial.
**Valor mínimo estimado, considerando concentração inicial de 3,0 mg/L como base de cálculo.

Os resultados reforçam a alta eficiência dos três sistemas, especialmente na remoção de carga orgânica (DQO) e turbidez, com todos os TDHs apresentando desempenho superior a 97 %. O sistema com TDH de 12h se destacou com a maior eficiência em DQO (99,86 %) e turbidez (99,82 %), além de completa remoção de fosfato.

A remoção de amônia foi mais eficiente no sistema com TDH de 24h, possivelment e devido ao maior tempo de oxigenação e contato com o meio filtrante, o que favorece a nitrificação. No entanto, o aumento no nitrito nas unidades de 12h e 8h sugere acúmulo intermediário nesse processo biológico, indicando necessidade de atenção para otimização do tempo de detenção ou da aeração interna. Quanto ao nitrato, o sistema de 8h apresentou o maior percentual de remoção (90 %), seguido pelo de 12h (70 %). O resultado pode indicar que, mesmo em menor tempo, o sistema favoreceu a conversão biológica via desnitrificação, o que seria interessante aprofundar em estudos futuros com monitoramento de oxigênio dissolvido.

Esses dados reforçam que o sistema com TDH de 12h representa um equilíbrio ideal, dentro da faixa investigada, entre tempo de contato e eficiência operacional, sendo o mais adequado para promover remoção efetiva de poluentes com baixo impacto à vegetação, como discutido anteriormente.

3. AVALIAÇÃO DE SENESCÊNCIA

A partir dos resultados obtidos nas análises laboratoriais, foi escolhido o sistema com TDH de 12h por apresentar melhor desempenho entre os observados. o acompanhamento foi realizado por meio de fotodocumentação e avaliação sensorial durante cinco semanas. As análises ocorreram nas semanas 01, 03 e 05 e consideraram critérios apontados no tópico 5 da metodologia descrita.

Figura 1 e 2 e 3. Fotodocumentação dos sistemas Wetlands - Semana 01,03, 05 de observação respectivamente. Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na semana 01, os registros apontaram sinais iniciais de senescência, com presença de folhas amareladas, algumas já secas, indicando clorose inicial. A maioria das folhas manteve rigidez, embora parte apresentasse flacidez parcial. O arqueamento foliar inferior começou a se manifestar, sinal comum em processos de envelhecimento ou estresse ambiental (Soliman et al., 2024). Pequenas áreas de necrose foram identificadas nas extremidades de folhas senescentes, e havia pouca emissão de novas brotações.

Na semana 03, houve uma recuperação visível do estado fitossanitário da vegetação. A coloração tornou-se mais verde e uniforme, e a turgescência geral das folhas melhorou. Ainda era observável o arqueamento das folhas mais antigas, mas sem evidência de queda. As necroses se tornaram menos frequentes, e o surgimento de novas folhas foi mais evidente, principalmente nas bordas das touceiras. A textura das folhas mostrou melhora no brilho superficial, com redução do ressecamento apical, demonstrando maior atividade metabólica (Maranho & Gomes, 2024).

Na semana 05, observou-se predomínio de folhas verdes e saudáveis, com significativa emissão de novas folhas, indicando regeneração da parte aérea. As necroses estavam restritas a poucas folhas remanescentes do primeiro ciclo, e a curvatura morfológica das folhas reduziu-se consideravelmente, com maior proporção de folhas alongadas e bem distribuídas. A textura das folhas novas passou a ser brilhante, sem sinais de ressecamento, exceto na parcela ainda arqueada, o que sugere resiliência funcional da planta frente à carga poluente (Maranho & Gomes, 2024).

O comportamento observado ao longo das cinco semanas sugere que a *Typha domingensis* foi capaz de se adaptar às condições impostas pelo efluente industrial, mantendo sua atividade fisiológica e promovendo renovação foliar contínua. Esse desempenho é fundamental para a manutenção da eficiência do sistema, uma vez que a saúde das macrófitas influencia diretamente a remoção de poluentes nos sistemas wetland (Basílico et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram bom desempenho de todos os sistemas na remoção de turbidez, amônia, DQO e fósforo. O TDH de 12h foi o mais eficiente, com remoções superiores a 99% para turbidez e DQO, eliminação total de fósforo e bons índices para compostos nitrogenados. A avaliação da senescência da Typha domingensis no sistema de 12h indicou

estresse inicial, seguido de recuperação, emissão de novas folhas, retorno da cor verde e redução de necroses, evidenciando condições adequadas ao desenvolvimento vegetal.

Conclui-se que o wetland vertical com TDH de 12h alia alta eficiência de remoção e estabilidade da vegetação, sendo viável para aplicações em escala piloto ou ampliada. Recomenda-se como ações futuras ao trabalho ampliar o tempo de monitoramento, aumentar a variação dos TDHs, além de testar outras macrófitas e tipos diferentes de efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – American Public Health Association. 2017. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 23rd ed. Washington, DC: American Water Works Association; Water Environment Federation.

Basilico, G., M. V. Casares, and L. de Cabo. 2024. "Performance of Vertical Flow Wetland in the Treatment of Medium Organic Strength Synthetic Wastewater." Discover Water 4 (77): 1–12. https://link.springer.com/article/10.1007/s43832-024-00142-5.

Maranho, M. F., e Gomes, A. L. 2024. "Morphophysiological Adaptations of Aquatic Macrophytes in Wetland-Based Sewage Treatment Systems: Strategies for Resilience and Efficiency under Environmental Stress." Plants 13, n. 20: 2870. https://doi.org/10.3390/plants13202870.

Masharqa, A., Al-Tardeh, S. M., Mlih, R., & Bol, R. 2023. "Vertical and hybrid constructed wetlands as a sustainable technique to improve domestic wastewater quality." Environmental Science and Pollution Research, 30(9), 24804–24816. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27888-4.

Rigotti, J. A., Paqualini, J. P., & Rodrigues, L. R. 2021. "Root growth and nutrient removal of Typha domingensis and Schoenoplectus californicus over the period of plant establishment in a constructed floating wetland." Environmental Science and Pollution Research, 28, 14006–14017. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11681-4.

Soliman, M. A., D. A. Ahmed, K. H. Mansour, F. A. Gharib, T. M. Galal, e D. F. Slima. 2024. "Seasonal Potential of Typha domingensis (Pers.) Poir. ex Steud to Restore Heavy Metals Contaminated Wetlands in Egypt." Environmental Challenges 10: 100–109.https://www.researchgate.net/publication/376290799_Seasonal_Potential_of_Typhadomingensis_Pers_Poir_ex_Steud_to_Restore_Heavy_metals%27_Contaminated_Wetlands_in_Egypt.

Vymazal, J. 2011. "Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience." Environmental Science & Technology, 45(1), 61–69. https://doi.org/10.1021/es101403q.

Zhang, Y., et al. 2022. "Substance accumulation of a wetland plant, Leersia japonica, during senescence and its implications for nutrient cycling in constructed wetlands." Frontiers in Plant Science, 13, 996587. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.996587.

Zhao, P., Wang, R., Li, B., et al. 2025. "Study on the optimization of hydrodynamic characteristics and pollutant removal efficiency in integrated vertical flow constructed wetlands." Scientific Reports, 15, 6017. https://doi.org/10.1038/s41598-025-88785-9.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039821

USO DE POLÍMERO ORGÂNICO SINTÉTICO E NATURAL (*MORINGA OLEIFERA* LAM.) COMO AUXILIAR DA COAGULAÇÃO COM O $AL_2(SO_4)_3$ E POLIFER

USO DE POLÍMERO ORGÁNICO SINTÉTICO Y NATURAL (MORINGA OLEIFERA LAM.) COMO AUXILIAR PARA LA COAGULACIÓN CON $AL_2(SO_4)_3$ Y POLIFER

USE OF SYNTHETIC AND NATURAL ORGANIC POLYMER (MORINGA OLEIFERA LAM.) AS AN AID TO COAGULATION WITH $AL_2(SO_4)_3$ AND POLIFER

Ianca Carneiro de Carvalho[1], Isabel Cristina Silva Maia[2] e Selma Cristina da Silva[3].

[1]Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA, Brasil, eng.iancacarneiro@gmail.com, 0009-0002-0484-9338;
[2]Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA, Brasil, isabelcsmaia1973@gmail.com, 0009-0000-5680-5930;
[3]Professora Associada (CETEC) e da Pós-graduação em Engenharia Agrícola (CCAAB), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-BA, Brasil, selma@ufrb.edu.br, 0000-0002-0387-6943.

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.

Thematic Axis 05 – Sanitary sewerage
Effluent characterization and treatment efficiency monitoring.

RESUMO

O presente estudo avaliou o tratamento físico-químico de efluentes eutrofizados por meio da clarificação com coagulantes inorgânicos [$AL_2(SO_4)_3$ e polifer] e com auxiliares orgânicos, incluindo um polímero sintético comercial (FA 920 PWG) e um polímero natural (*Moringa oleifera* Lam. (MO)). Os efluentes foram coletados em um sistema de tratamento de esgoto composto por *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV), seguido de um *wetland* de plantas flutuantes com *Pistia stratiotes* (alface d'água). Os ensaios foram realizados em equipamento "Jar Test" (Milan - Modelo JT 203), com mistura rápida com rotação (100 rpm por 30s), mistura lenta (40 rpm por 30min) e decantação (30min). Entre os auxiliares testados, a combinação do polifer com o polímero FA 920 PWG apresentou as maiores eficiências médias de remoção (EMR), atingindo 72,36% para cor e 78,45% para turbidez, superando as combinações com $AL_2(SO_4)_3$. O uso da MO como auxiliar também apresentou melhores resultados em associação com o polifer, com EMR de 66,01% para cor e de 72,87% para turbidez. Não foram observadas diferenças expressivas entre as dosagens testadas dos coagulantes auxiliares. Assim, o polímero FA 920 PWG associado ao polifer destacou-se como a alternativa mais promissora. Por outro lado, a MO, embora menos eficiente, mostrou-se viável como auxiliar natural, reforçando o potencial dos coagulantes orgânicos como complemento aos inorgânicos em determinados contextos de tratamento de efluentes domésticos.

Palavras-chave: Coagulantes auxiliares, Tratamento físico-químico, Esgoto doméstico

RESÚMEN

El presente estudio evaluó el tratamiento fisicoquímico de efluentes eutrofizados mediante clarificación con coagulantes inorgánicos [$AL_2(SO_4)_3$ y polifer] y con auxiliares orgánicos, incluyendo un polímero sintético comercial (FA 920 PWG) y un polímero natural (*Moringa oleifera* Lam. (MO)). Los efluentes se recolectaron en un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por humedales artificiales de flujo vertical (VCFW), seguido de un humedal de planta flotante con *Pistia stratiotes* (lechuga de agua). Las pruebas se llevaron a cabo en un equipo "Jar Test" (Milan - Modelo JT 203), con mezcla rápida con rotación (100 rpm durante 30 s), mezcla lenta (40 rpm durante 30 min) y decantación (30 min). Entre los auxiliares probados, la combinación de polifer y polímero FA 920 PWG presentó las mayores eficiencias de remoción promedio (ARE), alcanzando 72.36% para color y 78.45% para turbidez, superando las combinaciones con $AL_2(SO_4)_3$. El uso de MO como auxiliar también presentó mejores resultados en combinación con polifer, con ARE de 66.01% para color y 72.87% para turbidez. No se observaron diferencias significativas entre las dosis probadas de los coagulantes auxiliares. Por lo tanto, el polímero FA 920 PWG combinado con polifer se destacó como la alternativa más prometedora. Por otro lado, MO, aunque menos eficiente, resultó viable como auxiliar natural, reforzando el potencial de los coagulantes orgánicos como complemento a los inorgánicos en ciertos contextos de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Palabras clave: Coagulantes auxiliares, Tratamiento físico-químico, Aguas residuales domésticas

ABSTRACT

The present study evaluated the physicochemical treatment of eutrophicated effluents through clarification with inorganic coagulants [$AL_2(SO_4)_3$ and polifer] and with organic auxiliaries, including a commercial synthetic polymer (FA 920 PWG) and a natural polymer (*Moringa oleifera* Lam. (MO)). The effluents were collected in a sewage treatment system composed of vertical flow constructed wetlands (VCFW), followed by a floating plant wetland with *Pistia stratiotes* (water lettuce). The tests were carried out in a "Jar Test" equipment (Milan - Model JT 203), with rapid mixing with rotation (100 rpm for 30 s), slow mixing (40 rpm for 30 min) and decantation (30 min). Among the auxiliaries tested, the combination of polifer and FA 920 PWG polymer presented the highest average removal efficiencies (ARE), reaching 72.36% for color and 78.45% for turbidity, surpassing the combinations with $AL_2(SO_4)_3$. The use of MO as an auxiliary also presented better results in combination with polifer, with ARE of 66.01% for color and 72.87% for turbidity. No significant differences were observed between the tested dosages of the auxiliary coagulants. Thus, the FA 920 PWG polymer combined with polifer stood out as the most promising alternative. On the other hand, MO, although less efficient, proved viable as a natural auxiliary, reinforcing the potential of organic coagulants as a complement to inorganic ones in certain domestic wastewater treatment contexts.

Keywords: Auxiliary coagulants, Physical-chemical treatment, Domestic sewage

INTRODUÇÃO

A eutrofização de corpos hídricos tem se intensificado em função do aporte excessivo de nutrientes provenientes, sobretudo, de efluentes domésticos e industriais, comprometendo a qualidade da água e dificultando seu reúso. Entre as alternativas de tratamento, a coagulação-floculação é amplamente empregada, destacando-se o uso de coagulantes inorgânicos, como o sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] e sais mistos à base de alumínio e ferro (polifer). No entanto, a aplicação exclusiva desses insumos pode gerar elevados custos operacionais e resíduos químicos, incentivando a busca por soluções mais sustentáveis (Saleem e Bachmann, 2019; Soares et al., 2021).

Nesse contexto, polímeros orgânicos, sintéticos e naturais, têm sido investigados como auxiliares de coagulação, com potencial para reduzir a dosagem de coagulantes inorgânicos e aumentar a eficiência do processo. Entre eles, a *Moringa oleifera* Lam. (MO) se destaca como alternativa natural e de baixo impacto ambiental, enquanto polímeros sintéticos apresentam elevado desempenho técnico, ainda que associados a custos mais elevados (Saleem e Bachmann, 2019; Soares et al., 2021).

A MO possui cerca de 40% da massa de suas sementes composta por óleo comestível e proteínas catiônicas de baixo peso molecular, que, quando solubilizadas em água, atuam como coagulantes ao desestabilizar partículas coloidais e favorecer a formação de flocos (Franco et al., 2017). Esse mecanismo contribui para a redução de parâmetros essenciais, como cor aparente e turbidez, visando atender aos padrões de potabilidade e de reúso estabelecidos na legislação (Soares et al., 2021).

Os polímeros sintéticos, por sua vez, já são amplamente empregados em sistemas de tratamento, sendo classificados de acordo com sua carga elétrica em aniônicos, catiônicos e não iônicos (Locatelli, 2021). Entre suas vantagens, destaca-se a estabilidade em ampla faixa de pH, eliminando a necessidade de alcalinizantes (como hidróxido de sódio ou cal), a não introdução de metais no processo e a menor geração de lodo (Ferreira, 2023).

Diante disso, o presente estudo avaliou o tratamento físico-químico de efluentes eutrofizados por meio da clarificação com coagulantes inorgânicos [$AL_2(SO_4)_3$ e polifer] e com auxiliares orgânicos, incluindo um polímero sintético comercial (FA 920 PWG) e um polímero natural (MO).

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram utilizados efluentes provenientes de um sistema experimental de *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV) com meio de suporte formado por solo misturado com areia grossa, composto por plantas emergentes, sorgo e feijão, seguido de um *wetlands* de plantas flutuantes, com a macrófita *Pistia stratiotes* (alface d'água), também denominado tanque de macrófitas (TQM). A finalidade desse sistema era tratar efluentes domésticos provenientes de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) localizada no bairro Chapadinha do município de Cruz das Almas-Ba.

Devido ao crescimento excessivo de algas nos efluentes no tanque de macrófitas, a água passou a apresentar uma coloração esverdeada (Figura 1A), tornando-se necessária a realização de um pós-tratamento antes do seu lançamento em corpos d'água (reuso indireto) ou da sua utilização para fins não potáveis (reuso não potável), como a irrigação, a fim de evitar danos ao sistema de irrigação.

Figura 1. Tanque de macrófitas utilizado para polimento dos efluentes dos *wetlands* construídos (WCS) (A) e ensaios de "Jar Test" durante o tratamento físico-químico (B).
Fonte: Autores, 2024.

A coleta das amostras e os ensaios ocorreram nos meses de outubro e novembro de 2024. Para os ensaios, utilizou-se o equipamento "Jar Test" Milan – Modelo JT 203 (Figura 1B), considerando rotações de mistura rápida (100 rpm por 30 s) e lenta (40 rpm por 30 min), além de decantação de 30 min.

Como coagulantes inorgânicos, foram utilizados o sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] e o sal de alumínio férrico (polifer), aplicados nas dosagens de 100; 120; 140; 150; 160 e 170 mg L^{-1}. As dosagens ótimas variaram entre 150 e 170 mg L^{-1}. Posteriormente, procedeu-se novos ensaios utilizando coagulantes auxiliares (polímero comercial não iônico FA 920 PWG e a MO), visando reduzir as dosagens dos coagulantes inorgânicos. Nessa etapa, a dosagem dos coagulantes inorgânicos foi fixada em 120 mg L^{-1}, enquanto as dosagens dos coagulantes auxiliares variaram em 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 e 2,0 mg L^{-1}.

As sementes de MO foram coletadas em uma área do centro experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus de Cruz das Almas-Ba. O extrato aquoso de MO foi preparado no momento dos ensaios, uma vez que o armazenamento pode comprometer sua eficiência na redução da turbidez durante os processos de coagulação e floculação (Madrona, 2010).

As sementes foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas para redução do teor de umidade e após secagem foram descascadas e maceradas em almofariz com pistilo para a obtenção de um pó. Em seguida, foi preparada uma solução estoque com concentração de 1% m/v, utilizando água destilada. A solução foi agitada por 4 minutos e posteriormente filtrada em papel de filtro descartável (tipo usado para filtrar café).

Os ensaios foram realizados em triplicatas, e as amostras dos afluentes e efluentes foram submetidas às análises dos seguintes parâmetros: pH – pHmetro de bancada LUCA-210, cor aparente – Colorímetro da ALFAKIT, turbidez – Turbidímetro de bancada ALFAKIT E008767, alcalinidade total – Método titulométrico e condutividade elétrica – Condutivímetro de bancada W12D BEL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2, observa-se que na combinação com polímero FA 920 PWG, ambos os coagulantes principais mantiveram o valor de pH próximo ao inicial, com variações que não comprometem a qualidade do efluente tratado. A alcalinidade total (AT) e a condutividade elétrica (CE) apresentaram reduções após o tratamento, o que é esperado devido à formação de flocos que removem íons dissolvidos. O polifer apresentou maior redução na CE, o que pode ser um indicativo de maior eficiência na adsorção de substâncias dissolvidas.

Tabela 1. Características qualitativas dos efluentes do tanque de macrófitas (TQM) após o tratamento físico-químico com $Al_2(SO_4)_3$ na dosagem de 120 mg L^{-1} combinado com polímero FA 920 PWG e MO.

Parâmetros	Afluentes	Efluentes tratados					
		Dosagens (mg L^{-1})					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0
(a) Polímero FA 920 PWG							
pH	6,90±0,00	6,47±0,04	6,53±0,00	6,49±0,00	6,51±0,00	6,53±0,02	6,47±0,02
Cor (UC)	124,67±0,89	40,67±0,44	35,67±0,44	40,67±0,44	37,67±0,44	38,67±0,44	39,33±0,44
Turbidez (NTU)	8,55±0,05	2,33±0,01	2,12±0,01	2,15±0,02	2,01±0,02	2,04±0,02	2,02±0,02
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	93,23±0,82	65,01±0,82	64,40±0,00	64,40±1,23	64,40±0,00	63,17±0,82	63,79±0,82
CE (µS cm^{-1})	1612,00±0,00	1626,67±0,44	1616,00±0,00	1603,33±0,44	1602,00±0,00	1600,67±0,00	1598,67±0,89
Temp. (ºC)	23,70±0,18	23,97±0,04	24,10±0,13	24,30±0,20	24,17±0,22	24,67±0,22	23,73±0,18
(b) *Moringa oleífera* Lam.							
pH	6,44±0,00	6,43±0,00	6,41±0,01	6,39±0,00	6,28±0,00	6,31±0,01	6,41±0,01
Cor (UC)	261,33±1,11	95,67±0,44	108,67±0,44	108,00±0,00	94,67±0,89	95,67±0,44	91,67±1,11
Turbidez (NTU)	21,73±0,15	6,84±0,02	7,04±0,03	6,78±0,00	5,97±0,02	6,54±0,19	6,17±0,11
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	76,65±0,00	52,56±0,00	50,37±0,00	48,18±0,00	48,18±0,00	48,18±0,00	48,18±0,00
CE (µS cm^{-1})	1409,00±0,00	1423,00±0,00	1424,00±0,00	1390,00±0,00	1400,00±0,00	1417,00±0,00	1420,00±0,00
Temp. (ºC)	25,00±0,00	25,00±0,00	25,00±0,00	25,00±0,00	24,80±0,00	25,13±0,18	25,00±0,00

Fonte: Autores, 2024. AT = Alcalinidade total; Temp. = Temperatura.

Tabela 2. Características qualitativas dos efluentes do tanque de macrófitas (TQM) após o tratamento físico-químico com polifer na dosagem de 120 mg L^{-1} combinado com polímero FA 920 PWG e MO.

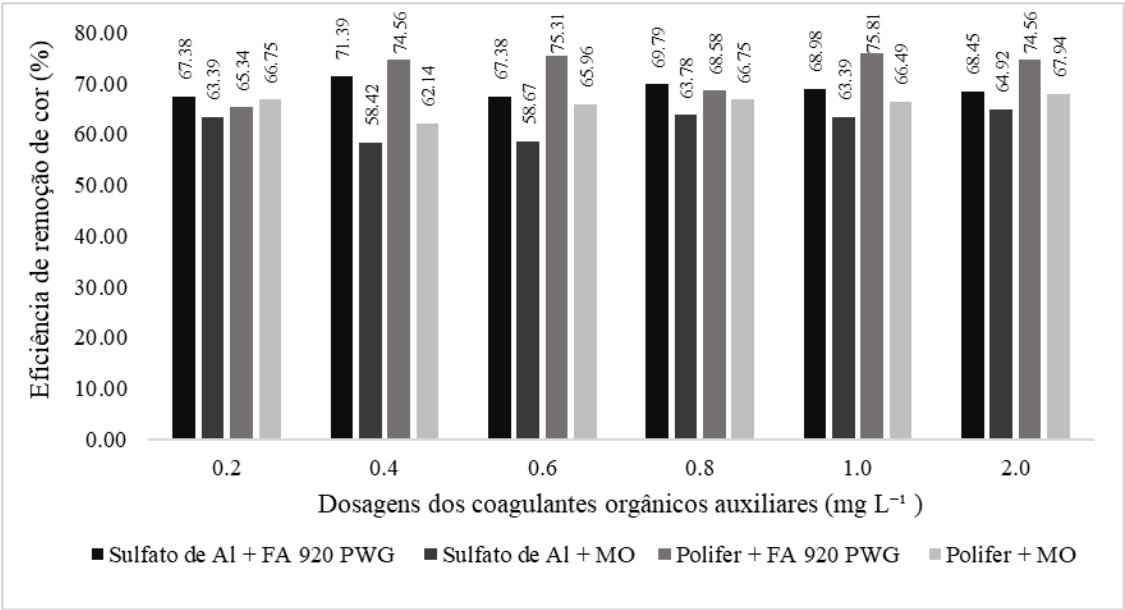
Parâmetros	Afluentes	Efluentes tratados					
		Dosagens (mg L^{-1})					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0
(a) Polímero FA 920 PWG							
pH	7,06±0,01	6,56±0,00	6,62±0,00	6,57±0,00	6,66±0,00	6,68±0,00	6,63±0,00
Cor (UC)	133,67±0,89	46,33±0,44	34,00±0,67	33,00±0,00	42,00±0,00	32,33±0,44	34,00±0,00
Turbidez (NTU)	9,48±0,01	2,98±0,01	1,59±0,01	1,67±0,01	2,45±0,01	1,77±0,01	1,79±0,00
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	93,23±0,82	69,31±1,64	68,08±0,00	68,69±0,82	68,69±0,82	66,85±1,64	66,24±0,00
CE (µS cm^{-1})	994,00±0,00	993,67±0,44	973,67±0,44	982,00±0,00	979,00±0,00	971,00±0,00	970,33±0,44
Temp. (ºC)	22,90±0,13	22,93±0,09	22,93±0,09	22,90±0,13	22,90±0,13	23,00±0,00	22,87±0,09
(b) *Moringa oleífera* Lam.							
pH	6,60±0,00	6,28±0,00	6,22±0,00	6,29±0,00	6,29±0,00	6,28±0,00	6,42±0,00
Cor (UC)	252,67±0,44	84,00±0,00	95,67±0,44	86,00±0,67	84,00±0,67	84,67±0,44	81,00±0,00
Turbidez (NTU)	20,90±0,20	5,23±0,01	6,78±0,04	5,58±0,03	5,42±0,04	5,96±0,42	5,04±0,02
AT (mg $CaCO_3$ L^{-1})	83,95±0,97	54,75±0,00	57,67±0,00	52,56±0,00	52,56±0,00	54,75±0,00	54,75±0,00
CE (µS cm^{-1})	1500,00±0,00	1492,67±4,44	1495,33±0,44	1463,67±0,44	1477,33±0,44	1482,67±0,44	1470,33±0,44
Temp. (ºC)	25,00±0,00	25,00±0,00	25,00±0,00	25,00±0,00	25,00±0,00	25,10±0,18	25,00±0,00

Fonte: Autores (2024). AT = Alcalinidade total; Temp. = Temperatura.

O pH dos efluentes tratados com MO como coagulante auxiliar foi mantido próximo ao neutro em ambas as combinações, enquanto a AT apresentou redução mais acentuada com o sulfato de alumínio, o que pode ser atribuído à maior interação desse coagulante com a alcalinidade presente na água. A CE também foi reduzida em ambas as combinações, com

valores finais semelhantes (Tabela 1 e 2).

A combinação de polifer com MO apresentou maior eficiência média de remoção (EMR) na dosagem de 2,0 mg L^{-1}, atingindo 67,94% para cor e 75,87% para turbidez. Para a associação de polifer com o polímero FA 920 PWG, a maior EMR para cor foi obtida na dosagem de 1,0 mg L^{-1} (75,81%); contudo, a dosagem de 0,6 mg L^{-1} também se mostrou adequada, uma vez que apresentou desempenho semelhante (75,31%), evidenciando diferença pouco expressiva entre as duas concentrações. Quanto à turbidez, a melhor remoção foi observada na dosagem de 0,4 mg L^{-1}, com EMR de 83,19% (Figura 2).



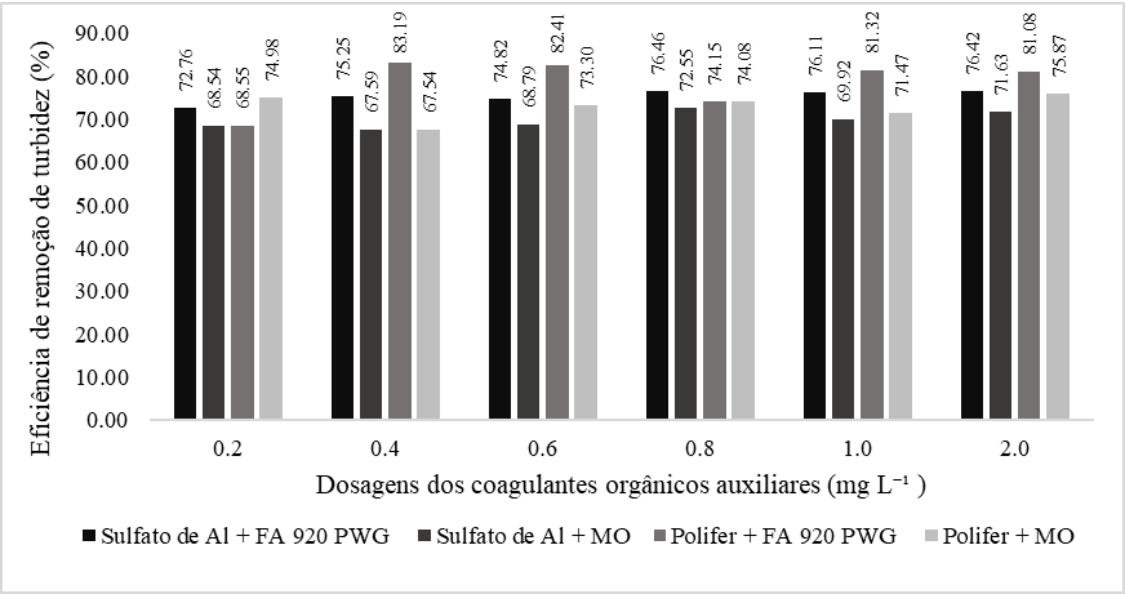


Figura 2. Efeito do gradiente de concentração dos coagulantes principais, $Al_2(SO_4)_3$ e polifer, em combinação com os coagulantes auxiliares, FA 920 PWG e MO na eficiência de remoção de cor e turbidez.
Fonte: Autores (2024).

Para a combinação de sulfato de alumínio com MO, a maior eficiência média de remoção (EMR) para cor foi obtida na dosagem de 2,0 mg L^{-1}, atingindo 64,92%. Para turbidez, o melhor resultado ocorreu na dosagem de 0,8 mg L^{-1}, com 72,55% de remoção, sendo que a dosagem de 2,0 mg L^{-1} apresentou desempenho semelhante (71,63%). Na associação de $Al_2(SO_4)_3$ com o polímero FA 920 PWG, a maior EMR para cor foi registrada na dosagem de 0,4 mg L^{-1} (71,39%). Para turbidez, a maior eficiência foi observada na dosagem de 0,8 mg L^{-1}, com 76,46%, mas a dosagem de 2,0 mg L^{-1} apresentou resultado praticamente igual (76,42%) (Figura 2). Considerando, contudo, as implicações financeiras e ambientais associadas ao uso de maiores quantidades de coagulantes, recomenda-se priorizar dosagens mais baixas que ainda garantam remoções satisfatórias.

A comparação entre MO, polímero sintético e $Al_2(SO_4)_3$, no tratamento de água, revelou que o polímero sintético apresentou maior eficiência na remoção de turbidez e cor, seguido pela MO e pelo $Al_2(SO_4)_3$, conforme destacado por Siqueira et al. (2018). Além disso, estudos sobre o uso de coagulantes orgânicos como auxiliares nos processos de coagulação e floculação aplicados à filtração direta com geotêxtil sintético indicaram que o polímero sintético, por se tratar de um produto industrializado e padronizado, apresentou maior estabilidade na remoção de turbidez em comparação à MO (Arantes et al., 2014).

No contexto do pós-tratamento de efluentes agropecuários codigeridos em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), Murakami (2021) demonstrou que os coagulantes orgânicos não apenas favoreceram a formação de agregados de maior dimensão, mas também geraram aglomerados mais resistentes, com fator de resistência superior a 90%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O polifer, quando associado ao polímero FA 920 PWG ou à *Moringa oleifera* Lam., apresentou melhor desempenho na remoção de cor e turbidez em comparação ao sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$]. Apesar de a MO ter demonstrado eficiência inferior ao polímero sintético, destacou-se como alternativa viável de origem natural, evidenciando o potencial dos coagulantes orgânicos como complementares aos inorgânicos em determinados cenários de tratamento de efluentes domésticos. Desse modo, a seleção do coagulante principal e de seus

auxiliares deve levar em conta não apenas a eficiência técnica, mas também fatores como características do efluente, objetivos do tratamento, custos e disponibilidade dos insumos. Nesse contexto, o uso combinado de coagulantes inorgânicos com auxiliares orgânicos, sintéticos ou naturais, representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis no tratamento de águas residuárias.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo incentivo às pesquisas que possibilitaram a publicação desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arantes, Camila C., Túlio A. P. Ribeiro, José E. S. Paterniani, et al. 2014. "Uso de coagulantes naturais à base de Moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido." Engenharia Agrícola 34 (4): 780–788. https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400017.

Ferreira, Suellen Ticiane. 2023. Estudo comparativo de coagulantes sulfato de alumínio e tanino no tratamento de efluente gráfico. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

Franco, Camila Silva, Magno Deyvisson Arcanjo Batista, Luiz Fernando Coutinho de Oliveira, et al. 2017. "Coagulação com semente de Moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT." Engenharia Sanitária e Ambiental 22 (4): 781–788. https://doi.org/10.1590/S1413-41522017145729.

Locatelli, João Vitor. 2021. Tratamento de água com a utilização de Moringa oleífera em associação a polímero como coagulantes. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Madrona, Grasiele Scaramal. 2010. Extração/purificação do composto ativo da semente da Moringa oleifera Lam. e sua utilização no tratamento de água para consumo humano. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Paraná.

Murakami, Marcela Ferreira. 2021. Resistência à quebra e recrescimento de aglomerados formados pela adição de tanino e Moringa oleifera Lam. como alternativa de pós-tratamento de efluentes agropecuários codigeridos em reatores UASB. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru.

Saleem, Mussarat, e Robert Thomas Bachmann. 2019. "A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment." Journal of Industrial and Engineering Chemistry 72: 281–297. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.029.

Siqueira, Ana Paula da Silva, Cleiltan Novais da Silva, Luciana Cristina Soto Herek Rezende, et al. 2018. "Análise da performance dos coagulantes naturais Moringa oleifera e

tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água." Enciclopédia Biosfera 15 (27): 18–29. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A112.

Soares, Emanuel Júnior Silva, Maria Gabriella Negromonte Barbosa, Taís Cristina da Silva Andrade, et al. 2021. "Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática." Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais 12 (2): 292–302. http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0027.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039840

WETLANDS CONSTRUÍDOS COM MEIO SUPORTE DE SOLO E FIBRA DE COCO PLANTADOS COM FEIJÃO (*PHASEOLUS VULGARIS*) NA REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM ESGOTOS DOMÉSTICOS

HUMEDALES CONSTRUIDAS CON MEDIO APOYO DE TIERRA Y FIBRA DE COCO SEMBLADOS CON FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS) EN LA ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

WETLANDS CONSTRUCTED WITH HALF-SUPPORT OF SOIL AND COCONUT FIBER PLANTED WITH BEAN (PHASEOLUS VULGARIS) IN THE REMOVAL OF NUTRIENTS FROM DOMESTIC SEWAGE

Daniely Teixeira de Carvalho[1], Joyce Kaline Sousa Santos[2], Francisco de Souza Fadigas[3] e Selma Cristina da Silva[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Centro de Ciência Exatas e Tecnológicas (CETEC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas-Ba, Brasil, danielyteixeira@aluno.ufrb.edu.br, nº de ORCID 0009-0006-7652-8786;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental-CETEC/UFRB, Cruz das Almas, Brasil, joycekaline@aluno.ufrb.edu.br, nº de ORCID 0009-0005-0473-7020;
[3]Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Professor Associado II do CETEC/UFRB, Cruz das Almas, Brasil, fadigas@ufrb.edu.br, nº de ORCID 0000-0002-6826-3611;
[4]Engenheira Sanitarista e Ambiental e Especialista em Gerenciamento de recursos pela UFBA. Mestre em Recursos Hídricos pelaUniversidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Departamento pela Univerdade de Brasília. Pós Doutora em tratamento de efluentes pela UFRCG. Professora Associada do CETEC/UFRB, Cruz das Almas, Brasil, selma@ufrb.edu.br, nº de ORCID 0000-0002-0387-6943

Eixo Temático 05 – Esgotamento sanitário
Tecnologias descentralizadas de tratamento: fossas sépticas, biodigestores, wetlands, reatores e outras soluções de baixo custo para comunidades rurais.

Eje Temático 05 – Alcantarillado sanitario
Tecnologías de tratamiento descentralizado: fosas sépticas, biodigestores, humedales, reactores y otras soluciones de bajo costo para comunidades rurales.

RESUMO

Os *wetlands* construídos (WCs) são sistemas criados artificialmente para o tratamento de águas residuárias domésticas ou industriais, aproveitando processos naturais de purificação. Eles são formados por um meio filtrante ou suporte geralmente composto por cascalho, areia grossa ou brita e por plantas aquáticas (macrófitas). Nesses sistemas, a água passa pelo material filtrante, onde ocorre a remoção de impurezas por meio da interação entre o solo, a vegetação e os microrganismos. São empregados principalmente para reduzir matéria orgânica (tratamento secundário), além de promover a remoção de nutrientes como nitrogênio total (NT) e fósforo

total (PT) (tratamento terciário). O Nitrogênio (N), presente nas formas orgânica e amoniacal, é eliminado por processos como mineralização, volatilização, desnitrificação, fixação microbiana, absorção pelas plantas e imobilização. O fósforo (P), encontrado principalmente na forma de ortofosfato, é removido por adsorção ao material filtrante e nas raízes ds plantas, assimilação pelas macrófitas e imobilização microbiana. Esse trabalho avaliou a eficiência dos *wetlands* construídos de fluxo vertical com solo e fibra de coco (WCFV-1) e sem fibra de coco (WCFV-3), plantados com feijão, na remoção de nutrientes (N e P). O desempenho dos sistemas foi avaliado por meio dos parâmetros: PT, NT e Nitrogênio Amoniacal ($N\text{-}NH_3$). A análise de nutrientes foi realizada no terceiro e quarto ciclo da cultura, sendo o terceiro ciclo com periocidade semanal e quarto com periodicidade quinzenal. No terceiro ciclo, as eficiências médias de remoção de PT, NT e $N\text{-}NH_3$ foram, respectivamente, de 62,28%, 75,33% e 73,42% (WCFV-1), e de 83,33%, 90,43% e 91,89% (WCFV-3). No quarto ciclo, de 67,71%, 82,03% e 85,19% (WCFV-1) e de 77,58%, 86,95% e 90,10% (WCFV-3). A avaliação comparativa entre as duas unidades experimentais evidenciou que o WCFV-3, caracterizado por maior tempo de detenção hidráulica (TDH), apresentou, na maioria dos ciclos analisados, eficiências superiores de remoção de PT, NT e $N\text{-}NH_3$. No WCFV-1, as eficiências foram menores, em função do menor TDH proporcionado pela presença da fibra de coco. Mesmo assim, obteve resultados consistentes, indicando que o uso da fibra de coco é possível como parte do meio suporte desses sistemas. Esses resultados reforçam a importância de considerar a interação entre configuração do sistema, TDH e desenvolvimento saudável da vegetação no desempenho global de WCs.

Palavras-chave: Saneamento básico, tratamento de esgotos, sistemas naturais, economia circular

RESÚMEN

Los humedales artificiales (HA) son sistemas creados artificialmente para el tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales, aprovechando los procesos naturales de depuración. Consisten en un medio filtrante o soporte, generalmente compuesto de grava, arena gruesa o piedra triturada, y plantas acuáticas (macrófitas). En estos sistemas, el agua pasa a través del material filtrante, donde se eliminan las impurezas mediante la interacción entre el suelo, la vegetación y los microorganismos. Se utilizan principalmente para reducir la materia orgánica (tratamiento secundario) y promover la eliminación de nutrientes como el nitrógeno total (NT) y el fósforo total (PT) (tratamiento terciario). El nitrógeno (N), presente en formas orgánicas y amoniacales, se elimina mediante procesos como la mineralización, la volatilización, la desnitrificación, la fijación microbiana, la absorción vegetal y la inmovilización. El fósforo (P), presente principalmente en forma de ortofosfato, se elimina por adsorción al material filtrante y las raíces de las plantas, asimilación por las macrófitas e inmovilización microbiana. Este estudio evaluó la eficiencia de humedales de flujo vertical construidos con tierra y fibra de coco (WCFV-1) y sin fibra de coco (WCFV-3), sembrados con frijol, en la remoción de nutrientes (N y P). El desempeño de los sistemas se evaluó utilizando los parámetros: PT, NT y nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$). El análisis de nutrientes se realizó en el tercer y cuarto ciclo de cultivo, siendo el tercer ciclo semanal y el cuarto ciclo quincenal. En el tercer ciclo, las eficiencias promedio de remoción de PT, NT y $N\text{-}NH_3$ fueron, respectivamente, 62.28%, 75.33% y 73.42% (WCFV-1), y 83.33%, 90.43% y 91.89% (WCFV-3). En el cuarto ciclo, las eficiencias de remoción fueron 67.71%, 82.03% y 85.19% (WCFV-1) y 77.58%, 86.95% y 90.10% (WCFV-3). La evaluación comparativa entre las dos unidades experimentales mostró que WCFV-3,

caracterizado por un mayor tiempo de retención hidráulica (TRH), presentó, en la mayoría de los ciclos analizados, mayores eficiencias de remoción de PT, NT y N-NH_3. En WCFV-1, las eficiencias fueron menores debido al menor TRH proporcionado por la presencia de fibra de coco. Aun así, se obtuvieron resultados consistentes, lo que indica que la fibra de coco puede ser utilizada como parte del medio de soporte en estos sistemas. Estos resultados refuerzan la importancia de considerar la interacción entre la configuración del sistema, el TRH y el desarrollo de una vegetación saludable en el rendimiento general de los WCs.

Palabras clave: Saneamiento básico, tratamiento de aguas residuales, sistemas naturales, economía circular

ABSTRACT

Constructed wetlands (WCs) are artificially created systems for treating domestic or industrial wastewater, harnessing natural purification processes. They consist of a filter media or support generally composed of gravel, coarse sand, or crushed stone, and aquatic plants (macrophytes). In these systems, water passes through the filter material, where impurities are removed through the interaction between soil, vegetation, and microorganisms. They are primarily used to reduce organic matter (secondary treatment) and promote the removal of nutrients such as total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) (tertiary treatment). Nitrogen (N), present in organic and ammoniacal forms, is eliminated through processes such as mineralization, volatilization, denitrification, microbial fixation, plant uptake, and immobilization. Phosphorus (P), found primarily in the form of orthophosphate, is removed by adsorption to the filter material and plant roots, assimilation by macrophytes, and microbial immobilization. This study evaluated the efficiency of vertical flow wetlands constructed with soil and coconut fiber (WCFV-1) and without coconut fiber (WCFV-3), planted with beans, in the removal of nutrients (N and P). The performance of the systems was evaluated using the parameters: PT, NT, and Ammoniacal Nitrogen (N-NH_3). Nutrient analysis was performed in the third and fourth crop cycles, the third cycle being weekly and the fourth cycle being biweekly. In the third cycle, the average removal efficiencies of PT, NT, and N-NH_3 were, respectively, 62.28%, 75.33%, and 73.42% (WCFV-1), and 83.33%, 90.43%, and 91.89% (WCFV-3). In the fourth cycle, the removal efficiencies were 67.71%, 82.03%, and 85.19% (WCFV-1) and 77.58%, 86.95%, and 90.10% (WCFV-3). The comparative evaluation between the two experimental units showed that WCFV-3, characterized by a longer hydraulic retention time (HRT), presented, in most of the analyzed cycles, higher PT, NT, and N-NH_3 removal efficiencies. In WCFV-1, the efficiencies were lower due to the lower HRT provided by the presence of coconut fiber. Even so, consistent results were obtained, indicating that coconut fiber can be used as part of the support medium in these systems. These results reinforce the importance of considering the interaction between system configuration, HRT, and healthy vegetation development in the overall performance of WCs.

Keywords: Basic sanitation, sewage treatment, natural systems, circular economy

INTRODUÇÃO

A experiência de estudo foi realizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Cruz das Almas – BA, no ano de 2024. O experimento teve como objetivo avaliar a eficiência de remoção de nutrientes em *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical (WCFV),

empregando dois tipos de meio suporte: solo combinado com fibra de coco e solo puro, ambos plantados com feijão (*Phaseolus vulgaris*).

A pesquisa foca no desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias descentralizadas de tratamento que se mostram viáveis para comunidades rurais, como os *wetlands* construídos (WCs). Os WCs são sistemas construídos pelo homem, que tentam imitar os processos que ocorrem nos *wetlands* naturais, estes locais estão representados em forma de manguezais, banhados e pântanos (SILVEIRA, 2023), para tratamento de águas residuárias. Por volta de 1950, houve o primeiro registro de utilização dessa tecnologia pela bióloga Limnóloga Kathe Seidel do Instituto Max Planck, na Alemanha (KADLEC; KNIGHT, 2009). Esses sistemas funcionam aproveitando a interação entre a água residuária e uma série de componentes biológicos e físicos presentes no sistema. Nesse processo, ocorrem fenômenos como sedimentação, adsorção e filtração, que são essenciais para a remoção de poluentes. Além disso, a degradação microbiológica desempenha um papel crucial na transformação de substâncias nocivas em compostos menos prejudiciais.

Os WCs podem ser classificados em diferentes modalidades de escoamento. Na modalidade de escoamento subsuperficial, destacam-se duas principais configurações: o fluxo vertical (WCFV) e o fluxo horizontal (WCFH). Cada uma dessas configurações apresenta características específicas que influenciam sua operação e eficiência no tratamento dos efluentes.

O uso dos WCs produz diversos benefícios, incluindo uma série de serviços ecossistêmicos, como resfriamento, restauração da biodiversidade e paisagismo (Stefanakis, 2019). Compreender o funcionamento desses sistemas é essencial para aprimorar suas aplicações e desenvolver estratégias ainda mais eficazes para enfrentar os desafios relacionados ao gerenciamento da água em um mundo em constante mudança.

Os WCs desempenham um papel fundamental na remoção e transformação de nutrientes presentes nas águas residuárias, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), que podem causar eutrofização dos corpos d'água.

A utilização da fibra de coco, resíduo agroindustrial abundante na região, representa uma adaptação tecnológica sustentável, que alia reaproveitamento de materiais a melhorias na eficiência de tratamento.

A importância desta experiência reside na contribuição para a engenharia sanitária e

ambiental, ao oferecer alternativas eficientes e economicamente acessíveis para a remoção de N e P, reduzindo riscos de eutrofização e impactos ambientais. Além disso, os resultados obtidos podem orientar projetos de saneamento básico adaptados às condições de pequenas comunidades e áreas rurais, promovendo soluções que integram inovação, sustentabilidade e uso de recursos locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos a partir de três unidades experimentais *de* WCs com meio suporte de solo composto por areia grossa lavada misturada com solo na proporção de 1:1,5. Contudo, um dos tanques foi utilizada uma camada de 2 cm de fibra de coco verde seca lavada. A metodologia de montagem e operação foi a mesma utilizada por Silva (2007).

Para a construção das unidades experimentais, foram utilizados os seguintes materiais: seis caixas d'água com capacidade de 250 litros cada, apresentando uma altura sem tampa de 0,50 m, diâmetro interno de 1,03 m e área superficial de 0,83 m², além de uma caixa de 1000 litros para armazenamento semanal do esgoto. Também foram empregadas tubulações de PVC para drenagem, com diâmetro de 50 mm, e tubulações de PVC para a distribuição dos esgotos, com diâmetro de 40 mm. Outras peças de PVC incluíram torneiras pretas de jardim de ½", juntas e joelhos com diâmetro de 40 mm, e registros esféricos de 40 mm. Adicionalmente, foram utilizados areia lavada, brita, gravilhão, pedrisco de jardim, bidim, tela fina, mangueiras para medição de nível e suporte de madeira.

Na primeira unidade experimental (WCFV-1) foi utilizado solo e fibra de coco verde seca lavada plantado com feijão; na segunda (WCFV-2), solo plantado com sorgo e; na terceira (WCFV-3) apenas o solo plantado com feijão. Porém, para esse trabalho estão sendo apresentados dados apenas das unidades WCVF-1 e WCVF-3, plantadas com a cultura do feijão.

O esgoto afluente as unidades WCs foram coletados na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizada em Cruz das Almas-Ba na saída de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), popularmente conhecido pela sigla em inglês, UASB. Optou-se pelo efluente pré-tratado, a fim de evitar a rápida colmatação de leito filtrante. Os esgotos foram aplicados para tratamento nas segundas, quartas e sextas-feiras, mantendo os outros dias em descanso para controlar o processo de colmatação do solo. A taxa de aplicação hidráulica foi

de 0,07m³/m².d.

A qualidade dos afluentes e efluentes foram monitoradas com base nos seguintes parâmetros: Fósforo Total (PT) pelo método do Amarelo de Vanadato; Nitrogênio Total (NT) e Nitrogênio Amoniacal ($N\text{-}NH_3$) por meio do método *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA-AWWA-WPCF, 2005), sendo os de NT e PT adaptados de acordo com a metodologia de Silva (2009).

A produção das mudas de feijão foi realizada em sacos plásticos pretos apropriados. Foram utilizados solo e adubo na proporção de 2:1. Em cada saco foram feitas covas de até 1 cm e adicionadas 5 sementes dentro da abertura (**Figura 1a**). Após a semeadura, o solo foi irrigado todos os dias pela manhã e à tarde com água de poço, para manter a umidade adequada para a germinação, que ocorreu em 4 dias e o transplantio para os WCFV foi realizado após 8 dias da semeadura (**Figura 1b**).

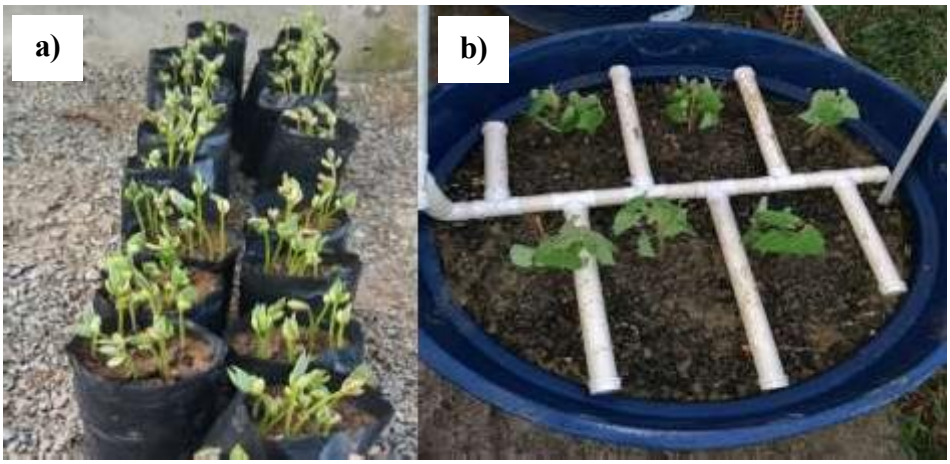


Figura 1: Mudas de feijão: a) após 4 dias de germinação; b) transplantadas para as unidades WCFV.
Fonte: Elaboração própria (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2, observam-se as concentrações médias dos nutrientes nas amostras do esgoto do UASB (afluente) e do efluente das unidades experimentais WCFV, respectivamente, no terceiro e quarto ciclo da cultura do feijão.

As concentrações de P nos efluentes dos dois ciclos do sistema ultrapassam os limites para águas superficiais, que são de 0,02 mg/L (classe 1) e de 0,01 mg/L (classe 2) para lagos e, de 0,05 mg/L (classe 1) e de 0,01 mg/L (classe 2) para rios (Brasil, 2005), podendo causar eutrofização, caso o manancial não apresente vazão suficiente para manter a concentração de P da classe do seu enquadramento, após a mistura.

Tabela 1. Caraterísticas (média ±desvio padrão) dos afluentes e efluentes dos WCFV durante o terceiro ciclo

(Jun-Jul/2024) de da cultura do feijão.

Parâmetros	Afluente	Efluente	
		WCFV-1	WCFV-3
Fósforo (P) Total (mg/L)	8,32±1,19	3,11±0,63	1,42±0,51
Nitrogênio (N)Total (mg/L)	68,69±4,29	16,81±4,46	6,51±1,49
Nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$)(mg/L)	40,61±11,77	10,62±3,83	3,29±1,56

Fonte: Elaboração própria (2024).

Tabela 2. Caraterísticas (média ±desvio padrão) dos afluentes e efluentes dos WCFV durante o quarto ciclo (Out-Nov/2024) de da cultura do feijão.

Parâmetros	Afluente	Efluente	
		WCFV-1	WCFV-3
Fósforo (P) Total (mg/L)	10,01±0,90	3,22±0,45	2,23±0,38
Nitrogênio (N)Total (mg/L)	83,16±2,86	14,91±1,57	10,85±0
Nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$)(mg/L)	49,61±1,86	7,37±1,84	4,92±0,52

Fonte: Elaboração própria (2024).

A Resolução CONAMA 430/2011 não define padrão para lançamento de P nas águas, apenas permite que órgãos ambientais o estabeleçam quando houver histórico de floração de cianobactérias em mananciais de abastecimento. Assim, o controle do lançamento de P é essencial para proteger ecossistemas aquáticos.

O limite de lançamento de $N-NH_3$ é de 20 mg L^{-1} (Brasil, 2011), respeitando-se, após a diluição, os valores máximos de 1,27 mg L^{-1} para ambientes lênticos e 2,18 mg L^{-1} para lóticos (Brasil, 2005). A descarga deve ocorrer apenas quando a vazão do rio for muito superior à do efluente.

Como alternativa ao lançamento, os efluentes podem ser reutilizados na irrigação, fornecendo água e nutrientes (N e P) e, assim, reduzindo o uso de fertilizantes minerais e a necessidade de captação de água de melhor qualidade. Contudo, o acúmulo desses nutrientes no solo precisa ser monitorado para evitar prejuízos ao cultivo e a contaminação de águas subterrâneas. Para manter a produtividade agrícola, é necessário conhecer o limite máximo de N que pode ser aplicado à cultura em questão. Para cereais como milho e trigo, recomenda-se, de acordo com a expectativa de produtividade e a análise de solo, a aplicação de 80 a 200 kg ha^{-1} de N e 40 a 120 kg ha^{-1} de P (EMBRAPA, 2014). Para leguminosas, que realizam fixação biológica de nitrogênio, as doses indicadas situam-se em torno de 20 a 80 kg ha^{-1} de N (quando necessário) e 30 a 90 kg ha^{-1} de P (EMBRAPA, 2014).

Os resultados mostraram que as eficiências médias de remoção dos nutrientes dos WCFV-1 E WCFV-3 no terceiro ciclo foram de: 62% (P Total); 75% (N Total) e 73% ($N-NH_3$) (**Figura 2a**) e no quaro ciclo de 67% (PT), 82% (NT) e 85% ($N-NH_3$) (**Figura 2b**).

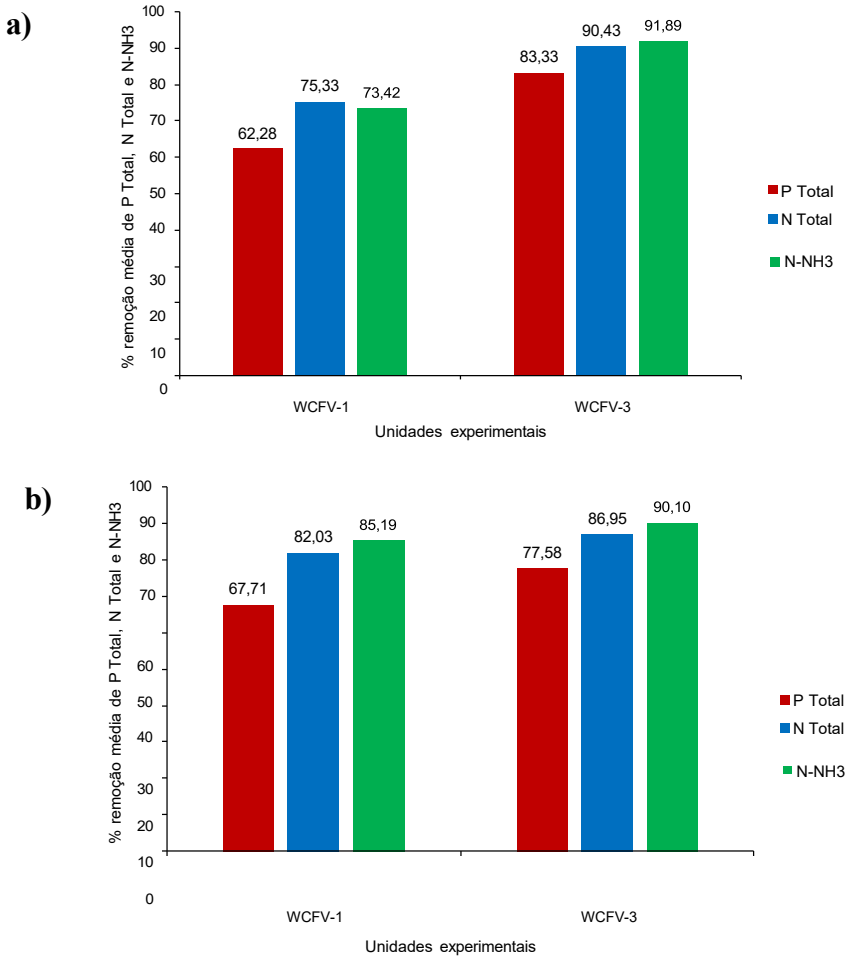


Figura 2. Eficiência média remoção de PT, NT e N-NH_3 nos efluentes ao longo do terceiro (a) e quarto (b) ciclos da cultura do feijão.
Fonte: Elaboração própria (2024).

Os resultados mostraram que a unidade experimental WCFV-3 obteve desempenho superior em comparação ao sistema WCFV-1. Essa diferença está relacionada principalmente ao maior tempo de detenção hidráulica (TDH) e às características do meio suporte, que favoreceram uma remoção mais eficiente dos nutrientes.

No WCFV-3, o maior TDH favoreceu o contato da água residuária com o biofilme microbiano e o meio filtrante, permitindo maior remoção de nutrientes. De acordo com Vymazal (2007), a eficiência de WCs está diretamente associada ao TDH, sendo este um dos parâmetros de maior impacto sobre a remoção de N e P. Além disso, o solo, quando utilizado como meio suporte, apresenta maior capacidade de adsorção e retenção de P devido à presença de óxidos de ferro e alumínio, além de favorecer a colonização microbiana (Saeed e Sun, 2017).

No caso do WCFV-1, a adição da fibra de coco aumentou a porosidade do meio, o que reduziu o TDH efetivo. Outro fator a considerar é que a fibra de coco, sendo um material orgânico, pode liberar carbono dissolvido nos estágios iniciais de operação. Essa liberação pode gerar colmatação localizada ou até mesmo alterar a dinâmica redox do leito, impactando negativamente a remoção de nutrientes (Fan *et al.,* 2022).

Comparando-se os resultados obtidos com os reportados na literatura, observa-se que os valores de remoção de NT (75–90%) e N-NH_3 (73–91%) podem ser classificados como

altos, enquanto a remoção de P-total (62–83%) situa-se em uma faixa média a alta para WCFV.

Vymazal (2007) indica que a remoção de N em WCs varia entre 30 e 90%, dependendo da configuração do sistema, enquanto a de P é geralmente mais baixa, variando entre 20 e 60%, a menos que se utilizem meios reativos específicos.

Portanto, o desempenho observado, sobretudo no WCFV-3, encontra-se entre os melhores reportados para esse tipo de tecnologia.

Outros estudos reforçam a influência do meio suporte. Saeed e Sun (2017) destacam que materiais reativos, como zeólitas, calcário e lateritas, aumentam a remoção de P, enquanto meios orgânicos como a fibra de coco apresentam desempenho variável. Waly *et al.* (2022) ainda observam que o tipo de macrófita pode afetar a eficiência, embora o papel das plantas seja geralmente secundário em relação ao meio filtrante e ao TDH.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que os WCFV, plantados com feijão, são capazes de promover elevada remoção de nutrientes, principalmente N e P. Observou-se que o sistema WCFV-3 apresentou maior eficiência, em função do maior TDH, enquanto o sistema WCFV-1 teve um desempenho menor, mas os resultados foram satisfatórios, indicando potencial de uso sustentável de um resíduo agroindustrial.

Os resultados reforçam a relevância de considerar a interação entre a configuração do sistema, o TDH e o desenvolvimento da vegetação no desempenho global dos *wetlands*. Além disso, sugerem que a fibra de coco pode ser utilizada como material complementar, desde que se avaliem ajustes de projeto que compensem a redução do TDH.

Como perspectivas futuras, recomenda-se investigar ciclos mais longos, testar diferentes espécies vegetais adaptadas às condições locais e avaliar combinações de materiais de suporte que ampliem a eficiência e a durabilidade do sistema. Tais estudos podem contribuir para consolidar os WCs como uma solução descentralizada, de baixo custo e sustentável, especialmente para comunidades rurais carentes de saneamento adequado.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE) pelo incentivo às pesquisas que possibilitaram a publicação desse trabalho. A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia orgão financiador da bolsa de iniciação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association (APHA). 2005. "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*" 21st ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

2011. "*Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.*" Diário Oficial da União, Brasília. https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/controle-de-poluicao-e-qualidade-ambiental/conama.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. *Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. "Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento."* Diário Oficial da União, Brasília. https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/controle-de-poluicao-e-qualidade-ambiental/conama.

Embrapa. 2014. *Recomendação de adubação para as principais culturas.* 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/503853/1/12676.pdf.

Fan, X., S. Yang, R. Gao, Y. Ren, and H. Xu. 2022. "Co-occurrence of Autotrophic and Heterotrophic Microorganisms in Constructed Wetlands with Coconut Coir Substrate: Implications for Nutrient Removal." *Journal of Environmental Management* 305: 114367. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114367.

Saeed, T., and G. Sun. 2017. "A Comprehensive Review on Nutrients and Organics Removal from Different Wastewaters Employing Subsurface Flow Constructed Wetlands." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 47 (4): 203–259. https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1318611.

Silva, Francisco C., ed. 2009. "*Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.*" 2ª ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.

Silva J., L., Elzio, 2024. "*Relatório de Iniciação Científica Wetlands construídos com casca de coco verde para tratamento de esgotos e reuso dos efluentes na irrigação de hortaliça.*" Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19039870

WETLANDS CONSTRUÍDOS – PARADIGMA DO SANEAMENTO ECOLÓGICO COMO ALTERNATIVA PARA AS ÁREAS RURAIS DE PETROLINA-PE

HUMEDALES CONSTRUIDOS – PARADIGMA DE SANEAMIENTO ECOLÓGICO COMO ALTERNATIVA PARA ZONAS RURALES DE PETROLINA-PE

CONSTRUCTED WETLANDS – ECOLOGICAL SANITATION PARADIGM AS AN ALTERNATIVE FOR RURAL AREAS OF PETROLINA-PE

Michele Mota Sampaio Lopes Sousa[1].

[1]Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade do Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil, eng.michelemsl@gmail.com, 0009-0006-9104-2653.

Eixo Temático 05 – Esgotamento Sanitário
Tecnologias descentralizadas de tratamento: fossas sépticas, biodigestores, wetlands, reatores e outras soluções de baixo custo para comunidades rurais.

Eje Temático 05 – Saneamiento
Tecnologías descentralizadas de tratamiento: fosas sépticas, biodigestores, humedales, reactores y otras soluciones de bajo costo para comunidades rurales.

RESUMO

Reconhecida como um dos principais polos econômicos de Pernambuco, a cidade de Petrolina tem no setor agroindustrial um dos principais vetores de seu desenvolvimento. Nesse contexto, que engloba as áreas rurais do município, torna-se evidente a necessidade de investimentos voltados à promoção de serviços essenciais nessas localidades. Com o objetivo de assegurar o acesso adequado às condições de saneamento, especialmente no que se refere ao esgotamento sanitário, e, consequentemente, contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população rural, propõe-se, como alternativa para mitigar as deficiências no tratamento de efluentes nessas áreas, a adoção de *wetlands* construídas, fundamentadas no modelo de saneamento ecológico. A partir dos dados disponibilizados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (2019), foi possível identificar as comunidades contempladas com sistemas de tratamento de esgoto. Aliando essas informações à revisão bibliográfica realizada, verifica-se que essa tecnologia apresenta viabilidade técnica e ambiental, baixo custo de implantação e manutenção, além de benefícios significativos à saúde pública.

Palavras-chave: *Wetlands*, Sistemas, Saneamento, Tratamento, Efluentes

RESÚMEN

Reconocida como uno de los principales polos económicos de Pernambuco, la ciudad de Petrolina tiene en el sector agroindustrial uno de los principales impulsores de su desarrollo. En este contexto, que abarca las zonas rurales del municipio, se evidencia la necesidad de

inversiones orientadas a la promoción de servicios esenciales en estas localidades. Con el objetivo de garantizar el acceso adecuado a condiciones de saneamiento, especialmente en lo que respecta al alcantarillado sanitario, y, en consecuencia, contribuir a la mejora de la calidad de vida de la población rural, se propone, como alternativa para mitigar las deficiencias en el tratamiento de efluentes en estas áreas, la adopción de humedales construidos, fundamentados en el modelo de saneamiento ecológico. A partir de los datos proporcionados por el Plan Municipal de Saneamiento Básico de Petrolina (2019), fue posible identificar las comunidades atendidas con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Combinando esta información con la revisión bibliográfica realizada, se verifica que esta tecnología presenta viabilidad técnica y ambiental, bajo costo de implantación y mantenimiento, además de beneficios significativos para la salud pública.

Palabras clave: Humedales, Sistemas, Saneamiento, Tratamiento, Efluentes

ABSTRACT

Recognized as one of the main economic hubs of Pernambuco, the city of Petrolina has the agro-industrial sector as one of the primary drivers of its development. In this context, which includes the municipality's rural areas, the need for investments aimed at promoting essential services in these regions becomes evident. With the objective of ensuring adequate access to sanitation conditions—particularly in regard to wastewater management—and consequently contributing to the improvement of the rural population's quality of life, the adoption of constructed wetlands, based on the ecological sanitation model, is proposed as an alternative to mitigate deficiencies in effluent treatment in these areas. Based on data provided by the Municipal Basic Sanitation Plan of Petrolina (2019), it was possible to identify the communities currently served by sewage treatment systems. When this information is combined with the literature review, it is observed that this technology offers technical and environmental feasibility, low implementation and maintenance costs, as well as significant benefits for public health.

Keywords: Wetlands, Systems, Sanitation, Treatment, Effluents

INTRODUÇÃO

O Município de Petrolina-PE se destaca como importante pólo econômico no estado de Pernambuco, como reflexo do crescimento significativo do setor agroindustrial. O desenvolvimento das atividades, relacionadas a este setor, dependem da promoção dos serviços essenciais, principalmente nas áreas rurais onde estão inseridos.

O aprimoramento da infraestrutura de saneamento básico contribui diretamente para a melhoria da qualidade de vida da população, por meio da redução da incidência de doenças de veiculação hídrica. Além dos benefícios sanitários e ambientais, a melhoria das condições de

saneamento exerce influência positiva sobre o ambiente econômico local, ao favorecer a atração de novos investimentos e fortalecer a economia regional.

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina-PE (2019), não apresentou informações detalhadas no que diz respeito ao atendimento com sistema de esgotamento sanitário, e através de visitas técnicas, realizadas durante os estudos de elaboração do referido plano, estimou-se que a cobertura desse serviço é de 0%, excetuando-se as localidades de Rajada, Izacolândia e Nova Descoberta.

Considerando que a maioria das comunidades rurais não possuem rede coletora de esgoto, lançam efluentes a céu aberto ou diretamente em corpos hídrico, e/ou utilizam práticas rudimentares para tratamento de efluentes como fossa absorvente (buraco) e fossa séptica (PETROLINA, 2019), corrobora-se a insuficiência de atendimento, por parte da concessionária responsável no município, referentes aos serviços de saneamento nas áreas rurais de Petrolina-PE. Deste modo, faz-se necessário o estudo de alternativas técnica e economicamente viáveis com intuito de tratar os efluentes para atender aos padrões de lançamento que mitiguem impactos ambientais e promovam a saúde pública.

Diante do exposto, o presente trabalho propõe como solução a implantação de *wetlands* construídos em áreas rurais, caracterizados como paradigma do saneamento ecológico, apresentando as vantagens do referido sistema através de resultados de estudos acadêmicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A economia do Município de Petrolina-PE apresenta perfil diversificado, com destaque para o setor agroindustrial. Esse segmento está inserido nas áreas rurais do município, e constitui um dos principais vetores da atividade econômica local, registrando um valor de R$ 835,9 milhões na economia local, conforme dados do IBGE (2021). Esse desempenho é fortemente impulsionado pela fruticultura irrigada, que posiciona o município entre os maiores exportadores de frutas do país.

Apesar de sua expressiva relevância econômica no contexto do estado de Pernambuco, o Município de Petrolina-PE ainda enfrenta desafios significativos no que se refere ao acesso a serviços públicos essenciais, especialmente nas zonas rurais. Essa deficiência compromete a qualidade de vida da população e evidencia a necessidade de políticas públicas voltadas à universalização do saneamento e da saúde básica no meio rural.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), aproximadamente 78,4% da população municipal possui acesso à coleta de esgoto, sendo que 100% do volume coletado é submetido a tratamento. É importante destacar que o percentual da população total atendida com esgotamento sanitário corresponde à informação declarada pelo prestador dos serviços de saneamento no município, de responsabilidade da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Contrapondo os elevados índices de cobertura de coleta e tratamento de esgoto, informados pela concessionária de saneamento que atende o Município de Petrolina-PE, os dados apresentados no último Censo Demográfico do IBGE (2022) indicam valores inferiores, onde apenas 70,51% dos domicílios permanentemente ocupados, contemplando cerca de 271.544 pessoas, são atendidos por meio de rede geral ou pluvial. Adicionalmente, 10,36% da população residia em domicílios cuja forma de esgotamento era realizada através de fossa séptica ou filtro não conectada à rede pública. Os demais 19,13% da população residiam em domicílios com sistemas de esgotamento sanitário precários ou inexistentes.

Segundo Brasil (2023), a população considerada como atendida pelo Sistema de Esgotamento Sanitário abrange não apenas a população urbana efetivamente coberta pelos serviços, mas também grupos populacionais localizados em áreas classificadas como não urbanas, desde que recebam atendimento adequado.

No que se refere aos Distritos e Agrovilas, apenas as localidades apresentadas na Tabela 1 são contemplados com tratamento coletivo de efluentes (PETROLINA, 2019).

Tabela 1. Áreas rurais com tratamento coletivo de efluentes.

Localidade	Sistema de Tratamento
Rajada	Rede coletoras em todas as ruas, 2 estações elevatórias e tratamento por lagoa
Izacolândia	Rede coletoras em quase todas as ruas, 1 estação elevatória e tratamento por lagoa
Nova Descoberta	Rede coletora em cerca de 60% das ruas e tratamento por lagoa

Fonte: Adaptado de Petrolina (2019).

Ao longo dos estudos para elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina-PE, foram realizadas visitas técnicas, onde foi possível constatar a impossibilidade de atendimento da concessionária de saneamento à população rural, acarretando no lançamento de esgoto diretamente em corpos hídricos, como riachos, ou a céu aberto. Caracterizadas pela

baixa densidade demográfica, nos casos em que há algum tipo de tratamento nas áreas rurais, este ocorre, predominantemente, por meio de fossas sépticas ou técnicas rudimentares, ficando sob responsabilidade dos proprietários dos imóveis a limpeza, através de contratação de caminhões limpa-fossa, não havendo controle ou rastreabilidade da destinação ambientalmente adequada (PETROLINA, 2019).

Com o objetivo de promover uma abordagem sustentável para o tratamento de esgoto sanitário em áreas rurais, propõe-se a implementação de sistemas de *wetlands* construídos, como paradigma do saneamento ecológico. Essa estratégia busca o fechamento dos ciclos de nutrientes, água e matéria orgânica, por meio de processos que minimizam os impactos ambientais e impulsionam a saúde pública.

Diferentemente das práticas convencionais de lançamento de efluentes em corpos hídricos, os sistemas ecológicos possibilitam a valorização dos resíduos gerados, convertendo-os em insumos agrícolas, como fertilizantes orgânicos, e em água para reúso. Dessa forma, contribuem para a conservação dos ecossistemas naturais, a promoção da saúde ambiental e humana e o fortalecimento da produção agrícola nas comunidades locais.

Os *wetlands* são ecossistemas alagados, formados naturalmente, que desempenham funções de suporte à biodiversidade, regulação hídrica e purificação da água por processos naturais de filtragem, decomposição e absorção por plantas e microrganismos.

Como paradigma do saneamento ecológico, e observando o comportamento dos *wetlands,* foram desenvolvidos, para o tratamento de esgoto sanitário, os *wetlands* construídos ou artificiais; ou alagados construídos, esses correspondentes a sistemas robustos e de elevada eficiência, caracterizados pela baixa exigência de manutenção e supervisão operacional. Essas características os tornam uma solução tecnicamente viável e ambientalmente adequada, especialmente em contextos rurais ou de difícil acesso às infraestruturas convencionais de saneamento (CHAVES, 2018).

Os sistemas de *wetlands* construídos consistem em meios de tratamento físicos, químicos e biológicos, que ocorrem naturalmente decorrente da interação do solo, água e vegetação, possibilitando a remoção de poluentes através de determinados processos:

1. Sólidos em suspensão: podem ser removidos por sendimentação, através da baixa velocidade do fluxo e da profundidade rasa; e de filtração, por meio da infiltração do solo;

2. Matéria orgânica: remoção por intermédio dos microrganismos, em condições aeróbias, presentes no solo ou na vegetação;
3. Compostos nitrogenados: a amônia, quando solúvel, pode ser removida por volatilização; quando aderidas, são convertidas em nitrato por mircrorganismos aeróbios. Em relação ao nitrogênio orgânico, podem ser removidos analogamente aos sólidos em suspensão;
4. Fósforo: usualmente removidos através de precipitação química. Quando na forma de ortofosfato, o processo ocorre por adsorção em solo, podendo ficar retido e dificultando a lixiviação;
5. Patógenos: removidos por mecanismos naturais como sedimentação, adsorção, radiação, entre outros processos (BRITTO, 2004).

Considerando que, na maior parte das áreas rurais do município de Petrolina-PE, inexistem sistemas adequados de tratamento de esgoto, resultando, frequentemente, no lançamento irregular de efluentes no meio ambiente, recomenda-se a implantação de sistemas de *wetlands* artificiais como alternativa sustentável. Essa solução visa mitigar os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada das água residuárias, além de contribuir para a promoção da saúde pública e a melhoria das condições sanitárias locais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São definidas três categorias de *wetlands*, sendo: *wetlands* construídas com fluxo superficial (FS), *wetlands* construídas com fluxo subsuperficial (FSS) e *wetlands* naturais. Para cada uma das alternativas de sistemas *wetlands*, existem diversas variações de projeto, podendo combiná-los com outros sistemas ou tecnologias, de modo a atender individualmente as necessidades de cada localidade (LAUTENSCHLAGER, 2001). A Tabela 2 e as Figuras 1, 2 e 3 apresentam as características e arranjos das categorias supracitadas.

Tabela 2. Características dos sistemas de *wetlands.*

Wetlands	**Tipo de Fluxo**	**Principal Meio de Remoção**
FS	Superficial	Vegetação
FSS	Subsuperficial	Meio poroso
Naturais	Superficial	Vegetação e meio poroso

Fonte: Adaptado de Lautenschlager (2001).

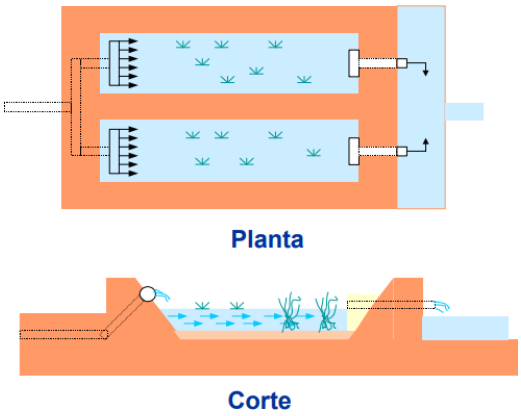


Figura 1. Arranjo de *wetlands* construídas de fluxo superficial.
Fonte: Lautenschlager, 2001.

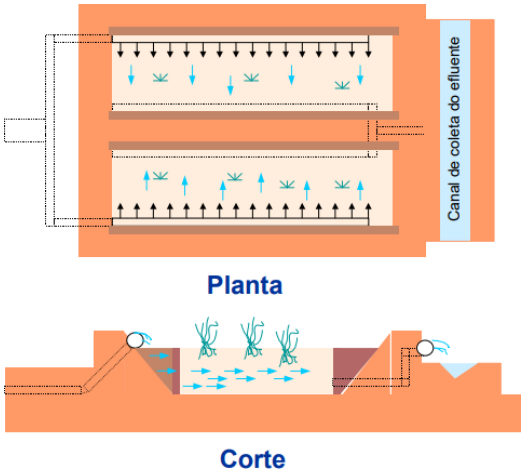


Figura 2. Arranjo de *wetlands* construídas de fluxo subsuperficial.
Fonte: Lautenschlager, 2001.

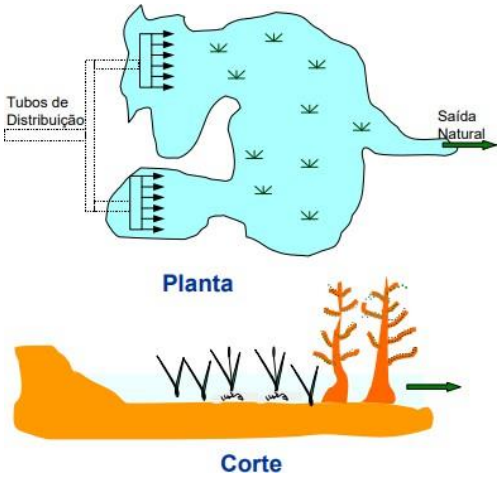


Figura 3. Arranjo de *wetlands* naturais de fluxo superficial.
Fonte: Lautenschlager, 2001.

O estudo conduzido por Beccato (2004) teve como objetivo avaliar a eficiência de sistemas integrados para tratamento de esgoto doméstico, associando fossas sépticas, utilizadas como etapa de tratamento primário, a *wetlands* construídos, empregados nas fases de tratamento secundário e terciário. A adoção dessa alternativa apresentou desempenho satisfatório em diversos fatores técnicos e operacionais, tais como: elevada eficiência na remoção de carga orgânica e patógenos, baixo custo de implantação, simplicidade de operação e manutenção, além da possibilidade de integração paisagística e aceitação social na comunidade.

A adoção de sistemas combinados com *wetlands* construídos demonstrou elevada eficiência na remoção de compostos nitrogenados, fósforo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e coliformes fecais. Além disso, observou-se um incremento na densidade de organismos aquáticos microscópicos, o que contribuiu para a melhoria da qualidade da água e para a redução da presença de patógenos no efluente tratado (PARESCHI, 2004).

Os resultados apresentados por Chaves (2018), referentes à avaliação do desempenho de sistemas integrados compostos por reatores anaeróbios seguidos por *wetlands* construídos, indicaram a produção de um efluente final com qualidade compatível para uso em irrigação agrícola, contribuindo para o aumento da produtividade em áreas atendidas pelo sistema de tratamento, em comparação àquelas não beneficiadas. Contudo, a fim de elevar a eficiência na remoção de coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), recomendou-se a aplicação de um tratamento complementar.

A escolha dos *wetlands* construídos, como alternativa tecnológica do tratamento de efluentes, é corroborada pelos benefícios apresentados por Abreu (2019):

1. Construção e operação acessíveis e econômicas;
2. Manutenções mais simples, comparadas aos sistemas convencionais;
3. Possuem moderada capacidade de adaptação às variações hidráulicas e cargas contaminantes;
4. Contribuem para promoção de áreas verdes e habitats naturais.

A implantação de sistemas de *wetlands* construídos em áreas rurais no Município de Petrolina-PE, especialmente quando integrados a outras tecnologias de tratamento, configura-se como um paradigma do saneamento ecológico tecnicamente viável e economicamente acessível. Além de promover a melhoria das condições sanitárias locais, essa abordagem contribui para o aumento da produtividade no setor agrícola, ao viabilizar o reúso seguro de efluentes tratados na irrigação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas rurais do Município de Petrolina-PE são responsáveis por grande parte do desenvolvimento econômico da cidade, nas quais está inserido o setor agroindustrial. Conforme a localidade se destaca economicamente, surge a necessidade de garantir o crescimento sustentável, sendo de fundamental importância o investimento em serviços essenciais como o saneamento, principalmente nas zonas rurais, as quais possuem atendimento precário.

Paralelamente a este cenário, tem-se como alternativa os *wetlands* construídos, paradigma do saneamento ecológico. Esse mecanismo visa atender aos padrões de tratamento de efluente estabelecidos pela legislação vigente, através de processos físicos, químicos e biológicos. Além disto, possui implantação e manutenção acessíveis e econômicas.

A eficiência da solução proposta é corroborada pelos resultados de estudos acadêmicos, que apresentaram boa performance operacional, especialmente quando associado a um tratamento preliminar, oferecendo um mecanismo capaz de reduzir a carga de poluição proveniente das água de reúso, bem como os riscos à saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Cidades. Glossário de Indicadores – Água e Esgotos: indicadores econômico-financeiros e administrativos 2022. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Brasília. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-eprogramas/saneamento/snis/produtos-dosnis/diagnosticos/Glossario_Indicadores_AE2022.pdf. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Brasília. 2022. Disponível em: https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

PETROLINA. Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (PE), Referentes às Prestações dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e de Esgotamento Sanitário. Fevereiro de 2019. Disponível em: https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/09/9xRruI2AEpvt_ANEXO-10-DO-EDITAL-PMSB_PLANO-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO-BASICO.pdf. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

IBGE. Cadastro Central de Empresas 2022. Rio de Janeiro, 2024.

IBGE. Pesquisa realizada em parceria com os Órgãos Estaduais de Estatística, Secretarias Estaduais de Governo e Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA. 2021. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/pesquisa/38/46996. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

ABREU, C. G. Estudo de caso sobre tratamento de esgoto sanitário através de wetlands construídos em escala real no sudeste brasileiro: questões operacionais, eficiências de tratamento e interferências do tempo de operação e da sazonalidade. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.

LAUTENSCHLAGER, S. R. Modelagem do desempenho de wetlands construídas. 2001. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BECCATO, M. A. B. Elaboração participativa de uma proposta de reestruturação do sistema de tratamento de esgoto da Comunidade do Maruja – Parque Estadual da Ilha do Cardoso/SP. 2004. 292 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo

CHAVES, V. T. Sistema de saneamento ecológico com reutilização de lodo férrico para remoção de fósforo e um novo paradigma para o saneamento. 2018. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PARESCHI, D. C. Caracterização da fauna rotífera em área alagada construída para tratamento de esgoto doméstico. 2004. 180 f.Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo.

BRITTO, E. R. Tecnologias adequadas ao tratamento de esgotos. – Rio de Janeiro. ABES, 2004.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19057262

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INSERÇÃO DE BIODIGESTORES EM ZONAS RURAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE INSERTAR BIODIGESTORES EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA NORESTE

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF INSERTING BIODIGESTERS IN RURAL AREAS IN THE SEMI-ARID NORTHEASTERN REGION

David Ryan Correia Albuquerque[1], Silvia Leticia Silvestre Martins[2], Iarley Souza Bezerra[3], Monique da Silva Albuquerque Pinheiro[4].

[1]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, david.ryan.correia61@aluno.ifce.edu.br, 0009-0009-9381-3660;
[2]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, silvia.leticia08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0002-8834-8417;
[3]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, Iarley.souza62@aluno.ifce.edu.br, 0009-0009-2702-2633.
[4]Docente, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, monique.albuquerque1996@ifce.edu.br, 0000-0002-8280-6272

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

Eje Temático 06 – Residuos sólidos
Tecnologías de tratamiento y reutilización: compostaje, biodigestión y otras.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da inserção de biodigestores em comunidades rurais do semiárido nordestino, considerando seus aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica exploratória e sistemática, abrangendo artigos científicos, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e relatórios técnicos publicados no Brasil entre 2002 e 2024. As buscas foram realizadas em bases de dados como SciELO, Google Scholar, Periódicos CAPES e repositórios institucionais, utilizando descritores relacionados a biodigestores, biogás, sustentabilidade e semiárido. Ao todo, foram analisadas 35 publicações que atendiam aos critérios de inclusão, com foco especial na agricultura familiar e em comunidades vulneráveis. Os resultados revelam a elevada viabilidade técnica dos biodigestores no semiárido, principalmente devido à disponibilidade de resíduos agropecuários e à adequação de modelos simples e de baixo custo, como o canadense e as fossas sépticas biodigestoras. Esses modelos se destacam por sua acessibilidade e adaptabilidade às condições locais, favorecendo a utilização em pequenas propriedades. Do ponto de vista econômico, constatou-se que a produção de biogás pode reduzir a dependência de gás liquefeito de petróleo (GLP), diminuindo gastos domésticos. Além disso, o biofertilizante resultante da digestão anaeróbica substitui parcialmente insumos químicos, reduzindo custos de produção

agrícola e abrindo a possibilidade de comercialização do excedente como fonte de renda adicional. Em termos ambientais, a tecnologia apresenta benefícios expressivos: captura de metano, gás de efeito estufa com impacto significativo no aquecimento global; diminuição da poluição do solo e de corpos hídricos, em função da destinação adequada de resíduos orgânicos; e contribuição para a diversificação da matriz energética local. No âmbito social, os biodigestores fortalecem a autonomia energética, melhoram o saneamento básico e promovem condições mais saudáveis de vida nas comunidades rurais. Apesar das vantagens, os desafios permanecem. Entre os principais entraves estão o custo inicial elevado, a escassez de políticas públicas de fomento e incentivo, a carência de linhas de financiamento acessíveis e a necessidade de capacitação técnica contínua para operação e manutenção dos sistemas. Essas limitações comprometem a adoção em larga escala, evidenciando a importância de programas governamentais e institucionais de apoio.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia, Semiárido, Energia renovável, Sustentabilidade, Resíduos Orgânicos

RESÚMEN

Este estudio busca analizar la viabilidad de instalar biodigestores en comunidades rurales del semiárido nordeste, considerando sus aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales. La investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica exploratoria y sistemática, que abarcó artículos científicos, tesis, trabajos finales e informes técnicos publicados en Brasil entre 2002 y 2024. Se realizaron búsquedas en bases de datos como SciELO, Google Académico, revistas de CAPES y repositorios institucionales, utilizando descriptores relacionados con biodigestores, biogás, sostenibilidad y el semiárido. Se analizaron 35 publicaciones que cumplieron con los criterios de inclusión, con especial atención a la agricultura familiar y las comunidades vulnerables. Los resultados revelan la alta viabilidad técnica de los biodigestores en el semiárido, principalmente debido a la disponibilidad de residuos agrícolas y a la idoneidad de modelos sencillos y de bajo costo, como el biodigestor canadiense y los biodigestores de fosa séptica. Estos modelos se destacan por su accesibilidad y adaptabilidad a las condiciones locales, lo que favorece su uso en pequeñas propiedades. Desde una perspectiva económica, se ha comprobado que la producción de biogás puede reducir la dependencia del gas licuado de petróleo (GLP), disminuyendo así los gastos domésticos. Además, el biofertilizante resultante de la digestión anaeróbica sustituye parcialmente los insumos químicos, lo que reduce los costos de producción agrícola y abre la posibilidad de vender los excedentes como fuente de ingresos adicionales. En el ámbito ambiental, la tecnología ofrece importantes beneficios: captura metano, un gas de efecto invernadero con un impacto significativo en el calentamiento global; reduce la contaminación del suelo y el agua gracias a la correcta disposición de los residuos orgánicos; y contribuye a la diversificación de la matriz energética local. En el ámbito social, los biodigestores fortalecen la autonomía energética, mejoran el saneamiento básico y promueven condiciones de vida más saludables en las comunidades rurales. A pesar de las ventajas, persisten desafíos. Los principales obstáculos incluyen el alto costo inicial, la escasez de políticas públicas de desarrollo e incentivos, la falta de financiamiento accesible y la necesidad de capacitación técnica continua para la operación y el mantenimiento del sistema. Estas limitaciones dificultan su adopción a gran escala, lo que resalta la importancia de los programas de apoyo gubernamentales e institucionales.

Palabras clave: Digestión anaeróbica, Semiárido, Energía renovable, Sostenibilidad, Residuos Orgánicos

ABSTRACT

This work aims to analyze the feasibility of inserting biodigesters in rural communities of the northeastern semi-arid region, considering their technical, economic, social, and environmental aspects. The research was developed thru an exploratory and systematic literature review, covering scientific articles, dissertations, undergraduate theses, and technical reports published in Brazil between 2002 and 2024. The searches were conducted in databases such as SciELO, Google Scholar, Periódicos CAPES, and institutional repositories, using descriptors related to biodigesters, biogas, sustainability, and the semi-arid region. In total, 35 publications that met the inclusion criteria were analyzed, with a special focus on family farming and vulnerable communities. The results reveal the high technical viability of biodigesters in the semi-arid region, mainly due to the availability of agricultural waste and the suitability of simple and low-cost models, such as the Canadian and biodigester septic tanks. These models stand out for their accessibility and adaptability to local conditions, favoring their use in small properties. From an economic standpoint, it was found that biogas production can reduce dependence on liquefied petroleum gas (LPG), thereby decreasing household expenses. Moreover, the biofertilizer resulting from anaerobic digestion partially replaces chemical inputs, reducing agricultural production costs and opening the possibility of selling the surplus as an additional source of income. In environmental terms, the technology presents significant benefits: methane capture, a greenhouse gas with a significant impact on global warming; reduction of soil and water body pollution due to the proper disposal of organic waste; and contribution to the diversification of the local energy matrix. In the social sphere, biodigesters strengthen energy autonomy, improve basic sanitation, and promote healthier living conditions in rural communities. Despite the advantages, the challenges remain. Among the main obstacles are the high initial cost, the scarcity of public policies for promotion and incentives, the lack of accessible financing lines, and the need for continuous technical training for the operation and maintenance of the systems. These limitations compromise large-scale adoption, highlighting the importance of governmental and institutional support programs.

Keywords: Anaerobic Digestion, Semi-Arid, Renewable Energy, Sustainability, Organic Waste

INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino brasileiro caracteriza-se por apresentar longos períodos de estiagem, elevada irregularidade pluviométrica e condições edafoclimáticas que impõem desafios significativos à produção agropecuária e à qualidade de vida das comunidades rurais (Nascimento 2025; Praciano 2021). A região abrange aproximadamente 1,1 milhão de km²,

representando cerca de 12% do território nacional, e concentra uma população rural de aproximadamente 8,5 milhões de habitantes, dos quais grande parte vive em condições de vulnerabilidade socioeconômica (Haack e Oliveira 2013). O semiárido nordestino (Figura 1) apresenta ampla distribuição territorial no Brasil, abrangendo onze estados e destacando-se como uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo.

Figura 1. Mapa de Localização do Semiárido Brasileiro
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A limitação hídrica, aliada a fatores socioeconômicos como baixa renda, acesso restrito a tecnologias e políticas públicas inadequadas, demanda referente à adoção de soluções tecnológicas sustentáveis que possibilitem a utilização eficiente dos recursos disponíveis e a redução de impactos ambientais. Neste contexto, o saneamento básico rural se apresenta como um dos principais desafios, uma vez que apenas 5,45% dos domicílios rurais estão conectados à rede de coleta de esgotos, enquanto 61,27% depositam os dejetos em fossas rudimentares ou lançam diretamente no solo (GAMA et al. 2018).

Nesse cenário, os biodigestores se destacam como alternativa tecnológica promissora,

capaz de promover o aproveitamento de resíduos orgânicos, como dejetos animais, restos de culturas agrícolas e resíduos domésticos, para a produção de biogás e biofertilizante (Frigo et al. 2015; Carvalho et al. 2017; Lima 2025). Essa tecnologia, além de contribuir para o saneamento básico no meio rural, favorece a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a substituição parcial de combustíveis fósseis por fontes renováveis (Nascimento 2025).

A implantação de biodigestores em zonas rurais do semiárido nordestino pode representar um avanço importante na autossuficiência energética das famílias agricultoras, bem como na diversificação de suas fontes de renda, considerando a possibilidade de comercialização do excedente de biofertilizante e créditos de carbono (Haack e Oliveira 2013; Carvalho et al. 2017). No entanto, a viabilidade dessa implementação depende de fatores como disponibilidade de resíduos, acesso a crédito, capacitação técnica e aceitação social (Praciano 2021; Gama et al. 2018).

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar, sob a perspectiva técnica, econômica, social e ambiental, a viabilidade da inserção de biodigestores em comunidades rurais localizadas no semiárido nordestino, por meio de revisão bibliográfica e levantamento de experiências já documentadas no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa é caracterizada como uma revisão bibliográfica exploratória, com abordagem qualitativa, voltada à análise da viabilidade de inserção de biodigestores em comunidades rurais do semiárido nordestino. O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados SciELO, Google Scholar, Periódicos CAPES e em repositórios institucionais nacionais, além de relatórios técnicos e trabalhos acadêmicos disponibilizados por instituições de ensino e pesquisa brasileiras.

Foram empregados os descritores “biodigestores”, “semiárido”, “energia renovável”, “biogás” e “sustentabilidade”. Como critérios de inclusão, consideraram-se estudos publicados entre 2002 e 2024 que abordassem a aplicação de biodigestores em áreas rurais, com ênfase em contextos de clima semiárido brasileiro. Também foram selecionadas publicações que apresentassem dados técnicos, econômicos, sociais ou ambientais sobre a tecnologia, bem como estudos de caso vinculados à agricultura familiar. A exclusão de publicações irrelevantes ocorreu principalmente quando os estudos não apresentavam relação direta com o semiárido brasileiro, quando tratavam de tecnologias distintas dos biodigestores

ou quando abordavam a biodigestão apenas em contextos urbanos ou industriais. Além disso, foram desconsiderados trabalhos duplicados entre bases e aqueles que não apresentavam dados consistentes ou metodologias claras.

O processo de análise ocorreu em três etapas: (i) leitura exploratória, destinada à triagem inicial das publicações; (ii) leitura seletiva, com ênfase nos resultados e metodologias empregadas; e (iii) análise qualitativa, identificando padrões, benefícios, limitações e recomendações sobre a adoção dos biodigestores.

Ao todo, foram examinadas 35 publicações nacionais, incluindo artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e relatórios técnicos. A ênfase em publicações nacionais justifica-se pelo fato de que o semiárido nordestino apresenta características edafoclimáticas, socioeconômicas e culturais peculiares, que são melhor compreendidas e discutidas por pesquisadores brasileiros. Essa escolha assegura maior precisão na análise e na contextualização dos resultados, considerando as especificidades regionais do objeto de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados apontam que os biodigestores apresentam elevada viabilidade técnica para aplicação em comunidades rurais do semiárido nordestino, sobretudo em razão da disponibilidade de resíduos orgânicos oriundos da pecuária e da agricultura familiar. Os modelos de biodigestores canadenses e chineses se destacam pela simplicidade de construção e baixo custo de implantação, o que os torna adequados à realidade de pequenas propriedades (Garcia et al. 2022; Zaiat 2014). Além disso, tecnologias adaptadas, como as fossas sépticas biodigestoras, já demonstraram resultados positivos em experiências de saneamento rural em Pernambuco, proporcionando não apenas a destinação adequada de resíduos, mas também benefícios energéticos e sociais (Santos 2020).

Do ponto de vista econômico, a literatura evidencia que a produção de biogás pode reduzir significativamente a dependência de gás liquefeito de petróleo (GLP), insumo de elevado custo para comunidades rurais (Lampert 2021). O aproveitamento do biofertilizante gerado, em substituição parcial aos fertilizantes químicos, constitui outro fator de economia e pode, inclusive, representar fonte de renda adicional por meio da comercialização do excedente (Chauále 2022). Em contextos de maior escala, como granjas de suínos, verificou-se que a adoção de biodigestores possibilita a redução de gastos operacionais e o

aumento da sustentabilidade da atividade produtiva (Lambert et al. 2023).

Sob a perspectiva ambiental, os biodigestores se destacam pela mitigação das emissões de gases de efeito estufa, especialmente metano, que seria liberado na decomposição anaeróbia natural dos resíduos (Cousteau 2023). Além disso, a substituição parcial de combustíveis fósseis por biogás contribui para a diversificação da matriz energética local e reduz impactos relacionados à extração e transporte de fontes não renováveis. A destinação adequada de resíduos também atua na diminuição da contaminação de solos e corpos hídricos, problema recorrente em comunidades do semiárido que dispõem de pouca infraestrutura de saneamento (Inácio 2022).

No aspecto social, os benefícios da tecnologia incluem a melhoria do saneamento básico, a promoção da saúde comunitária e o fortalecimento da autonomia energética das famílias. Entretanto, estudos ressaltam entraves significativos para a difusão dos biodigestores, como a carência de capacitação técnica, o custo inicial de instalação e a ausência de políticas públicas de incentivo (Lampert 2021; Santos 2020). Experiências em diferentes regiões do Brasil reforçam a importância de programas de treinamento voltados à operação e manutenção dos sistemas, considerados essenciais para a sustentabilidade da tecnologia em longo prazo (Inácio 2022).

Um dos principais entraves à adoção plena dos biodigestores no semiárido nordestino está relacionado à necessidade de capacitação técnica para sua correta operação e manutenção. A literatura aponta que, quando mal manejados, esses sistemas perdem eficiência, podendo comprometer tanto a produção de biogás quanto a qualidade do biofertilizante gerado (Lampert 2021; Inácio 2022). Além disso, falhas operacionais podem resultar em odores desagradáveis, acúmulo de resíduos e até mesmo riscos sanitários, fatores que desestimulam a continuidade do uso da tecnologia pelas famílias rurais (Santos 2020). Nesse sentido, a presença de programas de assistência técnica contínua, aliada a ações de capacitação comunitária, é fundamental para garantir o funcionamento adequado dos biodigestores, consolidando seus benefícios ambientais, econômicos e sociais a longo prazo.

De modo geral, os resultados analisados evidenciam que a viabilidade de inserção de biodigestores no semiárido nordestino é elevada, desde que sejam asseguradas condições de apoio institucional, financiamento acessível e capacitação técnica. A convergência de benefícios ambientais, econômicos e sociais reforça o potencial dessa tecnologia como estratégia sustentável para a agricultura familiar e para o desenvolvimento rural da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada evidencia que a inserção de biodigestores em zonas rurais do semiárido nordestino configura-se como uma alternativa viável e promissora para a diversificação da matriz energética, a gestão sustentável de resíduos orgânicos e o fortalecimento da agricultura familiar. Os benefícios decorrentes de sua utilização abrangem aspectos ambientais, econômicos e sociais, destacando-se a redução da poluição, a produção de biogás como fonte renovável de energia e a valorização de práticas agroecológicas.

Todavia, a efetividade dessa tecnologia depende da implementação de políticas públicas que incentivem sua difusão, da ampliação do acesso a programas de capacitação técnica e do suporte institucional aos agricultores. Nesse sentido, os biodigestores apresentam-se como instrumentos relevantes para o desenvolvimento sustentável do semiárido nordestino, contribuindo para a melhoria das condições de vida das comunidades rurais e para a construção de sistemas produtivos mais resilientes às limitações climáticas da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara, A. S., et al. 2022. “Análise de implantação de biodigestor em pequenas propriedades rurais.” Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. http://www.conbea.org.br/anais/2022/artigos/22.pdf.

Barbosa, L. M., and M. Langer. 2011. “Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.” Revista Brasileira de Agroecologia 6 (2): 134–145.

Bezerra, F. G. S., et al. 2014. “Biodigestores rurais: alternativa energética e de saneamento para propriedades rurais.” Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 9 (4): 1–9.

Carvalho, E. S., et al. 2017. “Viabilidade e benefícios de implantação de pequenos biodigestores em propriedades de agricultura familiar.” Anais do VI SINGEP, São Paulo, 13–14 nov.

Chauále, A. C. 2022. “Produção de biogás e sua utilização na agricultura familiar.” Sociedade & Desenvolvimento.

Correa, L. B. 2018. “História dos biodigestores no Brasil e no mundo.” Revista Científica Multidisciplinar 3 (8): 45–62.

Cousteau, J. 2023. “Desenvolvimento sustentável e energia renovável: experiências com

biodigestores em propriedades rurais." Revista Holos.

Deganutti, R., et al. 2002. "Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada." Revista Energia na Agricultura 17 (4): 1–11.

Farret, F. A. 2010. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. 2. ed. Santa Maria: UFSM.

Frigo, E. P., et al. 2015. "Produção de biogás e sua utilização na agricultura familiar." Revista Brasileira de Energias Renováveis 4 (2): 14–23.

Gama, M. A. A., D. T. Lima, and S. Aquino. 2018. "Biodigestores em pequenas propriedades rurais de Minas Gerais: desafios para implantação na agricultura familiar." Anais do VII SINGEP, São Paulo, 22–23 out.

Garcia, C. J. F. R., et al. 2022. Biodigestor. Monte Aprazível: Etec Padre José Nunes Dias – Centro Paula Souza.

Haack, S. C., and G. G. Oliveira. 2013. "Análise de viabilidade econômica e financeira de projetos sustentáveis no setor energético: estudo de caso para implantação de biodigestores no semiárido baiano." Revista de Economia do Nordeste 44 (esp.): 363–382.

Inácio, A. C. 2022. Estudo de viabilidade da inserção de biodigestores em comunidades rurais de Moçambique. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.

Jorge, L. M. M., and S. P. F. Omena. 2012. "Tipos de biodigestores." In Manual de biodigestores rurais, edited by T. M. B. Santos, 23–35. Brasília: Funasa.

Kunz, A., and P. A. V. Oliveira. 2008. "Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás." Revista de Política Agrícola 15 (3): 28–35.

Lamert, C., et al. 2023. "Viabilidade da implantação de biodigestores em granjas de suínos." Revista Científica da UNOPAR.

Lampert, Clarissa. 2021. "Um estudo sobre o uso de biodigestores no Brasil." Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento 6 (11): 89–104.

Lima, G. M. M. S. 2025. "Biodigestor uma experiência esquecida: o caso da desativação do biodigestor do Centro de Ciências Agrárias/UFPB." Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia), Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Lopes, E. F., P. B. Filho, and S. S. Alves. 2013. "Biodigestores: energia renovável e sustentabilidade no meio rural." Revista Brasileira de Energias Renováveis 2 (1): 23–35.

Loureiro, P. A., et al. 2023. "Análise técnica e econômica de biodigestores em propriedades rurais do Nordeste." Revista Nordestina de Economia Rural 15 (2): 45–62.

Lucena, A. F. 2023. “Biodigestores como alternativa energética sustentável para o semiárido.” Revista Caatinga 36 (3): 567–578.

Melo, J. F., and M. A. Queiroz. 2024. “Tecnologias sociais para convivência com o semiárido: o caso dos biodigestores.” Revista Brasileira de Geografia Física 17 (4): 2234–2248.

Moura, L. G., et al. 2017. “Viabilidade da implantação de biodigestores em granjas de suínos.” Revista Científica da UNOPAR 16 (3): 22–35.

Nascimento, B. V. 2025. “Biodigestor sertanejo como estratégia de autonomia e resiliência no semiárido cearense.” Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Oliveira, R. S. 2025. “Biodigestores no semiárido: uma análise da sustentabilidade energética.” Revista Energia e Ambiente 30 (1): 78–92.

Oliver, A. P. M., et al. 2008. Manual de treinamento em biodigestão. Salvador: IICA.

Pasqualini, A. 2020. “Biodigestores: aproveitamento de resíduos orgânicos e geração de energia.” Revista Agropecuária Catarinense 33 (2): 47–51.

Pereira, E. L., et al. 2009. “Biodigestores rurais: construção e operação.” Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13 (6): 729–735.

Praciano, A. C. 2021. “Uso de biodigestor como proposta de tecnologia social de convivência com o semiárido.” Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Santos, B. H. S. 2020. Saneamento rural: implantação de fossa séptica biodigestora no município do Cabo de Santo Agostinho – PE. Recife: IFPE.

Seixas, J., et al. 2005. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: Embrapa.

Silva, M., et al. 2020. “População atendida por sistema de esgotamento sanitário.” Revista Brasileira de Saneamento 28 (1): 45–58.

Silva, R. N., and J. M. Correia. 2020. “Análise da sustentabilidade de biodigestores no semiárido potiguar.” Revista Holos 36 (4): 1–15.

Tarrento, L. R. 2006. “Tratamento de dejetos de suínos e aproveitamento de biogás em propriedades de pequeno porte.” Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Regional de Blumenau.

Toledo, A. C., and M. L. Proença. 2022. “História e desenvolvimento dos biodigestores no mundo.” Revista Internacional de Energias Renováveis 8 (3): 123–138.

Zaiat, M. 2014. “Biodigestores: tipos, funcionamento e vantagens.” Revista Brasileira de Energias Renováveis.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025

II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural

RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19057268

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E VOLUMETRIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRESENTES NA COMUNIDADE DE VÁRZEA COMPRIDA DOS LEITES, POMBAL-PB

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN GRAVIMÉTRICA Y VOLUMETRICIDAD DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PRESENTES EN LA COMUNIDAD DE VÁRZEA COMPRIDA DOS LEITES, POMBAL-PB

ANALYSIS OF THE GRAVIMETRIC COMPOSITION AND VOLUMETRICITY OF SOLID WASTE PRESENT IN THE COMMUNITY OF VÁRZEA COMPRIDA DOS LEITES, POMBAL-PB

Sanara de Sousa Ribeiro[1]; José Maurílio Fernandes da Silva[2]; Ronierio Lima dos Santos Junior[3] ; Gleisson da Silva dos Santos[4];

1. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: souzasan72@gmail.com;
2. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: engenheiro.jose.maurilio10@gmail.com;
3. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: ronierioocara@gmail.com;
4. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: gleissonalbuquerque6@gmail.com.

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Estudos de composição gravimétricas.

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Estudios de Composición gravimétrica.

RESUMO

Os desafios do saneamento rural no Brasil são diversos e complexos, refletindo a disparidade de acesso aos serviços básicos de saneamento enfrentados por muitas comunidades rurais. Entre os principais desafios estão a falta de infraestrutura adequada, incluindo sistemas de abastecimento de água, a falta de tratamento de esgoto, a escassez de recursos financeiros para investimentos nessas áreas, a dificuldade de alcançar áreas remotas e dispersas, a ausência de políticas específicas e a necessidade de capacitação técnica e engajamento comunitário para adotar soluções eficazes e sustentáveis. A comunidade de Várzea Comprida dos Leites, localizada no município de Pombal – PB, exemplifica a realidade de diversas localidades rurais que convivem com limitações de acesso à água potável, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e drenagem adequada. Este trabalho tem como objetivo principal a identificação das principais frações de materiais que compõem os resíduos na comunidade, de acordo com a composição gravimétrica. Para a amostragem utilizou-se o método de quarteamento estabelecido pela NBR 10.007/2004. Verificou-se a predominância de resíduos plásticos (27,26%), seguida por resíduos orgânicos (13,61%), papel (10,12%), vidros (1,16%), metais (2,29%) e outros (36,30%). De acordo com os resultados, especula-se sobre a necessidade de redirecionar a destinação final dos resíduos gerados na comunidade, fortalecendo a cadeia de reciclagem e fornecendo subsídios para que a população adira à coleta seletiva.

Palavras-chave: Composição Gravimétrica, Gravimetria, Quarteamento, Resíduos Sólidos.

RESUMEN

Los desafíos del saneamiento rural en Brasil son diversos y complejos, lo que refleja la disparidad en el acceso a servicios básicos de saneamiento que enfrentan muchas comunidades rurales. Entre los principales desafíos se encuentran la falta de infraestructura adecuada, incluyendo sistemas de abastecimiento de agua, la falta de tratamiento de aguas residuales, la escasez de recursos financieros para invertir en estas áreas, la dificultad para llegar a zonas remotas y dispersas, la ausencia de políticas específicas y la necesidad de capacitación técnica y participación comunitaria para adoptar soluciones efectivas y sostenibles. La comunidad de Várzea Comprida dos Leites, ubicada en el municipio de Pombal, Paraíba, ejemplifica la realidad de varias zonas rurales que enfrentan acceso limitado a agua potable, alcantarillado, recolección de residuos sólidos y drenaje adecuado. El objetivo principal de este estudio es identificar las principales fracciones de materiales que componen los residuos de la comunidad, con base en su composición gravimétrica. El muestreo se realizó mediante el método de cuarteo establecido por la NBR 10.007/2004. Residuos plásticos (27,26%), seguido de los orgánicos (13,61%), papel (10,12%), vidrio (1,16%), metales (2,29%) y otros (36,30%). Los resultados sugieren la necesidad de reorientar la disposición final de los residuos generados en la comunidad, fortaleciendo la cadena de reciclaje y otorgando subsidios para que la población se adhiera a la recolección selectiva.

Palabras clave: Composición gravimétrica, gravimetría, despiece, residuos sólidos.

ABSTRACT

The challenges of rural sanitation in Brazil are diverse and complex, reflecting the disparity in access to basic sanitation services faced by many rural communities. Among the main challenges are the lack of adequate infrastructure, including water supply systems, the lack of sewage treatment, the scarcity of financial resources for investment in these areas, the difficulty in reaching remote and dispersed areas, the absence of specific policies, and the need for technical training and community engagement to adopt effective and sustainable solutions. The community of Várzea Comprida dos Leites, located in the municipality of Pombal, Paraíba, exemplifies the reality of several rural areas that face limited access to drinking water, sewage, solid waste collection, and adequate drainage. The main objective of this study is to identify the main material fractions that make up the community's waste, based on gravimetric composition. Sampling was performed using the quartering method established by NBR 10.007/2004. Plastic waste (27.26%) predominated, followed by organic waste (13.61%), paper (10.12%), glass (1.16%), metal (2.29%), and others (36.30%). The results suggest a need to redirect the final disposal of waste generated in the community, strengthening the recycling chain and providing subsidies for the population to adhere to selective collection.

Keywords: Gravimetric Composition, Gravimetry, Quartering, Solid Waste.

INTRODUÇÃO

No Brasil o saneamento básico é considerado um fator de grande importância e de preocupação para o meio social e ambiental. O saneamento tem total importância para a vida

de cada pessoa, sendo um direito para o cidadão ter boas condições de infraestrutura e de higiene, conectados diretamente à sobrevivência humana (Lira; Soares, 2021), A Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, reforçando que o acesso universal deve ser garantido tanto em áreas urbanas quanto rurais (BRASIL, 2020).

Nas regiões brasileiras, principalmente em comunidades rurais, onde a dificuldade do acesso e a falta de infraestrutura são os maiores desafios para a garantia de acesso ao saneamento, se faz necessário a execução de medidas de saneamento para que a população tenha acesso aos serviços de água potável, saneamento básico e manejo adequado dos resíduos sólidos. É fundamental reconhecer que o acesso a esses serviços é essencial para melhorar a qualidade de vida, promover a saúde pública e proteger o meio ambiente.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), mais de 30 milhões de brasileiros ainda vivem sem acesso à água tratada, e grande parte dessa população está em áreas rurais. Além disso, a precariedade no tratamento e destino dos resíduos sólidos, somada à inexistência de sistemas de esgotamento, gera impactos diretos sobre a saúde pública, como o aumento de doenças de veiculação hídrica, e degradação ambiental, como a contaminação do solo e lençóis freáticos.

O monitoramento dos resíduos sólidos é uma ferramenta valiosa para avaliar a qualidade de vida da população, visto que está intimamente relacionado com a saúde pública. No Brasil a gestão e manejo dos resíduos sólidos, a nível nacional, estadual e municipal, estão previstos na Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).Dessa forma, a presente pesquisa objetivou identificar as principais frações de materiais que compõem os resíduos na comunidade de Várzea Comprida dos Leites, Pombal, Paraíba, de acordo com a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos da localidade identificando a geração semanal, a fim de subsidiar propostas de manejo sustentável e sensibilizar a comunidade quanto à importância da correta destinação desses materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em etapas sistemáticas, compreendendo a coleta dos resíduos, o quarteamento das amostras e a análise gravimétrica. Previamente, realizou-se o reconhecimento da área *in loco*, com o propósito de elaborar um diagnóstico preliminar e de

promover a sensibilização da comunidade acerca da relevância das análises gravimétrica e volumétrica no contexto do gerenciamento de resíduos sólidos.

O estudo caracteriza-se como de natureza exploratória, com abordagem quali-quantitativa, conforme a classificação proposta por Gil (2008) e Lakatos e Marconi (2017). Tal escolha fundamenta-se na necessidade de identificar e correlacionar os fatores que contribuem para a disposição inadequada dos resíduos sólidos, possibilitando, assim, a elaboração de estratégias mais eficazes de intervenção.

Nesse sentido, além da quantificação e caracterização dos resíduos coletados, a pesquisa buscou subsidiar a proposição de medidas de manejo sustentável. Paralelamente, foram desenvolvidas ações de sensibilização comunitária, com vistas a reforçar a importância da destinação ambientalmente adequada dos materiais descartados, em consonância com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Métodos, critérios e ferramentas para a coleta dos resíduos

A coleta dos resíduos foi realizada de forma sistemática, seguindo critérios técnicos que asseguraram a representatividade e a confiabilidade dos dados obtidos. O processo iniciou-se pela delimitação da área de estudo, considerando pontos estratégicos de geração e descarte de resíduos sólidos, seguindo as seguintes etapas e critérios:

- Coleta: durante sete dias, as residências da comunidade armazenam seus resíduos para posterior análise.
- Pesagem (Gravimetria): os resíduos foram separados em categorias (têxteis sanitários, metais, papel/papelão, vidro, perigosos, plástico, orgânicos e outros) e pesados individualmente.
- Análise Volumétrica: cada categoria foi acondicionada em recipientes apropriados para medição do volume ocupado.
- Cálculo Percentual: os dados foram transformados em percentuais relativos ao peso e volume totais.

Para garantir a padronização, adotaram-se os seguintes critérios de coleta:

- Periodicidade: a coleta foi executada no dia da análise gravimétrica, tendo em vista que não há coleta na localidade.

- Amostragem: aplicou-se a técnica de quarteamento, que consiste na redução gradual da amostra total até se obter uma quantidade representativa para análise, conforme recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 10007:2004).
- Segregação prévia: os resíduos foram separados em grupos conforme sua natureza (orgânicos, recicláveis, rejeitos), permitindo a caracterização mais detalhada.

Foi realizada a escolha do local para realizar a gravimetria e volumetria dos resíduos, em seguida os moradores trouxeram seus resíduos em diferentes formas de acondicionamento (sacos plásticos, caixas, etc), foi realizado a pesagem dos resíduos, em seguida colocamos todos os resíduos sob a lona, onde fizemos a homogeneização desses resíduos, o quarteamento, a separação e por fim a pesagem dos resíduos de acordo com sua classe, como mostram as figuras 1, 2 e 3.

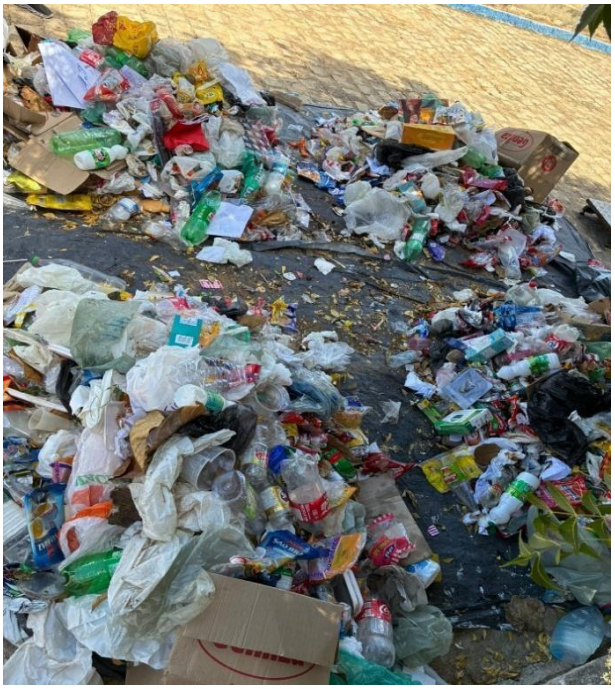
Figura 1. Disposição dos resíduos da comunidade na lona para a gravimetria e volumetria

Fonte: Autores (2025)

Figura 2. Homogeneização dos resíduos da comunidade na lona para a gravimetria e volumetria

Fonte: Autores (2025)

Figura 3. Quarteamento dos resíduos da comunidade na lona para a gravimetria e volumetria



Fonte: Autor (2025)

RESULTADOS

Durante o período de sete dias de coleta, contabilizou-se um total de 132,30 kg de resíduos sólidos (RS) gerados e devidamente acondicionados pelos moradores do distrito de Várzea Comprida dos Leites. Esse valor representa a produção média semanal da comunidade e serviu como base para as análises gravimétrica e volumétrica.

A análise gravimétrica foi realizada a partir de uma amostra representativa de 53,34 kg dos resíduos coletados. Os resultados demonstraram maior predominância da categoria "Outros" (36,30%), seguida por plásticos (27,26%) e resíduos orgânicos (13,61%). As menores participações corresponderam aos resíduos classificados como perigosos (0,37%), vidro (1,16%) e metais (2,29%), caracterizados na tabela 1.

Tabela 1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos

Categoria	Massa (kg)	Composição (%)
Outros	19,36	36,30
Plástico	14,54	27,26
Orgânico	7,26	13,61
Papel/Papelão	5,40	10,12
Têxteis Sanitários	4,74	8,89
Metais	1,22	2,29
Vidro	0,62	1,16
Perigosos	0,20	0,37
Total	**53,34**	**100,00**

Fonte: Autores (2025)

A análise volumétrica permitiu verificar o espaço ocupado por cada categoria de resíduo. Observou-se que o plástico foi o componente de maior volume (194 L), seguido da categoria "Outros" (99 L) e do grupo papel/papelão (68 L). Já os resíduos de vidro (1 L) e metais (12 L) apresentaram os menores volumes, caracterizados na tabela 2.

Tabela 2. Composição volumétrica dos resíduos sólidos

Categoria	Volume (L)
Plástico	194
Outros	99
Papel/Papelão	68

Orgânico	51
Têxteis Sanitários	50
Metais	12
Vidro	1

Fonte: Autores (2025)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dificuldade no gerenciamento de resíduos sólidos da comunidade motivou a análise da composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos. Permitindo identificar a composição e a quantidade dos resíduos sólidos gerados no distrito de Várzea Comprida dos Leites, contribuindo para uma análise sistemática a fim de realizar o levantamento de uma possível coleta desses resíduos por meio da prefeitura do município, promovendo dignidade e saúde pública para a população da localidade. de risco ambiental e à saúde pública.

Diante desse cenário, recomenda-se a implantação da coleta seletiva, priorizando o reaproveitamento de plásticos e papéis; a criação de programas comunitários de compostagem, aproveitando a fração orgânica; e a realização de ações educativas permanentes, voltadas para a correta separação e acondicionamento dos resíduos. Também se destaca a importância de criar pontos de entrega específicos para resíduos perigosos, bem como o aprimoramento logístico da coleta municipal, reduzindo os impactos gerados pelo alto volume de materiais plásticos.

Por fim, ressalta-se a necessidade de integração dessas iniciativas às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), garantindo que o manejo dos resíduos seja realizado de forma ambientalmente adequada, economicamente viável e socialmente justa. Assim, os dados obtidos neste estudo podem subsidiar o planejamento de políticas públicas locais, contribuindo para um sistema de gestão de resíduos mais sustentável e alinhado às demandas da comunidade.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.007: Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

BRASIL. Associação Brasileira de Embalagens. Dados do setor. São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2023-2/. Acesso em: 26 de set. de 2025.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 26 de set. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Atualizada pela **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 26 de set. de 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf. Acesso em: 26 de set. de 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: https://ia804601.us.archive.org/7/items/Fundamentos_de_metodologia_cientfica_8._ed._-_www.meulivro.biz/Fundamentos_de_metodologia_cientfica_8._ed._-_www.meulivro.biz.pdf. Acesso em: 26 de set. de 2025.

LIRA, A.; SOARES, M. **Importância do saneamento básico para a saúde pública e ambiental no Brasil**. Revista Brasileira de Saúde Ambiental, v. 16, n. 3, p. 45-58, 2021. Disponível em: https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/11413. Acesso em: 26 de set. de 2025.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de saneamento 2022**. Brasília: SNIS, 2022. Disponível em: http://www.snis.gov.br. Acesso em: 26 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19057284

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E COMPOSTAGEM NA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y COMPOSTAJE EN LA ALIMENTACIÓN ESCOLAR

APPROVAL OF ORGANIC WASTE AND COMPOSTING IN SCHOOL MEALS

Endrew Kauan Carvalho Campos[1], Cândida Lucile Pereira Martins[2], Kenia Alves Pereira[3] e Alfredina dos Santos Araújo[4].

[1]Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, endrewcarvalho88@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-9285-7404;
[2]Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, lucileclpm79@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-3953-8344;
[3]Mestranda em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal – Paraíba, Brasil, keniaalves.jpg@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-7633-676X;
[4] Doutora em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, alfredina@ccta.ufcg.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-9336-7308.

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

Eje Temático 05 – Residuos Sólidos
Tecnologías de tratamiento y reutilización: compostaje, biodigestión y otras.

Thematic Axis 05 – Solid Waste
Treatment and reuse technologies: composting, biodigestion, and others.

RESUMO

O desperdício de alimentos é um desafio recorrente em instituições públicas de ensino, onde a merenda escolar representa não apenas um direito social, mas muitas vezes a principal refeição diária de crianças. Nesse contexto, o presente projeto foi desenvolvido com o objetivo de promover o aproveitamento de resíduos orgânicos da alimentação escolar, por meio da compostagem e de sua aplicação em hortas nas escolas municipais de Pombal-PB. A iniciativa buscou integrar práticas educativas, ambientais e nutricionais, envolvendo alunos, professores e manipuladores de alimentos. As atividades foram realizadas em quatro escolas da rede municipal. Inicialmente, realizou-se o levantamento do desperdício de alimentos, com a separação e a pesagem dos resíduos produzidos durante a merenda escolar. Esse processo permitiu quantificar a geração de resíduos e sensibilizar a comunidade escolar para a importância do manejo sustentável. Em seguida, foram promovidos minicursos, palestras e oficinas educativas, voltados para estudantes e merendeiras, abordando boas práticas de manipulação, reaproveitamento de alimentos e técnicas de compostagem. Como apoio às atividades, foram confeccionados materiais didáticos, como cartilhas e apostilas, que auxiliaram na fixação dos conteúdos e possibilitaram a continuidade das práticas dentro das escolas. A etapa prática consistiu na implantação de hortas escolares, utilizando a compostagem produzida a partir dos resíduos da merenda combinada com esterco animal. As

hortas possibilitaram não apenas a destinação adequada dos resíduos, mas também a produção de hortaliças como coentro, utilizadas como exemplo de cultivo sustentável. Após as ações, observou-se uma redução média de 15% a 21% na geração de resíduos nas escolas. Paralelamente, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas das preparações da merenda escolar. Os resultados indicaram que todas as amostras estavam em conformidade com os padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente, assegurando a segurança alimentar das refeições. Os impactos observados incluíram a redução do desperdício, a valorização dos resíduos orgânicos e a conscientização socioambiental da comunidade escolar. O projeto demonstrou a viabilidade da compostagem como tecnologia de tratamento e reutilização de resíduos, além de fortalecer a integração entre universidade e comunidade, por meio de práticas educativas e ambientais.

Palavras-chave: Reutilização, Sustentabilidade, Resíduos sólidos, Educação infantil

RESÚMEN

El desperdicio de alimentos es un problema recurrente en las instituciones educativas públicas, donde la alimentación escolar representa no solo un derecho social, sino también, a menudo, la principal comida diaria de los niños. En este contexto, se desarrolló este proyecto para promover el aprovechamiento de los residuos orgánicos de la alimentación escolar mediante el compostaje y su aplicación en huertos en las escuelas municipales de Pombal, Paraíba. La iniciativa buscó integrar prácticas educativas, ambientales y nutricionales, involucrando a estudiantes, docentes y manipuladores de alimentos. Las actividades se llevaron a cabo en cuatro escuelas municipales. Inicialmente, se realizó un censo de desperdicio de alimentos, separando y pesando los residuos producidos durante la alimentación escolar. Este proceso permitió cuantificar la generación de residuos y concientizar a la comunidad escolar sobre la importancia de la gestión sostenible. Posteriormente, se impartieron cursos cortos, charlas y talleres educativos para estudiantes y personal de comedores escolares, abarcando buenas prácticas en manipulación de alimentos, reciclaje de alimentos y técnicas de compostaje. Se elaboraron materiales didácticos, como folletos y folletos, para apoyar las actividades, lo que contribuyó a reforzar el contenido y facilitó la continuidad de las prácticas en las escuelas. La fase práctica consistió en establecer huertos escolares utilizando composta producida a partir de residuos de almuerzos combinados con estiércol animal. Los huertos permitieron no solo la correcta eliminación de residuos, sino también la producción de hortalizas como el cilantro, utilizado como ejemplo de cultivo sostenible. Tras la implementación de capacitaciones, hubo una reducción del 15% al 21% en los residuos generados. Simultáneamente, se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos de las preparaciones de los almuerzos escolares. Los resultados indicaron que todas las muestras cumplieron con los estándares de calidad exigidos por la legislación vigente, garantizando así la inocuidad alimentaria. Los impactos observados incluyeron la reducción de residuos, el mayor aprovechamiento de residuos orgánicos y una mayor conciencia socioambiental en la comunidad escolar. El proyecto demostró la viabilidad del compostaje como tecnología de tratamiento y reutilización de residuos, además de fortalecer la integración universidad-comunidad mediante prácticas educativas y ambientales.

Palabras clave: Reutilización, Sostenibilidad, Residuos Sólidos, Educación Infantil

ABSTRACT

Food waste is a recurring challenge in public educational institutions, where school meals represent not only a social right but often the main daily meal for children. In this context, this project was developed to promote the use of organic waste from school meals through composting and its application in vegetable gardens in municipal schools in Pombal, Paraíba. The initiative sought to integrate educational, environmental, and nutritional practices, involving students, teachers, and food handlers. The activities were carried out in four municipal schools. Initially, a food waste survey was conducted, separating and weighing the waste produced during school meals. This process allowed for the quantification of waste generation and raised awareness within the school community about the importance of sustainable management. Subsequently, short courses, lectures, and educational workshops were held for students and lunch staff, covering good practices in food handling, food recycling, and composting techniques. Teaching materials, such as booklets and handouts, were produced to support the activities, helping to reinforce the content and enabling the continuation of the practices within the schools. The practical phase consisted of establishing school gardens using compost produced from lunch waste combined with animal manure. The gardens enabled not only the proper disposal of waste but also the production of vegetables such as cilantro, used as an example of sustainable cultivation. After implementing the training, food waste was reduced by 15% to 21%. Simultaneously, physical, chemical, and microbiological analyses of the school lunch preparations were conducted. The results indicated that all samples met the quality standards required by current legislation, ensuring food safety. The observed impacts included reduced waste, increased use of organic waste, and increased socio-environmental awareness within the school community. The project demonstrated the viability of composting as a waste treatment and reuse technology, in addition to strengthening university-community integration through educational and environmental practices.

Keywords: Reuse, Sustainability, Solid Waste, Early Childhood Education

INTRODUÇÃO

O desperdício de alimentos constitui um problema social e ambiental de grande relevância, sobretudo em ambientes escolares, onde a alimentação oferecida desempenha papel essencial para a saúde e o desenvolvimento infantil. Além de garantir nutrientes fundamentais, a merenda oferecida nas escolas representa, em diversas situações, a principal refeição cotidiana de crianças em condições de vulnerabilidade, ressaltando necessidade de assegurar padrões de qualidade, segurança e sustentabilidade nesse processo.(Cipriani, Barros e Gabriel, 2023).

A destinação inadequada de resíduos orgânicos provenientes da merenda compromete a segurança alimentar e gera impactos negativos ao meio ambiente. Nesse cenário, a

compostagem surge como uma tecnologia acessível e sustentável de tratamento e reutilização, permitindo transformar resíduos em insumos agrícolas para hortas escolares, fortalecendo a educação ambiental e a promoção de hábitos mais conscientes (Oliveira 2022; Boff 2017).

O projeto desenvolvido nas escolas municipais de Pombal-PB buscou aliar atividades educativas e práticas sustentáveis, promovendo a redução do desperdício, o reaproveitamento de resíduos orgânicos e a conscientização socioambiental de alunos, professores e manipuladores de alimentos. Foram aplicados minicursos, oficinas e a implantação de hortas escolares como estratégia para integrar teoria e prática, aproximando universidade e comunidade.

Dessa forma, ao apresentar a compostagem como alternativa tecnológica para a destinação sustentável dos resíduos orgânicos gerados na alimentação escolar e demonstrar sua aplicabilidade em instituições de ensino fundamental, o estudo integra tecnologias de tratamento e reutilização.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido no município de Pombal-PB, em quatro escolas da rede municipal de ensino fundamental: EMEF Francisco José Santana, EMEF Matilde de Castro, EMEF Vida Nova e EMEF Professor Newton Seixas. A execução contou com a participação de alunos, merendeiras, professores e extensionistas universitários, por meio de atividades presenciais, oficinas práticas e ações de sensibilização socioambiental.

A metodologia contemplou etapas sequenciais que buscaram integrar teoria e prática. Inicialmente, foi realizado um levantamento sobre o desperdício de alimentos e as condições de armazenamento e preparo da merenda escolar. Em seguida, promoveu-se a separação e a pesagem dos resíduos orgânicos gerados diariamente nas escolas. Esse processo possibilitou a análise quantitativa do desperdício e o planejamento de estratégias de aproveitamento. A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas de desenvolvimento do projeto, evidenciando a integração entre ações educativas e práticas de sustentabilidade.

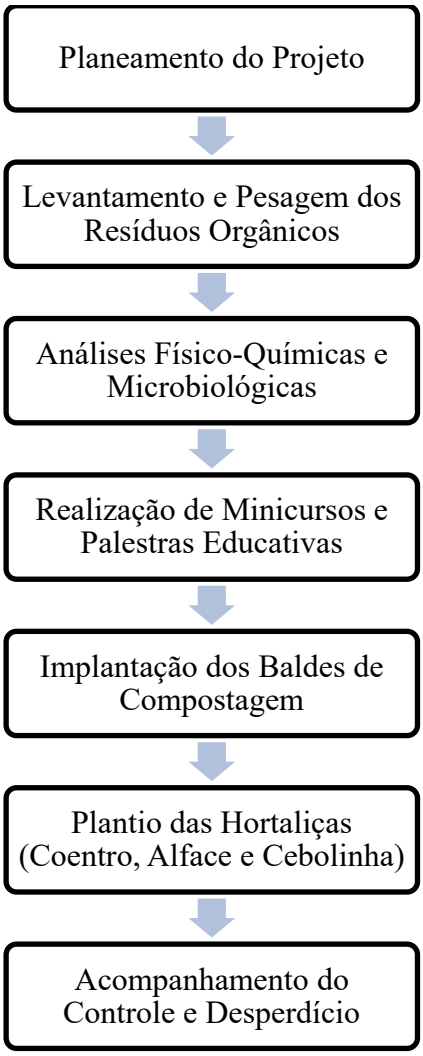


Figura 1. Etapas do desenvolvimento do projeto
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Foram organizados minicursos e palestras direcionados a alunos e manipuladores de alimentos, com foco no reaproveitamento de resíduos e na implantação da compostagem como alternativa de destinação sustentável. Durante essas formações, foram distribuídos materiais didáticos, como cartilhas e apostilas, elaborados para auxiliar na compreensão das práticas de compostagem, no manejo correto dos resíduos e no aproveitamento integral dos alimentos.

A etapa seguinte incluiu a implantação de hortas escolares, utilizando como insumo a compostagem produzida a partir dos resíduos coletados. Em cada escola, foram fornecidos baldes de compostagem contendo resíduos orgânicos, esterco animal e sementes de coentro, além de orientações para o cultivo de outras espécies vegetais. As atividades práticas envolveram tanto os estudantes quanto os profissionais da merenda, promovendo a troca de saberes entre comunidade escolar e universidade (Oliveira 2022).

Para garantir a segurança alimentar, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas dos alimentos servidos na merenda, em conformidade com os parâmetros legais de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil 2022). Essas análises ocorreram em paralelo ao acompanhamento do plantio das hortas, permitindo avaliar a evolução dos produtos e a efetividade da compostagem como prática de reaproveitamento sustentável.

A metodologia aplicada foi construída com base em princípios de educação ambiental e sustentabilidade, promovendo a integração entre ensino, extensão e comunidade local, em consonância com os objetivos da segurança alimentar e da valorização dos resíduos orgânicos (Cipriani, Barros e Gabriel, 2023; Boff 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto foi desenvolvido de forma contínua ao longo de cinco meses, possibilitando a aplicação prática de ações voltadas à redução do desperdício e ao aproveitamento de resíduos orgânicos. Nas primeiras etapas, o levantamento da merenda e a pesagem dos resíduos gerados nas escolas (Tabela 1) permitiram identificar a quantidade de alimentos descartados diariamente, sensibilizando a comunidade escolar para a magnitude do problema. Essa prática mostrou-se essencial para fomentar a reflexão crítica sobre hábitos de consumo e o uso racional dos recursos (Cipriani, Barros e Gabriel, 2023).

Tabela 1. Quantidade média de resíduos antes e depois das oficinas

Escola	Redução	Antes	Depois
EMEF Francisco José Santana	15%	1,38 kg/dia	1,17 kg/dia
EMEF Matilde de Castro	15%	1,32 kg/dia	1,12 kg/dia
EMEF Vida Nova	21%	1,74 kg/dia	1,37 kg/dia
EMEF Professor Newton Seixas	15%	1,46 kg/dia	1,24 kg/dia

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os minicursos e oficinas realizados com merendeiras e alunos (Figura 2) tiveram impacto positivo na adesão às práticas sustentáveis. Os estudantes participaram de atividades educativas sobre reaproveitamento de alimentos e importância da compostagem, enquanto as merendeiras receberam capacitação prática sobre boas práticas de manipulação, redução do desperdício e uso dos resíduos na produção de adubo orgânico. Nesse processo de formação, tanto as merendeiras quanto os alunos receberam material educativo ilustrado (Figura 3), o que contribuiu para a consolidação de conhecimentos aplicáveis ao cotidiano escolar e familiar, fortalecendo a integração entre universidade e comunidade (Oliveira 2022).

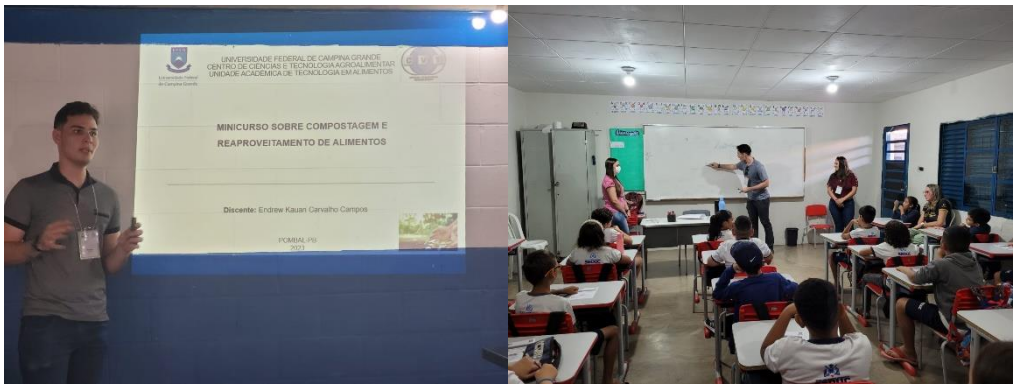


Figura 2. Minicursos com as merendeiras e oficinas com os alunos das escolas municipais.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 3. Material utilizado no minicurso e oficinas.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A implantação de hortas escolares foi um dos resultados mais significativos do projeto. Cada escola recebeu um balde de compostagem com resíduos alimentares e esterco animal. O composto encontrava-se em fase de maturação e foi posteriormente utilizado no plantio de coentro, alface e cebolinha. A Escola Matilde de Castro não participou do plantio por limitações de espaço físico. Após as capacitações, observou-se redução de 15% a 21% nas quantidades de resíduos, evidenciando a eficácia das oficinas na diminuição do desperdício. Essa iniciativa não apenas reduziu o volume de resíduos descartados, mas também proporcionou o acesso a alimentos frescos e nutritivos, incentivando a adoção de práticas de agricultura sustentável no ambiente escolar (Boff 2017).

Além disso, as análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nas preparações da merenda confirmaram que os alimentos estavam em conformidade com os padrões de qualidade e segurança estabelecidos pela legislação vigente (Brasil 2022). Esses resultados demonstram que as ações de capacitação e monitoramento contribuíram para a melhoria do

processo de manipulação dos alimentos, garantindo refeições seguras para os estudantes.

De forma geral, a experiência revelou que a associação entre educação ambiental, compostagem e alimentação escolar é eficaz para promover mudanças de comportamento, fortalecer a consciência socioambiental e reduzir os impactos negativos relacionados ao desperdício de alimentos. A interação entre teoria e prática possibilitou maior envolvimento da comunidade escolar, mostrando o potencial de replicação dessa metodologia em outras instituições de ensino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido nas escolas municipais de Pombal-PB mostrou-se eficaz na redução do desperdício de alimentos e no aproveitamento de resíduos orgânicos por meio da compostagem. As atividades educativas e práticas, realizadas com alunos e merendeiras, possibilitaram a compreensão do ciclo sustentável de reaproveitamento, ao mesmo tempo em que promoveram mudanças de comportamento em relação ao manejo dos resíduos. As hortas escolares implantadas demonstraram a viabilidade da utilização da compostagem como insumo produtivo, associando a destinação correta dos resíduos à produção de alimentos mais saudáveis no ambiente escolar. Paralelamente, as análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram a qualidade e segurança das preparações da merenda, reforçando a importância das boas práticas de manipulação. De modo geral, a experiência contribuiu para a conscientização socioambiental da comunidade escolar, evidenciando que a integração entre educação, extensão e práticas sustentáveis é capaz de gerar impactos positivos tanto na segurança alimentar quanto na gestão responsável de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: o que é-o que não é. Editora Vozes Limitada, 2017.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2022. Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jul. 2022.

CIPRIANI, Débora Cristina; BARROS, Ana Carolina Alencar; GABRIEL, Cristine Garcia. Alimentos e preparações culinárias regionais e da sociobiodiversidade na alimentação escolar brasileira: uma revisão integrativa. Segurança Alimentar e Nutricional, v. 30, p. e023017-e023017, 2023.

OLIVEIRA, Stephany Rochelle da Silva de. Aproveitamento de resíduos orgânicos através da compostagem aplicado em jardim e horta escolar. 2022.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19057302

APROVEITAMENTO DA CASCA DE BANANA COMO INGREDIENTE SUSTENTÁVEL NA FORMULAÇÃO DE COOKIES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DE RESÍDUOS RURAIS

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE BANANO COMO INGREDIENTE SOSTENIBLE EN LA FORMULACIÓN DE GALLETAS: UNA ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS RURALES

UTILIZATION OF BANANA PEEL AS A SUSTAINABLE INGREDIENT IN COOKIE FORMULATION: AN ALTERNATIVE FOR REDUCING RURAL WASTE

Cândida Martins[1], Marcos Sousa Neto[2], Kênia Alves Pereira[3] e Yanara Gomes de Oliveira[4].

[1]Graduando em Engenharia De Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, lucileclpm79@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-3953-8344;
[2]Graduando em Engenharia de Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, marcos.neto@estudante.ufcg.edu.brhttps://orcid.org/0009-0008-9520-9240;
[3]Mestranda em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal – Paraíba, Brasil, keniaalves.jpg@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-7633-676X;
[4]Mestranda em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal – Paraíba, Brasil, yanaragoliveira@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6673-7481;

Eixo temático 06 – Resíduos sólidos
Reduzir, reciclar e reutilizar

Eje temático 06 – Residuos sólidos
Reducir, reciclar y reutilizar.

Thematic axis 06 – Solid waste
Reduce, recycle and reuse.

RESUMO

O saneamento em áreas rurais continua sendo um desafio significativo para o desenvolvimento sustentável no Brasil, principalmente devido à insuficiência de políticas públicas voltadas à gestão adequada de resíduos agroalimentares. Nesse contexto, a valorização de subprodutos vegetais surge como uma estratégia promissora, capaz de promover a economia circular, reduzir o impacto ambiental e agregar valor a resíduos que, de outra forma, seriam descartados inadequadamente. Este estudo teve como objetivo investigar a viabilidade tecnológica e nutricional da farinha de casca de banana (FCB) como ingrediente alternativo na produção de cookies, com o intuito de transformar um resíduo agroindustrial em um recurso funcional, promovendo práticas sustentáveis de saneamento rural e inovação na indústria de panificação. O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Pombal – PB, no período de

março a junho de 2025. As cascas de banana foram cuidadosamente higienizadas, branqueadas a 90 °C por 2 minutos, secas a 60 °C até atingir peso constante, trituradas e peneiradas em malha de 60 mesh, resultando na obtenção da FCB. Duas formulações de cookies foram preparadas, substituindo parcialmente a farinha de trigo por FCB: F1, com 10%, e F2, com 20% de substituição. As análises físico-químicas, incluindo umidade, acidez titulável total e teor de cinzas, seguiram metodologias estabelecidas pela AOAC (2000). Paralelamente, a avaliação sensorial foi realizada com 30 provadores, utilizando escala hedônica de nove pontos para mensurar cor, aroma, sabor, textura e aceitação global dos produtos. Os resultados indicaram que ambas as formulações apresentaram umidade inferior a 14%, assegurando crocância e estabilidade microbiológica. O teor de cinzas aumentou conforme a concentração de FCB, atingindo 1,45% em F1 e 1,80% em F2, refletindo maior aporte mineral e potencial funcional. A acidez titulável apresentou ligeiro aumento em F2, atribuído à presença de compostos fenólicos e ácidos orgânicos da casca, sem impactar negativamente a qualidade sensorial. Quanto à aceitação, ambas as formulações foram bem avaliadas, com destaque para F1, que apresentou equilíbrio ideal entre textura e sabor. Em conclusão, a farinha de casca de banana demonstra-se uma alternativa tecnológica viável e sustentável para a indústria de panificação, contribuindo para a redução do desperdício agroalimentar, o fortalecimento da economia circular e o desenvolvimento de alimentos funcionais com baixo impacto ambiental. A implementação dessa estratégia pode representar um avanço significativo para práticas de saneamento rural e inovação alimentar no contexto brasileiro.

Palavras-chave: resíduos agroindustriais, saneamento rural, economia circular, sustentabilidade, aproveitamento alimentar

RESÚMEN

El saneamiento en áreas rurales sigue constituyendo un desafío relevante para el desarrollo sostenible en Brasil, principalmente debido a la insuficiencia de políticas públicas orientadas a la gestión adecuada de residuos agroindustriales. En este marco, la valorización de subproductos vegetales se presenta como una estrategia prometedora para promover la economía circular, mitigar el impacto ambiental y agregar valor a residuos que, de otro modo, serían desechados. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la viabilidad tecnológica y nutricional de la harina de cáscara de plátano (HCP) como ingrediente alternativo en la producción de galletas, transformando un subproducto agroindustrial en un recurso funcional y fomentando prácticas sostenibles de saneamiento rural e innovación en la industria de la panificación. El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), campus Pombal – PB, entre marzo y junio de 2025. Las cáscaras de plátano fueron cuidadosamente higienizadas, blanqueadas a 90 °C durante 2 minutos, secadas a 60 °C hasta peso constante, trituradas y tamizadas con malla de 60, obteniéndose la HCP. Se elaboraron dos formulaciones de galletas, sustituyendo parcialmente la harina de trigo por HCP: F1 con 10% y F2 con 20%. Los análisis físico-químicos, incluyendo humedad, acidez titulable total y contenido de cenizas, se realizaron según metodologías AOAC (2000). La evaluación sensorial contó con 30 catadores, quienes valoraron color, aroma, sabor, textura y aceptación global mediante una escala hedónica de nueve puntos. Ambas formulaciones presentaron humedad inferior al 14%,

asegurando crocancia y estabilidad microbiológica. El contenido de cenizas aumentó proporcionalmente a la concentración de HCP (1,45% en F1 y 1,80% en F2), reflejando mayor aporte mineral y potencial funcional. La acidez titulable aumentó ligeramente en F2 debido a compuestos fenólicos y ácidos orgánicos presentes en la cáscara, sin afectar la calidad sensorial. En cuanto a aceptación, ambas formulaciones fueron bien valoradas, destacándose F1 por mantener un equilibrio óptimo entre textura y sabor. En conclusión, la harina de cáscara de plátano constituye una alternativa tecnológica viable y sostenible para la panificación, contribuyendo a la reducción de residuos agroindustriales, al fortalecimiento de la economía circular y al desarrollo de alimentos funcionales con bajo impacto ambiental. Su implementación representa un avance significativo para las estrategias de saneamiento rural y la innovación alimentaria en el contexto brasileño.

Palabras clave: residuos agroindustriales, saneamiento rural, economía circular, sostenibilidad, aprovechamiento alimentario

ABSTRACT

The experiment was conducted at the Sensory Analysis Laboratory of the Federal University of Campina Grande (UFCG), Pombal campus – PB, from March to June 2025. Banana peels were carefully sanitized, blanched at 90 °C for 2 minutes, dried at 60 °C until constant weight, ground, and sieved through a 60-mesh screen to obtain BPF. Two cookie formulations were prepared, partially substituting wheat flour with BPF: F1 with 10% and F2 with 20%. Physicochemical analyses, including moisture content, total titratable acidity, and ash content, followed AOAC (2000) methodologies. Sensory evaluation involved 30 panelists, who rated color, aroma, flavor, texture, and overall acceptance using a nine-point hedonic scale. Both formulations exhibited moisture levels below 14%, ensuring crispness and microbiological stability. Ash content increased proportionally with BPF concentration (1.45% in F1 and 1.80% in F2), indicating enhanced mineral content and functional potential. Titratable acidity slightly increased in F2 due to phenolic compounds and organic acids present in the peel, without compromising sensory quality. Regarding acceptance, both formulations were well received, with F1 standing out for achieving an optimal balance between texture and flavor. In conclusion, banana peel flour represents a viable and sustainable technological alternative for the bakery industry, contributing to reduced agro-industrial waste, strengthened circular economy practices, and the development of functional foods with low environmental impact. Its implementation offers a meaningful advancement for rural sanitation strategies and food innovation in the Brazilian context.

Keywords: agro-industrial waste, rural sanitation, circular economy, sustainability, food utilization

INTRODUÇÃO

O saneamento em áreas rurais representa um desafio persistente para o desenvolvimento sustentável no Brasil, especialmente em regiões com intensa produção agrícola e agroindustrial. A

ausência de políticas públicas estruturadas para o manejo e reaproveitamento de resíduos orgânicos compromete a sustentabilidade dos sistemas produtivos e pode gerar impactos ambientais, como a contaminação do solo e da água, além da proliferação de patógenos que afetam a saúde pública (Ribeiro et al., 2022).

Nesse cenário, o aproveitamento de resíduos agroalimentares surge como uma alternativa estratégica para promover a economia circular e reduzir os impactos ambientais do descarte inadequado. A valorização de subprodutos vegetais, como cascas, talos e polpas residuais, tem demonstrado potencial para agregar valor nutricional e tecnológico a novos produtos, contribuindo para a redução do desperdício e a sustentabilidade dos sistemas alimentares (Carvalho, Oliveira e Rodrigues, 2021; FAO, 2023).

Entre esses subprodutos, destaca-se a casca de banana (Musa spp.), um resíduo amplamente gerado devido ao elevado consumo e processamento da fruta. Estima-se que a casca corresponda a cerca de 30 a 40% do peso total do fruto, sendo normalmente descartada, o que aumenta a carga orgânica de resíduos e acentua os problemas de saneamento em comunidades rurais (FAO, 2022). A literatura aponta que a casca de banana apresenta composição nutricional relevante, com teores consideráveis de fibras alimentares, potássio, magnésio, cálcio e compostos fenólicos com ação antioxidante, o que a torna uma matéria-prima promissora para aplicação na indústria de alimentos (Cândido et al., 2021; Ayoub et al., 2022; Silva et al., 2023).

A conversão desse resíduo em farinha de casca de banana (FCB) possibilita seu uso como ingrediente funcional em produtos panificados, promovendo melhorias nutricionais e tecnológicas. Estudos indicam que a substituição parcial da farinha de trigo por FCB, em proporções entre 10% e 20%, mantém aceitabilidade sensorial satisfatória e contribui para o enriquecimento mineral e aumento do teor de fibras nos produtos (Ayoub et al., 2022; Silva et al., 2023). Essa prática está em consonância com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12, que visa garantir padrões sustentáveis de produção e consumo, além de atender aos princípios da bioeconomia e da inovação sustentável (FAO, 2023).

No contexto da panificação, a incorporação de ingredientes alternativos como a farinha da casca da banana (FCB) reforça o compromisso com práticas de produção mais limpa e reduz a dependência de farinhas refinadas. Ademais, a legislação brasileira, por meio da Resolução RDC nº 263/2005, da ANVISA, estabelece parâmetros de identidade e qualidade para biscoitos e cookies, o que respalda a utilização de matérias-primas não convencionais, desde que tecnicamente seguras e nutricionalmente adequadas (Brasil, 2005).

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade tecnológica e nutricional da utilização da farinha de casca de banana na formulação de cookies, propondo uma alternativa sustentável que reduza a geração de resíduos agroindustriais e promova práticas de saneamento ambiental. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Pombal – PB, no período de **março a junho de 2025**. A inovação deste trabalho reside na análise simultânea dos parâmetros físico-químicos em diferentes proporções de substituição, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos funcionais e ambientalmente responsáveis, alinhados às metas globais de sustentabilidade e redução de resíduos alimentares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental e aplicada, desenvolvida com o objetivo de avaliar a viabilidade tecnológica e nutricional da incorporação da farinha de casca de banana (FCB) na formulação de cookies, como alternativa sustentável para a redução de resíduos agroalimentares e promoção de práticas de saneamento rural.

3.1 Materiais

Foram utilizados os seguintes ingredientes: farinha de trigo (sem fermento), farinha de casca de banana (FCB), açúcar refinado, manteiga, ovos, gotas de chocolate, raspas e suco de limão (opcional), sal e essência de baunilha (opcional). As cascas de bananas maduras descartadas para consumo foram coletadas no Sítio Pilões, localizado na zona rural de São João do Rio do Peixe – PB, e transportadas até o Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Campina Grande

(UFCG)**,** campus Pombal – PB. Os demais insumos foram adquiridos em estabelecimento comercial da cidade de Pombal-PB (Supermercado Hiper Real**),** garantindo procedência e padronização das matérias-primas.

3.2 Processamento da casca de banana

O processamento das cascas seguiu metodologia adaptada de Cândido et al. (2021). Após a pesagem das casacas 2kg, foi feita a higienização em água corrente, realizou-se a sanitização em solução clorada a 200 $mg \cdot L^{-1}$ por 15 minutos. As cascas foram branqueadas em água a 90 °C por 2 minutos para reduzir a carga microbiana e inativar enzimas oxidativas. Posteriormente, foram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C por 24 horas, trituradas em moinho de facas e peneiradas em malha de 60 mesh (0,25 mm), obtendo-se 580 g da farinha de casca de banana (FCB) com granulometria uniforme, correspondendo a um rendimento de 29%, calculado pela relação entre a massa de farinha obtida e a massa de casca inicial. Este procedimento evidencia que a transformação das cascas em farinha contribui para a redução da geração de resíduos orgânicos, promovendo reaproveitamento de subprodutos e minimizando impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

3.3 Formulação dos cookies

Foram desenvolvidas duas formulações experimentais, substituindo parcialmente a farinha de trigo por FCB em proporções de 10% (F1) **e** 20% (F2), conforme descrito a seguir:

- F1: 180 g de farinha de trigo + 20 g de FCB;
- F2: 160 g de farinha de trigo + 40 g de FCB.

As demais proporções de ingredientes foram mantidas constantes, conforme o padrão da formulação controle, garantindo a comparabilidade dos resultados.

3.4 Preparo das massas

Para o preparo das massas, a manteiga foi homogeneizada com o açúcar até a formação de creme uniforme, sendo posteriormente adicionados ovos, essência de baunilha e raspas de limão. Em seguida, os ingredientes secos peneirados (farinha de trigo, FCB e sal) foram incorporados à mistura, e as gotas de chocolate adicionadas ao final.

3.5 Modelagem e cocção

A massa foi dividida em porções de aproximadamente 25 g, moldadas manualmente em formato esférico e dispostas em assadeira forrada com papel manteiga, mantendo espaçamento de 3 cm entre as unidades. Os cookies foram assados em forno elétrico pré-aquecido a 180 °C por 12–15 minutos, até atingir coloração levemente dourada nas bordas. Cada formulação apresentou rendimento médio de 21 a 22 unidades de 25 g.

3.6 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram conduzidas no Laboratório de Leite e Derivados (GEPLAC/UFCG), de acordo com metodologias oficiais da AOAC (2000), com adaptações para o Sistema Internacional (SI). A umidade foi determinada por secagem em estufa a 105 °C até peso constante; o teor de cinzas por incineração em mufla a 550 °C até formação de resíduo branco acinzentado; e a Acidez titulável total (ATT), por titulação com solução de NaOH 0,1 $mol \cdot L^{-1}$, utilizando fenolftaleína como indicador, com resultados expressos em % de ácido cítrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises físico-químicas dos cookies

Os resultados das análises físico-químicas das formulações contendo 10% (F1) e 20% (F2) de farinha de casca de banana (FCB) estão apresentados na Tabela 1. As variáveis avaliadas umidade, acidez titulável total (ATT) e teor de cinzas são parâmetros determinantes para a estabilidade, textura e valor nutricional de produtos panificados.

Tabela 1 – Resultados físico-químicos das formulações de cookies elaborados com diferentes proporções de FCB.

Parâmetro	F1 (10% FCB)	F2 (20% FCB)	Referência Legal*
Umidade (%)	5,35 ± 0,02	5,50 ± 0,03	≤ 14,0
Acidez titulável total (% ácido cítrico)	5,5 ± 0,1	5,9 ± 0,2	-
Cinzas (%)	1,45 ± 0,03	1,80 ± 0,05	-

*Fonte: RDC nº 263/2005 (BRASIL, 2005).

As amostras apresentaram valores de umidade significativamente inferiores ao limite máximo estabelecido pela legislação (14%), assegurando baixa atividade de água e, consequentemente, maior estabilidade microbiológica e crocância — características desejáveis em produtos de panificação (Silva et al., 2023). Resultados semelhantes foram relatados por Ayoub et al. (2022), que observaram diminuição progressiva da umidade em biscoitos elaborados com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de banana e outros farelos vegetais, associando tal comportamento à maior absorção de água pelas fibras insolúveis presentes no subproduto.

A acidez titulável total variou entre 5,5% e 5,9%, valores considerados adequados para cookies, indicando boa estabilidade química e ausência de degradação lipídica. O leve aumento observado na formulação F2 pode estar relacionado à presença de compostos fenólicos e ácidos orgânicos naturais da casca de banana, como ácido gálico e catequina, descritos por Cândido et al. (2021) e Carvalho et al. (2021) como responsáveis pela atividade antioxidante da FCB. Essa ligeira elevação da acidez não comprometeu a qualidade tecnológica, estando em conformidade com resultados obtidos em estudos de formulações similares (Silva et al., 2023; FAO, 2022).

Em relação ao teor de cinzas, verificou-se incremento proporcional à concentração de FCB, com aumento de 1,45% em F1 para 1,80% em F2, o que reflete o elevado conteúdo mineral da casca de banana. Segundo Ayoub et al. (2022), esse aumento é atribuído à alta concentração de potássio, magnésio, cálcio e fósforo, confirmando o potencial da FCB como ingrediente para enriquecimento mineral e funcional de produtos panificados. Esse comportamento também foi relatado por Silva et al. (2023), que verificaram crescimento linear no teor de cinzas de biscoitos com adição de até 20% de farinha de casca de banana, sem alteração significativa da textura final.

Dessa forma, a substituição parcial da farinha de trigo por FCB manteve os parâmetros tecnológicos e nutricionais dentro dos padrões esperados para cookies comerciais, demonstrando a viabilidade de incorporação desse subproduto sem prejuízo à estabilidade e à aceitabilidade do produto final.

4.3 Impacto nutricional e comparação com cookies tradicionais

Do ponto de vista nutricional, a inclusão da FCB na formulação dos cookies proporcionou incremento significativo no teor de fibras e minerais, além de contribuir para a redução do teor de carboidratos simples, o que resulta em produto de maior valor funcional (Cândido et al., 2021; Ayoub et al., 2022). Essa característica é especialmente relevante considerando a tendência de mercado por alimentos com apelo saudável e ingredientes naturais, conforme apontado pela FAO (2023).

A adição da FCB também influencia positivamente a estrutura e textura dos produtos panificados. Segundo Ayoub et al. (2022), a presença de fibras insolúveis aumenta a retenção de água e promove maior resistência mecânica, contribuindo para a crocância e firmeza dos cookies. Silva et al. (2023) relatam que formulações com até 20% de substituição apresentaram boa aceitabilidade sensorial e coloração levemente amarelada, associada aos pigmentos carotenoides da casca.

A utilização da FCB reduz ainda a dependência de farinhas refinadas, promovendo diversificação de matérias-primas e agregando valor a um resíduo agroindustrial de baixo custo. Essa prática está alinhada aos princípios da economia circular e da bioeconomia, que visam reduzir o

desperdício e incentivar o uso integral dos alimentos (Carvalho, Oliveira e Rodrigues, 2021; Silveira, Mendes e Costa, 2021).

4.4 Sustentabilidade e saneamento rural

A produção de 580 g de farinha a partir de 2 kg de cascas evidencia um rendimento de 29%, permitindo estimar a diminuição de resíduos orgânicos descartados. O reaproveitamento da FCB promove redução de resíduos sólidos na comunidade, gera benefícios ambientais mensuráveis e contribui para práticas sustentáveis de gestão de resíduos (da Silva et al., 2022; Silveira et al., 2021).

Essa transformação de resíduos agroindustriais em ingrediente funcional favorece produção mais limpa e inovação tecnológica, enquanto o processo de secagem e moagem assegura estabilidade microbiológica, facilidade de armazenamento e ampla aplicabilidade industrial (Cândido et al., 2021; FAO, 2022; Ribeiro et al., 2022).

Portanto, a incorporação da FCB em cookies e outros produtos de panificação reforça o conceito de alimentação sustentável e inovadora, conciliando benefícios ambientais, nutricionais e tecnológicos, e consolidando princípios de economia circular e gestão eficiente de resíduos sólidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou a viabilidade do reaproveitamento da casca de banana, transformada em farinha e incorporada à formulação de cookies, evidenciando seu potencial na gestão sustentável de resíduos e práticas de saneamento rural. A transformação do subproduto em farinha permite quantificar o rendimento e estimar a redução de resíduos orgânicos, fornecendo dados que podem orientar estratégias de reaproveitamento em comunidades rurais.

A farinha de casca de banana (FCB) contribuiu para o enriquecimento nutricional e tecnológico dos produtos, confirmando seu papel como ingrediente funcional em panificação, com aplicação tanto em escala artesanal quanto industrial.

Os resultados ressaltam que a FCB promove benefícios ambientais mensuráveis, ao reduzir a geração de resíduos orgânicos, e fortalece a inovação alimentar, possibilitando o desenvolvimento de produtos mais saudáveis, sustentáveis e tecnicamente viáveis.

Portanto, a utilização da FCB em produtos de panificação constitui uma alternativa promissora para a valorização de subprodutos alimentares, incentivando práticas sustentáveis, inovação tecnológica e melhoria da qualidade nutricional de alimentos, alinhando-se aos princípios de economia circular e desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS:

Anon. 2025. "Desenvolvimento e caracterização de cookies adicionados de farinha de casca de banana." *AgroFood Academy.* Acessado 6 de outubro de 2025.https://agronfoodacademy.com/desenvolvimento-e-caracterizacao-de-biscoitos-tipo-cookie-adicionados-da-farinha-da-casca-de-banana/.

Brasil. 2005. Resolução RDC nº 263/2005 – Regulamento Técnico para Biscoitos e Cookies. Brasília: ANVISA.

Cândido, H. T.; Silva, A. A.; et al. 2021. Minerais e amido resistente em farinhas de banana verde. Research, Society and Development 10(4): e1810413860. https://rsdjournal.org/rsd/article/download/13860/12395/180087.

Carvalho, A. M.; Oliveira, J. A.; Rodrigues, M. A. 2021. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: potencial para a produção de alimentos funcionais. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial 15(2): 123–135.

da Silva, J. A.; Barbosa, A. C.; Rodrigues, A. L. 2022. Aplicações sustentáveis da farinha de casca de banana. Revista Brasileira de Agroecologia 27(2): 145–158. https://www3.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/download/3884/2011/14181.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. 2022. Relatório sobre o Mercado de Bananas 2022. Roma: FAO. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cd3e1df8-6e70-461a-9963-9827ad69389f/content.

Lára Franco dos Santos, Micheli Taiane Lehner, Andressa Ferreira Freitas, and Edi Franciele Ries. 2015. "Caracterização de farinhas de banana caturra e utilização em biscoito dietético." *Magistra* 27 (2): 145–158. https://www3.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/download/3884/2011/14181.

Ribeiro, T. O.; Martins, M. V. L.; Ferreira, A. C.; Barbosa, F. C.; Santos, G. A. S. 2022. Análise da produção científica sobre o saneamento rural nos últimos cinco anos. Research, Society and Development 11. (ok)

Silva, L. M. C.; Ferro, J. A.; Cavalcanti, A. L. F.; et al. 2023. Caracterização físico-química de biscoitos elaborados com farinha de casca de banana. ." *Food Science and Technology* 42 (1): 1–10. Acessado 6 de outubro de 2025. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X23000977.

Silveira, L. M.; Mendes, A. L.; Costa, D. S. A. 2021. Sustentabilidade e aproveitamento de resíduos agroindustriais: o caso da casca de banana. Revista Brasileira de Agroecologia 27(2): 145–158. https://www3.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/download/3884/2011/14181.

Silva, V. D. M., A. N. dos Santos, M. C. C. Macedo, C. G. Rodrigues, V. T. da V. Correia, I. C. A. Lacerda, and C. A. Fante. 2023. "Physicochemical evaluation of coated and interleaved cheeses with films of ripe banana peel and starch enriched with extract of loquat leaves." *Food Chemistry Advances* 2: 100276. https://www.elsevier.com/locate/focha.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19087820

APROVEITAMENTO DAS CASCAS DE ARROZ PARA REMOÇÃO DE COBRE EM LEITO FIXO

USO DE CÁSCARAS DE ARROZ PARA LA REMOCIÓN DE COBRE EN UNA COLUMNA DE LECHO FIJO

USE OF RICE HUSKS FOR COPPER REMOVAL IN A FIXED BED COLUMN

Isadora Kayllane Tavares de Almeida[1], Thâmara Martins Ismael de Sousa[2], Naiara Angelo Gomes[3]

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental, Univerisdade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, isadorakayllanne113@gmail.com;
[2]Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, thamara.martins@professor.ufcg.edu.br;
[3]Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, naiaraangeloccta@gmail.com;

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Reduzir, reciclar e reutilizar
Eje Temático 06 – Resíduos sólidos
reducir, reciclar y reutilizar.

Thematic Axis 06 – solid waste
Reduce, recycle and reuse.

RESUMO

O avanço contínuo da industrialização contribuiu significativamente para o surgimento de impactos ambientais e sociais, como por exemplo contaminação de corpos hídricos por descartes inadequado de efluentes industriais, uma vez que várias industrias não tratam adequadamente seus efluentes. Ademais, o aumento de atividades agrícolas configura-se com uma grande preocupação ambiental, tendo em vista, que por vezes os resíduos gerados são manejados de forma inadequada. O descarte desse material constitui-se um desafio, levando a impactos ambientais consideráveis. Por isso, é imprescindível a utilização dos resíduos agrícolas para outros fins. Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar o uso das cascas de arroz como material adsorvente, empregado no tratamento de soluções sintéticas contendo cobre (Cu^{2+}), em uma coluna de leito fixo. A metodologia empregada consistiu na lavagem, secagem, trituração e peneiramento das cascas de arroz, bem como na preparação das soluções sintéticas contendo Cu^{2+} nas concentrações de 8, 32 e 128 mg/L. A coluna de leito fixo foi montada com um tubo de diâmetro interno de 30 mm e 30 cm de comprimento, empregando a altura de 10cm de leito adsorvente em cada ensaio, com vazão de 13 mL/min. As amostras foram coletadas a cada 10min, durante o tempo total de operação de 360 minutos, e analisadas por espectrofotometria de absorção atômica. O presente estudo demonstrou o elevado potencial das cascas de arroz, pois os resultados em concetrações mais baixas (8mg/L e 32 m/L) e altura de 10 cm atigiram excelente remoção com até 100% nos primeiros minutos de operação e mantendo-se satisfatório ao longo dos 360 minutos. Portanto, a utilização da casca de arroz como material adsorvente representa não apenas uma alternativa viável e de baixo custo para a remoção de cobre, mas também uma estratégia alinhada aos princípios da economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos agroindustriais.

Palavras-chave: Reutilização, Bissorção, Resíduo agrícola,Contaminação de corpos hídricos

RESÚMEN

El continuo avance de la industrialización ha contribuido significativamente a impactos ambientales y sociales, como la contaminación de cuerpos de agua debido a la disposición inadecuada de efluentes industriales, ya que varias industrias no tratan adecuadamente sus efluentes. Además, el aumento de las actividades agrícolas plantea una gran preocupación ambiental, dado que los residuos generados a veces se gestionan incorrectamente. La disposición de este material es un desafío, lo que lleva a impactos ambientales considerables. Por lo tanto, es esencial utilizar los residuos agrícolas para otros fines. Dado lo anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar el uso de cascarilla de arroz como material adsorbente para el tratamiento de soluciones sintéticas que contienen cobre (Cu2+) en una columna de lecho fijo. La metodología empleada consistió en lavar, secar, triturar y tamizar la cascarilla de arroz, así como la preparación de soluciones sintéticas que contienen Cu2+ en concentraciones de 8, 32 y 128 mg/L. La columna de lecho fijo se ensambló con un tubo de 30 mm de diámetro interno, 30 cm de largo y utilizó una altura de lecho adsorbente de 10 cm en cada prueba, con un caudal de 13 mL/min. Se recolectaron muestras cada 10 min durante el tiempo total de operación de 360 minutos y se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Este estudio demostró el alto potencial de la cascarilla de arroz, ya que los resultados a concentraciones más bajas (8 mg/L y 32 mg/L) y una profundidad de 10 cm lograron una excelente remoción, hasta el 100% en los primeros minutos de operación y permaneciendo satisfactoria durante los 360 minutos. Por lo tanto, el uso de cascarilla de arroz como material adsorbente representa no solo una alternativa viable y de bajo costo para la remoción de cobre, sino también una estrategia alineada con los principios de la economía circular, promoviendo la reutilización de residuos agroindustriales.

Palabras clave: Reutilización, Bisorción, Residuos Agrícolas, Contaminación de Cuerpos de Agua

ABSTRACT

The continued advance of industrialization has significantly contributed to environmental and social impacts, such as the contamination of water bodies due to the improper disposal of industrial effluents, as several industries fail to adequately treat their effluents. Furthermore, the increase in agricultural activities poses a major environmental concern, given that the waste generated is sometimes improperly managed. Disposing of this material is a challenge, leading to considerable environmental impacts. Therefore, it is essential to utilize agricultural waste for other purposes. Given the above, this study aimed to evaluate the use of rice husks as an adsorbent material for the treatment of synthetic solutions containing copper (Cu2+) in a fixed-bed column. The methodology employed consisted of washing, drying, grinding, and sieving the rice husks, as well as the preparation of synthetic solutions containing Cu2+ at concentrations of 8, 32, and 128 mg/L. The fixed-bed column was assembled with a 30 mm internal diameter tube, 30 cm long, and used an adsorbent bed height of 10 cm in each test, with a flow rate of 13 mL/min. Samples were collected every 10 min during the total operation time of 360 minutes and analyzed by atomic absorption spectrophotometry. This study demonstrated the high potential of rice husk, since results at lower concentrations (8 mg/L and 32 mg/L) and a depth of 10 cm achieved excellent removal, up to 100% in the first minutes of operation and remaining satisfactory throughout the 360 minutes. Therefore, the use of rice husk as an adsorbent material represents not only a viable and low-cost alternative for copper removal, but also a strategy aligned with the principles of the circular economy, promoting the reuse of agro-industrial waste.

Keywords: Reuse, Disposal, Agricultural waste, Contamination of water bodies

INTRODUÇÃO

O avanço contínuo da industrialização contribuiu significativamente para o surgimento de impactos ambientais e sociais, como por exemplo contaminação de corpos hídricos por descartes inadequado de efluentes industriais, uma vez que várias industrias não tratam adequadamente seus efluentes. Conforme Ribas (2022), indústrias do ramo metarlúgico, curtimento e fertilizantes produzem efluentes ricos em metais pesados e frequetemente despejam seus efluentes sem um tratamento adequado, carecendo assim tecnologias de tratamento capazes de minimizar os impactos ocasionados ao meio ambiente.

Ademais, o aumento de atividades agrícolas configura-se com uma grande preocupação ambiental, tendo em vista, que por vezes os resíduos gerados são manejados de forma inadequada. Gupta *et al.* (2025) destaca que na Índia cerca de 750 milhões de toneladas métricas de resíduos agrícolas são produzidos. O descarte desse material constitui-se um desafio, levando a impactos ambientais consideráveis. Por isso, é imprescindível a utilização dos resíduos agrícolas para outros fins, com o objetivo de minimizar os impactos e possibilitar aplicações de baixo custo.

Dentre os resíduos agrícolas, Malik *et al.* (2024) destacam que para cada 100 kg de grãos de arroz são produzidos 20 kg de resíduos da casca de arroz. A partir de várias pesquisas, verificou-se que o resíduo passou a ser visto como recurso importante, tendo em vista, que o mesmo vem sendo utilizado para geração de biogás, para melhorar as propriedades do concreto e até mesmo para o tratamento de água com adsorção.

De acordo com *Li et al.* (2023), a adsorção empregando resíduos agrícolas é um processo relativamente novo que se mostrou muito promissor na remoção de contaminantes de efluentes, especialmente empregando o carvão ativado, porém os custos são elevados. Os materiais adsorventes derivados de resíduos agrícolas, por sua vez, podem ser utilizados para a remoção de íons de metais pesados em águas residuais, com custos muito baixos. As cascas de arroz possuem um elevado potencial de adsorção, por suas características físico-químicas, como alta porosidade e presença de grupos funcionais, tornando-as adequadas para a descontaminação de águas residuais (Kuo *et al.* 2023; Qiu *et al.* 2022).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar o uso das cascas de arroz como material adsorvente, empregado no tratamento de soluções sintéticas contendo cobre (Cu^{2+}), em uma coluna de leito fixo. Ademais, a pesquisa buscou contribuir com a difusão de informaçõs relevantes sobre o potencial das cascas de arroz e incentivar a economia circular

através da utilização deste resíduo agrícola.

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas empregadas para realização deste trabalho fundamentam-se em 04 etapas principais, descritas no fluxograma (Figura 1). O adsorvente empregado consistiu nas cascas de arroz (*Oryza Sativa L.*), coletadas em uma fábrica, localizada na cidade de Patos, Paraíba. Posteriormente, o material foi encaminhado ao Laboratório de Análise de Água, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB, para realizar todo o processo de preparação do material. A princípio, as cascas de arroz foram lavadas com água destilada em abundância, até remover todas as impurezas visíveis. Consecutivamente, foram separadas em bandejas e secas em estufa por 24 h numa temperatura de 100ºC (Yanaka et al., 2021; Sarkale; Jadhav, 2021). O material seco foi triturado em um moinho de facas do tipo Willye (modelo STAR FT – 50) e peneirado em peneiras ABNT n° 35 e 20, visando obter partículas de cascas de arroz com diâmetros médios entre 0,5 e 0,84 mm (Hummadi; Luo; He, 2022; Fernández-Andrade et al., 2022), no Laboratório de Solos, UFCG, Campus Pombal-PB.

Para a elaboração da solução padrão contendo o íon metálico cobre (Cu^{2+}), foi utilizado o reagente químico cloreto de cobre (II) di-hidratado (ICO) P.A (CuCl22H2O), marca Êxodo Científica. Em caráter inicial, foi preparada uma solução padrão contendo 1 g de Cu^{2+}, dessa solução, foram pipetados volumes pré-determinados por meio de cálculos estequiométricos, que foram transferidos e diluídos em água deionizada, em balões volumétricos de 2 L e de 1 L, visando a obtenção de soluções com concentrações de 8 mg/L, 32 mg/L e 128 mg/L de Cu^{2+}.

Procederam-se os ensaios em uma coluna de adsorção em leito fixo em escala de bancada, montada com tubo de vidro borossilicato de diâmetro interno de 30 mm, diâmetro externo de 34 mm e 30 cm de comprimento (Sousa *et al.* 2024; Iheanacho *et al.* 2021; Nwabanne et al.2022). Nessa coluna, foi adicionado o leito adsorvente de cascas de arroz com altura 10 cm (Nwabanne et al.2022; Yahya et al., 2020), além de uma camada de 5 cm de esferas de vidro (Saha et al. 2021) anterior e posterior ao leito adsorvente para evitar flutuações e minimizar a perda de material adsorvente. A operação da coluna foi conduzida em fluxo ascendente e com vazão de 13 mL/min (Nwabanne et al., 2022; Iheanacho et al., 2021). Utilizou-se uma bomba peristáltica dosadora (Marca modelo OFA 20) para ajuste e regularização da vazão. O ensaio foi conduzido durante 360 min e as amostras foram coletadas

a cada 10 min. O pH de cada amostra coletada foi aferido, e, em seguida, as amostras foram preservadas com ácido nítrico (HNO3) para obter pH < 2, e analisadas por espectrometria de absorção atômica (Equipamento: Espectrômetro de Absorção Atômica por Chama – FAAS, marca Agilent, modelo 200, série AA), na Central Analítica da Universidade Federal do Cariri-UFCA.

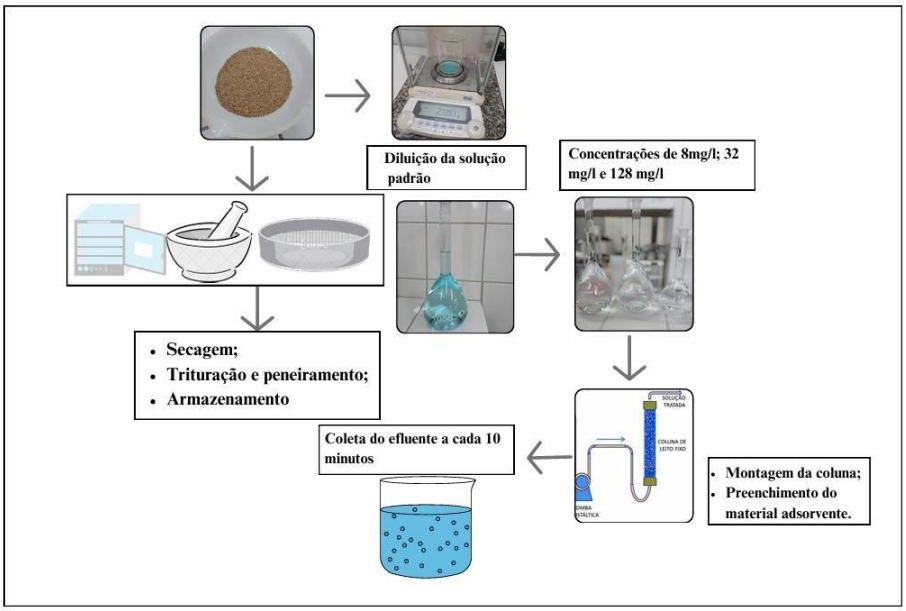


Figura 1. Fluxograma das etapas metodológicas
Fonte: Elaboração própria, 2025

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 podemos observar que a eficiência de remoção de Cu^{2+} pelo leito adsorvente de cascas de arroz foi de 100% nos primeiros 10 minutos para as concentrações de 8mg/L e 32 mg/L, isso evidencia a elevada capacidade de retenção de Cu^{2+} quando os sítios do adsorvente ainda estavam livres. Posteriormente, com o passar do tempo a eficiência teve um declínio gradual, apresentando uma eficiência menor ao final do ensaio entre 35% em 350 minutos e 30% ao final de 360 minutos, entretanto, é válido ressaltar a grande eficiência, pois a coluna de leito fixo não chegou ao ponto de exaustão, como podemos avaliar na Figura 2, que relaciona *CT/Co* x Tempo e apresenta os Pontos de Ruptura e Pontos de Exaustão da coluna de leito fixo.

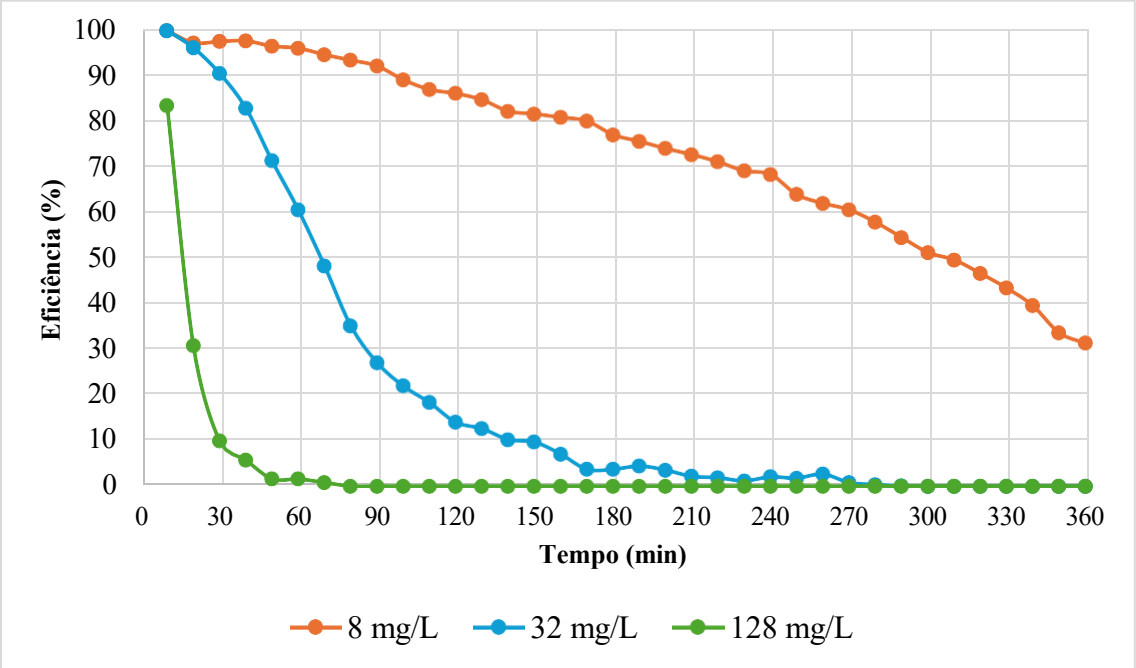


Figura 2. Eficiência com leito adsorvente de 10cm
Fonte: Elaboração própria, 2025

A curva de eficiência com relação a concentração de 8mg/L apresenta resultados satisfatórios, com remoção de 100% nos primeiros 10 minutos e bem próximos a 100% ao longo de 30 minutos. Em seguida, podemos observar uma queda acentuada de eficiência, em aproximadamente 150 minutos a eficiência caiu drasticamente para 10% conforme o gráfico. De acordo com a literatura, esses resultados estão associados a condições operacionais, especificamente a uma maior concentração de Cu^{2+}. Neste caso, foi observado que 80% de eficiência foi de aproximadamente 50 minutos.

O resultado observado com a solução de 128 mg/L foi de uma eficiência limitante, a remoção inicial foi aproximadamente 83% observando assim um declínio gradual, pois decaiu para 10% nos primeiros 45 minutos, evidenciando um PE quase imediato e após 60 minutos ocorreu a completa exaustão, pois perdeu a eficiência total.

Os resultados observados nas curvas de ruptura da Figura 3 demonstram que com a concentração inicial de 8 mg/L o PR foi em aproximadamente 100 minutos e o PE não ocorreu durante os 360 minutos. Na concentração de 32 mg/L o PR foi em 30 minutos e o PE observado cerca de 150 minutos. Na condição de elevada concentração (128mg/L) não se identificou PR e o PE em 30 minutos apenas. Esse comportamento está de acordo com outros estudos difundidos na literatura como o de Bar *et al.* (2021) e Kumari *et al.* (2021), os autores

descrevem que a eficiência de remoção está diretamente relacionada com as condições operacionais, sendo que altura de leito se destaca como a principal para colunas de adsorção. Conforme Wang *et al.* (2020), baixas alturas de leito adsorvente e vazões elevadas, dificultam o tempo de contato, assim como reduzem os sítios ativos, acelerando a ruptura.

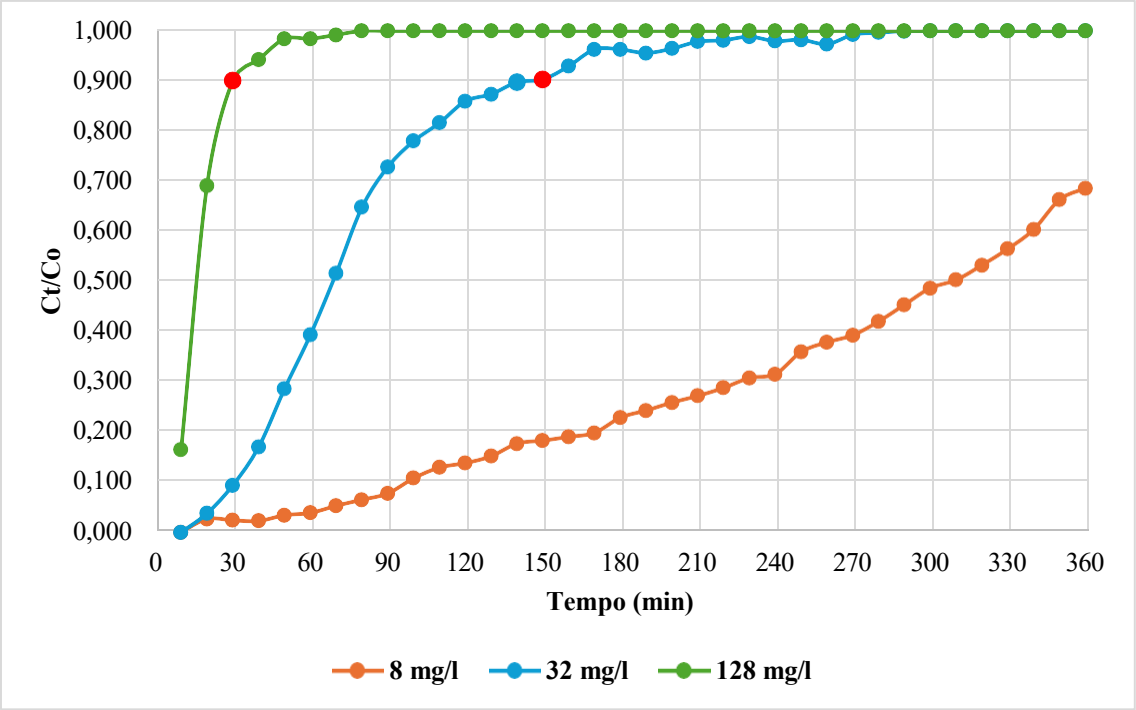


Figura 3. Curva de ruptura (10cm)

Fonte: Elaboração própria, 2025

Na pesquisa de Zafar *et al.* (2020) utilizou-se como material adsorvente a casca de arroz quimicamente tratadas com NaOH, o material adsorvente foi empregado para remover íons de cobre em soluções aquosas. Os autores realizaram uma avaliação referente a eficiência de acordo com o tempo de contato, altura de leito e concentração do cobre, e verificaram que a modificação das cascas de arroz melhorou a cinética de adsorção, resultando em uma excelente remoção de Cu^{2+}, tendo em vista que em apenas 30 minutos com contato com material adsorvente obteve uma remoção de até 97% de Cu^{2+}.

Com base nos experimentos conduzidos nesta pesquisa, verificou-se que o melhor desempenho em termos de eficiência foi obtido nos ensaios cujo altura de leito de 10 cm e a concentração de Cu^{2+} de 8 mg/L e 32 mg/l o qual apresentaram uma eficiência de 100% e manteve um bom potencial de remoção Cu^{2+} ao longo do ensaio nos 360 minutos de operação.

Diante disso, esses resultados evidenciam que concentrações menores de Cu^{2+} apresentam uma maior eficiência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível verificar a viabilidade de uso de resíduos agrícolas, especificamente as cascas de arroz, como material adsorvente, tornando-se uma alternativa eficiente de baixo cuto e sustentável, para o tratamento de efluentes industriais. O presente estudo demonstrou o elevado potencial das cascas de arroz, pois os resultados em concetrações mais baixas (8mg/L e 32 m/L) e altura de 10 cm atigiram excelente remoção com até 100% nos primeiros minutos de operação e mantendo-se satisfatório ao longo dos 360 minutos. Enquanto, elevada concentração (128 mg/L) observou-se um rápido processo de exaustão do adsorvente.

Portanto, a utilização da casca de arroz como material adsorvente representa não apenas uma alternativa viável e de baixo custo para a remoção de cobre, mas também uma estratégia alinhada aos princípios da economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e a proteção ambiental. Essa abordagem reforça o potencial da bioadsorção como tecnologia limpa e sustentável para o enfrentamento da poluição hídrica por metais pesados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAR, Nirjhar, Tania Mitra, and Sudip Kumar Das. 2021. “Biosorption of Cu (II) Ions from Industrial Effluents by Rice Husk: Experiment, Statistical, and ANN Modeling.” Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 29 (4): 441–448.

DE SOUSA, Thâmara Martins Ismael, et al. 2024. “Cu (II) Adsorption in Rice Husk for Water Treatment: Batch and Fixed Column Experiments.” Desalination and Water Treatment 320: 100762.

DITTMAR, Emily L., and Douglas W. Schemske. 2023. “Temporal Variation in Selection Influences Microgeographic Local Adaptation.” American Naturalist 202 (4): 471–485. https://doi.org/10.1086/725865.

GAUTAM, K., et al. 2023. “Comparative Study of Simple and Modified Rice Husk Biochar for Cadmium Removal: Adsorption Performance and Possible Mechanisms.” Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua 72 (7): 1269–1287.

HOSSAIN, N. 2022. “Thermal-Chemical Modified Rice Husk-Based Porous Adsorbents for Cu (II), Pb (II), Zn (II), Mn (II) and Fe (III) Adsorption.” Journal of Water Process Engineering 46: 102620. Elsevier BV.

KUO, C.-Y., et al. 2023. “Characterization of Rice Husk Biochar Produced by Microwave Pyrolysis and Its Application for Environmental Remediation.” Environmental Technology & Innovation 30.

KUMARI, U., A. Mishra, H. Siddiqi, and B. C. Meikap. 2021. “Effective Defluoridation of Industrial Wastewater by Using Acid Modified Alumina in Fixed-Bed Adsorption Column: Experimental and Breakthrough Curves Analysis.” Journal of Cleaner Production 279: 123645.

LI, Zheyong, et al. 2023. “Review on Rice Husk Biochar as an Adsorbent for Soil and Water Remediation.” Plants 12 (7): 1524.

MALIK, Sheeba, Pramod Kumar Omre, and Shreejaya Sivadas. 2024. “Compositional Analysis of the Lignocellulosic Biomass from Agricultural Waste (Rice Husk).” Archives of Current Research International 24 (6): 78–84.

NWABANNE, J. T., et al. 2022. “Linear and Nonlinear Kinetics Analysis and Adsorption Characteristics of Packed Bed Column for Phenol Removal Using Rice Husk-Activated Carbon.” Applied Water Science 12 (5): 91.

QIU, M., et al. 2022. “Biochar for the Removal of Contaminants from Soil and Water: A Review.” Carbon Research 1 (1): 1–20.

RIBAS, Felipe Brondani Teixeira, and William Leonardo da Silva. 2021. “Biossorção: Uma Revisão sobre Métodos Alternativos Promissores no Tratamento de Águas Residuais.” Matéria (Rio de Janeiro) 27 (2): 1–22.

WANG, Y., H. Li, and S. Lin. 2022. “Advances in the Study of Heavy Metal Adsorption from Water and Soil by Modified Biochar.” Water. MDPI.

YANAKA, A., K. Shibata, N. Matsumoto, and Hidenori Yoshida. 2021. “Study on Adsorption of Heavy Metals by Rice Husk and Extraction of Heavy Metals Adsorbed in Rice Husk.” International Journal of GEOMATE 20 (79): 28–33.

ZAFAR, Shagufta, et al. 2020. “Removal of Copper Ions from Aqueous Solution Using NaOH-Treated Rice Husk.” Emergent Materials 3 (6): 857–870. Springer Science and Business Media LLC.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19087871

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NO CAMPUS JORGE AMADO DA UFSB COMO FERRAMENTA DE SENSIBILIZAÇÃO AMBIENTAL

COMPOSICIÓN GRAVIMÉTRICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL CAMPUS JORGE AMADO DE LA UFSB COMO HERRAMIENTA DE CONCIENCIACIÓN AMBIENTAL

GRAVIMETRIC COMPOSITION OF SOLID WASTE GENERATED AT THE JORGE AMADO CAMPUS OF UFSB AS AN ENVIRONMENTAL AWARENESS TOOL

Gabriel Nunes dos Santos[1], Narcísio Cabral de Araújo[2].

[1]Graduando em Engenharia Ambiental e da Sustentabilidade, Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna - BA, Brasil, nunesgs@outlook.com, Orcid: https://orcid.org/0009-0002-3366-544X
[2]Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Doutor em Engenharia Agrícola e Professor do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna - BA, Brasil. E-mail: narcisio.araujo@ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0589-8924;

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Estudos de composições gravimétricas

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Estudios de composiciones gravimétricas.

RESUMO

O manejo inadequado e a disposição incorreta dos resíduos sólidos constituem fatores que geram impactos significativos de ordem socioeconômica, ambiental e à saúde pública. No Brasil, a aprovação da Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabeleceu diretrizes fundamentais para o tratamento adequado dos resíduos. Nesse contexto, compreender as características dos resíduos gerados em determinados espaços, como instituições de ensino, torna-se uma estratégia indispensável para subsidiar ações de gestão mais eficazes e contextualizadas. Com base nesta perspectiva, este estudo buscou quantificar e caracterizar gravimetricamente os resíduos sólidos gerados no *campus* Jorge Amado (CJA) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Para isso, foram realizadas atividades de monitoramento e quantificação dos resíduos depositados nas lixeiras do *campus* durante uma semana letiva, estabelecendo-se um diagnóstico inicial que possibilita fundamentar a realização de ações de sensibilização da comunidade acadêmica. O levantamento apontou um total de aproximadamente 60 Kg de resíduos, dos quais o papel representa a maior fração, com 35,736 Kg (60% do total). Os resultados revelam também que a maior parte dos materiais descartados no CJA tem potencial reciclável, tais como folhas de caderno, papel ofício, caixas e embalagens de papelão, embalagens longa vida, garrafas PETs e latas de refrigerante, no entanto, estes estão sendo descartados de maneira indevida, não utilizando os coletores personalizados para coleta seletiva ou não respeitando as cores e os tipos de resíduos indicados nos coletores evidenciando a necessidade de intensificar as ações voltadas á sensibilização da

comunidade acadêmica, principalmente no que se refere à correta segregação na fonte. Nesse sentido, este estudo reconhece o papel estratégico das redes sociais como ferramentas de sensibilização e mobilização capazes de ampliar o alcance das informações e de estimular mudanças de comportamento. Como iniciativa prática foi criado um perfil na rede social Instagram voltado ao compartilhamento de conteúdos educativos e à sensibilização da comunidade acadêmica.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos, Educação ambiental, Reciclagem, Monitoramento ambiental

RESÚMEN

La gestión inadecuada y la disposición incorrecta de residuos sólidos son factores que generan importantes impactos socioeconómicos, ambientales y de salud pública. En Brasil, la aprobación de la Ley n.º 12.305/2010, que instituyó la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), estableció directrices fundamentales para el tratamiento adecuado de los residuos. En este contexto, comprender las características de los residuos generados en espacios específicos, como las instituciones educativas, se convierte en una estrategia esencial para apoyar acciones de gestión más efectivas y contextualizadas. Con base en esta perspectiva, este estudio buscó cuantificar y caracterizar gravimétricamente los residuos sólidos generados en el Campus Jorge Amado (CJA) de la Universidad Federal del Sur de Bahía (UFSB). Para ello, se realizó el monitoreo y la cuantificación de los residuos depositados en los contenedores de basura del campus durante una semana lectivo, estableciendo un diagnóstico inicial que apoya las iniciativas de sensibilización dentro de la comunidad académica. El estudio reveló un total de aproximadamente 60 kg de residuos, de los cuales el papel representa la mayor fracción, con 35.736 kg (60 % del total). Los resultados también revelan que la mayoría de los materiales desechados en el CJA tienen potencial reciclable, como papel de cuaderno, papel tamaño legal, cajas y embalajes de cartón, embalajes de larga duración, botellas de PET y latas de refresco. Sin embargo, estos materiales se desechan de forma inadecuada, ya que no se utilizan contenedores de recogida selectiva personalizados o se ignoran los colores y tipos de residuos indicados en los contenedores. Esto resalta la necesidad de intensificar los esfuerzos de sensibilización dentro de la comunidad académica, en particular con respecto a la correcta segregación en origen. En este sentido, este estudio reconoce el papel estratégico de las redes sociales como herramientas de sensibilización y movilización capaces de ampliar el alcance de la información y estimular el cambio de comportamiento. Como iniciativa práctica, se creó un perfil de Instagram para compartir contenido educativo y sensibilizar a la comunidad académica.

Palabras clave: Gestión de residuos, Educación ambiental, Reciclaje, Monitoreo ambiental

ABSTRACT

Improper management and incorrect disposal of solid waste are factors that generate significant socioeconomic, environmental, and public health impacts. In Brazil, the passage of Law No. 12,305/2010, which instituted the National Solid Waste Policy (PNRS), established fundamental guidelines for the prevention, reduction, reuse, recycling, and proper treatment of waste. In this context, understanding the characteristics of waste generated in specific spaces, such as educational institutions, becomes an essential strategy for supporting more effective

and contextualized management actions. Based on this perspective, this study sought to quantify and gravimetrically characterize the solid waste generated on the Jorge Amado Campus (CJA) of the Federal University of Southern Bahia (UFSB-BA). To this end, monitoring and quantification of the waste deposited in the campus's waste bins were carried out during a school week, establishing an initial diagnosis that supports awareness-raising initiatives within the academic community. The survey revealed a total of approximately 60 kg of waste, of which paper represents the largest fraction, at 35,736 kg (60% of the total). The results also reveal that most of the materials discarded at the CJA are potentially recyclable, such as notebook paper, legal-size paper, cardboard boxes and packaging, long-life packaging, PET bottles, and soda cans. However, these are being disposed of improperly, with personalized selective collection bins not being used or the colors and types of waste indicated on the bins being disregarded. This highlights the need to intensify awareness-raising efforts within the academic community, especially regarding proper segregation at source. In this sense, this study recognizes the strategic role of social media as awareness-raising and mobilization tools capable of expanding the reach of information and stimulating behavior change. As a practical initiative, an Instagram profile was created to share educational content and raise awareness within the academic community.

Keywords: Waste management, Environmental education, Recycling, Environmental monitoring

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, aliado ao avanço das tecnologias, favorece o surgimento de uma diversidade de novos produtos. Esses fatores somados ao padrão de consumo exagerado, têm intensificado os impactos ambientais, principalmente relacionados ao volume crescente de resíduos sólidos produzidos diariamente. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei Federal nº 12.305, de agosto de 2010, conceitua resíduos sólidos como todo material, em estado sólido ou semissólido, proveniente de atividades humanas e que, em algum momento, seja destinado ao descarte.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Brasil gerou, no ano de 2023, aproximadamente 80,96 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que corresponde a mais de 221 mil toneladas diárias. Esse elevado volume de resíduos, quando não submetido a um gerenciamento ambientalmente adequado, pode acarretar consequências em todas as etapas do processo, desde a segregação inicial dos materiais até a disposição final.

No âmbito da gestão de resíduos sólidos, as Instituições de Ensino Superior (IES) configuram-se como relevantes geradoras em virtude da multiplicidade de atividades que nelas ocorrem. Esse conjunto de práticas, associado à elevada circulação diária de pessoas, contribui para a geração de um volume expressivo de resíduos, cuja gestão demanda estratégias

integradas e sustentáveis (Pereira et al. 2020). Além disso, por concentrar sujeitos em processo de formação crítica, capazes de atuar como multiplicadores do conhecimento e de influenciar processos decisórios, a IES assume uma função estratégica na conscientização acerca das problemáticas ambientais, sendo o ambiente acadêmico um espaço fundamental para o desenvolvimento de competências socioambientais que possibilitam a inserção de cidadãos mais comprometidos com a sustentabilidade na sociedade (Melo e Korf 2010).

Dentre os instrumentos contidos na PNRS, estão contidos os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS). Tanto para execução de planos de gerenciamento de resíduos, quanto para programas referentes a sensibilização e educação ambiental, faz-se necessário a elaboração de estudos preliminares que visem caracterizar de forma quantitativa e qualitativa os resíduos sólidos gerados, esta medida viabiliza melhorias nas alternativas de gerenciamento e permite avaliar o potencial de aproveitamento dos resíduos gerados (Garcia et al. 2017).

A sensibilização ambiental configura-se também como um componente indispensável para o estabelecimento de práticas eficazes e sustentáveis de gerenciamento dos resíduos sólidos (Forte 2020). O núcleo fundamental desse processo reside na conscientização das fontes geradoras, uma vez que, a gestão adequada não depende apenas de soluções técnicas, mas, sobretudo, da mudança de postura dos indivíduos envolvidos (Aquino 2022).

Perante o exposto, o presente trabalho objetivou analisar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no *campus* Jorge Amado (CJA) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) a fim de direcionar ações de sensibilização com toda comunidade acadêmica voltadas a uma melhor gestão dos resíduos sólidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido entre os meses de abril e julho de 2024 no *campus* Jorge Amado (CJA) da UFSB localizado na Rod. Ilhéus-Itabuna Km 22 no município de Ilhéus-BA (Figura 1).

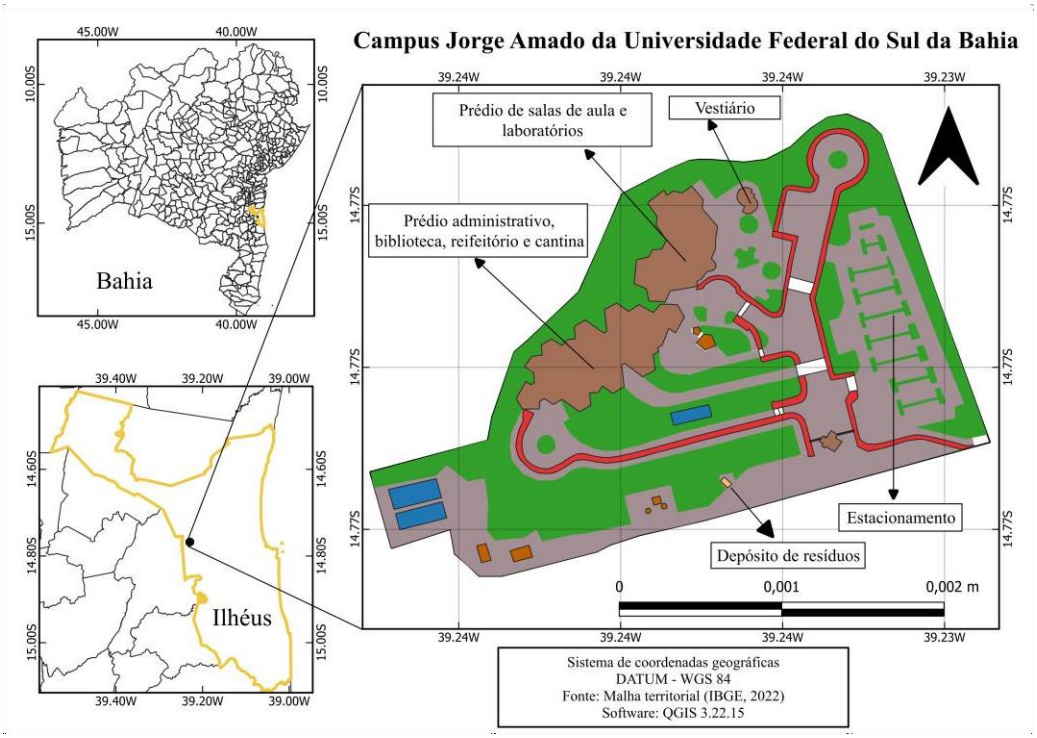


Figura 1. Localização do Campus Jorge Amado da UFSB
Fonte: Elaboração própria, 2025

As ações foram destinadas aos diversos grupos que transitam no espaço universitário. No período de realização deste estudo, a comunidade acadêmica do CJA era composta por cerca de 1885 estudantes ativos de graduação, 121 docentes e 241 técnicos-administrativos totalizando 1247 pessoas, sem contar estudantes de pós-graduação, funcionários terceirizados e demais frequentadores.

Foi elaborado um diagnóstico com o objetivo de caracterizar os resíduos sólidos comuns (não perigosos) gerados nos diversos ambientes do *campus.* Para tanto, realizaram-se atividades de monitoramento e quantificação dos resíduos, por meio da análise gravimétrica. Verificou-se também se os coletores personalizados para coleta seletiva instalados no *campus* (Figura 2), estavam sendo utilizados de maneira correta e se a localização era adequada examinando-se através de observações diretas o conteúdo dos coletores.

Figura 2. Coletores personalizados para coleta seletiva instaladas no CJA

Fonte: Elaboração própria, 2024

A análise gravimétrica foi realizada no período de uma semana letiva do mês de maio entre os dias de segunda a sexta feira, onde nenhuma atividade considerada atípica foi desenvolvida (eventos, visitas, início ou término do semestre). Durante o período, diariamente todo resíduo produzido no interior da instituição foi recolhido, acondicionado em sacos plásticos e levado a um local de armazenamento, conforme acordado com os funcionários responsáveis pela limpeza do campus. Com exceção dos sacos com resíduos provenientes de banheiro, que foram apenas pesados, todos os sacos foram abertos e despejados numa superfície plana e livre de umidade. Em seguida realizou-se a separação manual dos resíduos considerando o tipo de material: plástico, metal, papel, vidro e orgânico (Figura 3A). Por fim, cada fração foi pesada utilizando uma balança digital de gancho (Figura 3B).

Figura 3. Atividade de separação manual dos resíduos sólidos descartados no CJA (A); pesagem das frações de resíduos (B).
Fonte: Elaboração própria, 2024

Com a massa de cada fração, foi possível então, determinar o percentual de cada tipo de material em relação ao montante total. Após etapa de diagnóstico, iniciou-se o processo de mobilizar e provocar o senso de responsabilidade pela gestão dos resíduos do campus nos alunos, professores, funcionários e demais frequentadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da composição gravimétrica dos resíduos gerados ao longo de uma semana nas dependências da UFSB, Campus Jorge Amado (Tabela 1), revelam que foram gerados aproximadamente 60 Kg de resíduos ao longo da semana sendo, portanto, gerados 12 Kg de resíduos por dia. O maior percentual de materiais descartados nas lixeiras do CJA é do tipo papel (60%) totalizando 35,736 Kg e deste, cerca de 25 Kg é resíduo proveniente de banheiro (papel toalha e higiênico), considerado como rejeito por ficarem molhados e mofados, não servindo para reciclagem.

Tabela 1. Resultado da análise gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no CJA

Tipo	Descrição	massa (Kg)	Massa total (Kg)	Percentual
Plástico	Sacolas, embalagens de alimentos, plástico bolha, embalagens de produto de limpeza	3,023	11,978	**20%**
	copos de sucos e refrigerantes	0,785		
	copos descartáveis	1,325		
	garrafas PET (água, suco e refrigerante)	4,682		
	Canos de PVC	0,935		
	Embalagens de isopor	1,228		
Metal	Latinha refrigerante e energético	2,465	2,465	**4%**
Papel	papel ofício, folhas de caderno, papel toalha, guardanapo	4,312	35,736	**60%**
	caixas e embalagens de papelão	4,818		
	embalagens longa vida	1,52		
	Resíduo de banheiro (papel higiênico e toalha)	25,086		
Orgânico	restos de comida, casca de frutas, podas de árvores	9,38	9,38	**16%**
Total			**59,559**	**100%**

Fonte: Elaboração própria, 2024

Ainda de acordo a Tabela 1, o papel é também o tipo de resíduo que apresentou a maior quantidade em massa de materiais com potencial de reciclagem, são eles: folhas de caderno, papel ofício, papel toalha e guardanapo (4,312 Kg), caixas e embalagens de papelão (4,818 Kg) e embalagens longa vida (1,52 Kg). O segundo maior percentual de descarte (20%) é do plástico com as garrafas PET sendo, em massa, o material mais descartado (4,682 Kg). Os resíduos orgânicos (restos de comida, cascas de frutas e podas de árvores) representam 16% da massa total de resíduos descartados no campus e podem, portanto, serem destinados a compostagem. O menor percentual de resíduos descartados no campus (4%) é de metal, sendo unicamente representado pelas latinhas de refrigerante.

Os dados da Tabela 1 corroboram com a Figura 4 evidenciando que boa parte dos materiais identificados no descarte, tais como, sacolas, garrafas PET, latinhas de refrigerante,

embalagens longa vida, folhas de caderno, papel ofício e caixas de papelão tem potencial reciclável ou compostável (no caso dos orgânicos).

Figura 4. Gravimetria dos resíduos descartados nas lixeiras do CJA
Fonte: Elaboração própria, 2024

O monitoramento das lixeiras personalizadas para coleta seletiva evidenciou que os resíduos vêm sendo depositados de forma inadequada, uma vez que são frequentemente misturados, sem respeitar as orientações de separação indicadas pelas cores e etiquetas. Conforme ilustrado na Figura 5, observou-se, em um mesmo recipiente, o descarte de garrafas PET (plástico), latinhas de refrigerante (metal) e embalagens longa vida (papel), em desacordo com as práticas de coleta seletiva. Essa situação reforça a necessidade de direcionar ações de sensibilização para a correta utilização das lixeiras. Além disso, o monitoramento apontou também a necessidade de ajustes na disposição das lixeiras e na destinação dos resíduos gerados nos ambientes próximos à cantina e no interior do refeitório.

Figura 5. Ilustração dos resíduos depositados nos coletores personalizados do CJA.
Fonte: Elaboração própria, 2024

Durante o monitoramento e caracterização dos resíduos gerados e levando em consideração a possibilidade de aproveitamento e valorização destes resíduos, foram observadas oportunidades de melhorias em alguns aspectos. Dentre as medidas adotadas destacam-se a realocação de lixeiras exclusivas para resíduos orgânicos dentro do refeitório e a instalação de lixeiras personalizadas para coleta seletiva próximo a cantina. No entanto, o comportamento mostrado na Figura 5 evidencia que a simples disponibilização de infraestrutura não é suficiente para garantir a efetividade da coleta seletiva, sendo indispensável o desenvolvimento de ações contínuas de educação e sensibilização da comunidade. Neste sentido, como estratégia de sensibilização foi criado o perfil “Coleta Seletiva CJA” no

Instagram com a finalidade de difundir e incentivar as práticas adequadas em relação ao descarte dos resíduos sólidos no campus. Por meio da divulgação de vídeos, fotos e cartazes, são compartilhadas informações sobre o descarte correto nas lixeiras, identificação de materiais recicláveis e não recicláveis, os problemas decorrentes do descarte inadequado, entre outros temas relevantes.

O desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação e a ampliação de seus usos criam enormes expectativas, possibilidades e estratégias de divulgação e educação. Nesse cenário, a escolha das redes sociais como ferramenta de sensibilização fundamenta-se na sua ampla capacidade de alcance, interatividade e potencial informativo. No contexto contemporâneo, tais plataformas configuram-se como espaços de interação acessíveis e atrativos, capazes de mobilizar estudantes de diferentes cursos para práticas mais conscientes em relação ao meio ambiente (Hamid et al. 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados demonstram que a instituição gerou aproximadamente 60 Kg de resíduos durante a semana de estudo e boa parte destes resíduos podem ser destinados a reciclagem e/ou compostagem. As estratégias de sensibilização advindas deste estudo possibilitaram a criação de novas formas de acesso e comunicação com os diversos indivíduos que transitam pelo CJA. Contudo, destaca-se a necessidade de também empregar ações presenciais no campus, por meio de iniciativas como rodas de conversa, fixação de cartazes e visitas às salas de aula, de modo a complementar as estratégias digitais e ampliar o alcance das ações de sensibilização. Embora necessárias, a efetividade dessas medidas depende da adesão coletiva e da continuidade das ações, uma vez que, a construção de uma cultura ambiental demanda tempo, engajamento e esforço constante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a PROEX – Pró-Reitoria de Extensão de Cultura da UFSB pelo apoio financeiro concedido através de bolsa de extensão universitária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024*. São Paulo: ABRELPE, 2024. Disponível em https://static.poder360.com.br/2024/12/panorama-dos-residuos-

solidos-no-brasil-2024.pdf. Acessado em 20 de setembro de 2024.

Aquino, D. S., F. G. M. Ribeiro, K. F. P. de Lima, e V. S. Santos. 2022. "Sensibilização ambiental para redução da geração de resíduos sólidos num escritório de engenharia." *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental* 11, no. 4(): 319–332. https://doi.org/10.1590/2175-3369.013e20190263.

Brasil. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010.

Garcia, I. P., I. R. V. Silva, V. M. A. Silva, E. C. S. Assis, e A. E. M. Ferreira. 2017. "Estudos preliminares para o gerenciamento de resíduos sólidos na rede de ensino público: estudo de caso de uma escola pública municipal em Santarém – PA." In *Anais do 1º Congresso Brasil Norte de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belém-PA.

Hamid, S., M. T. Ijab, H. Sulaiman, R M. Anwar e A. A. Norman. 2017. "Social media for environmental sustainability awareness in higher education." *International Journal of Sustainability in Higher Education* 18, no 4 (): 474–491. https://doi.org/10.1108/IJSHE-01-2015-0010.

Melo, E. F. R. Q., e E. P. Korf. 2010. "Percepção e sensibilização ambiental de universitários sobre os impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos em Passo Fundo – RS." *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)* 5 (): 45-54. https://doi.org/10.34024/revbea.2010.v5.1716.

Forte, J. P. P. 2020. "Análise de percepção ambiental sobre geração de resíduos sólidos no município de Américo Brasiliense." *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista* 6, no. 3 (): 32-42. https://doi.org/10.17271/1980082716320202116.

Pereira, I. C., E. S. Lui, P. S. C. Ribeiro, M. Chiarelotto, e C. N. Valdameri. 2020. "Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no campus da UTFPR Francisco Beltrão: ferramenta para aprimorar a gestão de resíduos no campus." *Anais do 11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos (FIRS)* 11, no. 11. Publicado em 07 de agosto de 2021. ISSN 2527-1725.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19087942

COMPOSTAGEM DE PALHADA DE CAPIM ASSOCIADA AO ESTERCO DE BODE: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO

COMPOSTAJE DE RASTROJO DE PASTO ASOCIADO CON ESIÉRCOL DE CABRA: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE ORGÁNICO

COMPOSTING OF GRASS STRAW ASSOCIATED WITH GOAT MANURE: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR OGANIC FERTILIZER PRODUCTION

Luiz Felipe Lima de Morais Brito[1], Wylton Martins França[2], Tonivan Silva de Carvalho[3] e Elizângela Maria de Souza[4].

[1]Granduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, luiz.brito@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0004-3741-305;
Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, Wylton.martins@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0005-1724-4751;
Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, Tonivan.carvalho@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0001-5467-2422;
Doutora em Zootecnia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Juazeiro, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, 0000-0002-8949-3774

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Tecnologías de tratamiento y reutilización: compostaje, biodigestión y otras.

RESUMO

A adubação é uma etapa essencial para no manejo agrícola, pois é quando é fornecido os macro e micronutrientes indispensáveis ao crescimento das plantas (como potássio e zinco, por exemplo), que estão envolvidos nos processos metabólicos na planta. Convencionalmente, a adubação é feita com adubos feitos a partir da extração de minerais. No entanto, os altos custos envolvidos tornam os adubos convencionais inacessíveis para muitos produtores rurais de baixa e média renda. Além disso, seu uso contínuo pode causar impactos ambientais, como a contaminação do solo e dos lençóis freáticos, além de ser potencialmente tóxico para plantas e animais, como os seres humanos. Como alternativa de baixo custo e alinhada aos princípios da agroecologia, destaca-se o uso de composto orgânico produzido a partir de resíduos vegetais e animais gerados na própria propriedade. Neste estudo, foi elaborado, no Núcleo de Extensão em Agroecologia (NEA) do Instituto Federal do Sertão Pernambucano – Campus Petrolina Zona Rural, um composto orgânico utilizando esterco caprino e palhada de capiaçu, resíduos comumente encontrados em áreas agrícolas de pequeno e médio porte no Semiárido nordestino. O processo de compostagem teve duração de aproximadamente 40 dias, com a realização de revolvimento periódico, umedecimento e aplicação de Microrganismos Eficientes (EM), com o objetivo de estimular a atividade microbiana e acelerar a decomposição da matéria orgânica. Após a maturação, o composto

foi encaminhado ao laboratório para análise da composição nutricional, a fim de quantificar os macronutrientes que compõe esse composto. Os resultados indicaram uma quantidade significativa de macronutrientes importantes, como nitrogênio, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio, com o nitrogênio sendo o nutriente em maior quantidade, enquanto o magnésio o nutriente em menor quantidade. Com base nos dados obtidos da análise laboratorial e na literatura científica, conclui-se que o composto orgânico produzido é viável para uso agrícola, segundo uma alternativa sustentável para adubação de diferentes culturas

Palavras-chave: compostagem, agricultura orgânica, semiárido

RESÚMEN

La fertilización es una etapa esencial en el manejo agrícola, ya que es el momento en que se suministran los macro y micronutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas (como el potasio y el zinc, por ejemplo), los cuales están involucrados en los procesos metabólicos de la planta. Convencionalmente, la fertilización se realiza con abonos elaborados a partir de la extracción de minerales. Sin embargo, los altos costos involucrados hacen que los abonos convencionales sean inaccesibles para muchos productores rurales de bajos y medianos ingresos. Además, su uso continuo puede causar impactos ambientales, como la contaminación del suelo y de los mantos freáticos, además de ser potencialmente tóxicos para las plantas y los animales, incluidos los seres humanos. Como una alternativa de bajo costo y alineada con los principios de la agroecología, se destaca el uso de composto orgánico producido a partir de residuos vegetales y animales generados en la propia finca. En este estudio, se elaboró, en el Núcleo de Extensión en Agroecología (NEA) del Instituto Federal del Sertão Pernambucano – Campus Petrolina Zona Rural, un composto orgánico utilizando estiércol caprino y rastrojo de capiaçu, residuos comúnmente encontrados en áreas agrícolas de pequeño y mediano porte en el Semiárido nordestino. El proceso de compostaje tuvo una duración de aproximadamente 40 días, con volteos periódicos, humedecimiento y aplicación de Microorganismos Eficientes (EM), con el objetivo de estimular la actividad microbiana y acelerar la descomposición de la materia orgánica. Tras la maduración, el composto fue enviado al laboratorio para el análisis de su composición nutricional, con el fin de cuantificar los macronutrientes que lo componen. Los resultados indicaron una cantidad significativa de macronutrientes importantes, como nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, calcio y magnesio, siendo el nitrógeno el nutriente en mayor cantidad y el magnesio el de menor concentración. Con base en los datos obtenidos del análisis de laboratorio y en la literatura científica, se concluye que el composto orgánico producido es viable para el uso agrícola, siendo una alternativa sostenible para la fertilización de diferentes cultivos.

Palabras clave: compostaje, agricultura orgánica, semiárido

ABSTRACT

Fertilization is an essential stage in agricultural management, as it is the moment when macro and micronutrients indispensable for plant growth (such as potassium and zinc, for example) are provided. These nutrients are involved in the metabolic processes of the plant. Conventionally, fertilization is carried out using fertilizers made from mineral extraction.

However, the high costs involved make conventional fertilizers inaccessible for many low- and middle-income farmers. In addition, their continuous use can cause environmental impacts, such as soil and groundwater contamination, and may also be potentially toxic to plants and animals, including humans. As a low-cost alternative aligned with the principles of agroecology, the use of organic compost produced from plant and animal waste generated on the farm itself stands out. In this study, an organic compost was produced at the Núcleo de Extensão em Agroecologia (NEA) of the Federal Institute of Sertão Pernambucano – Petrolina Zona Rural Campus, using goat manure and capiaçu straw, both commonly found in small- and medium-scale agricultural areas in the Northeastern semi-arid region. The composting process lasted approximately 40 days, with periodic turning, moistening, and the application of Effective Microorganisms (EM), aiming to stimulate microbial activity and accelerate the decomposition of organic matter. After maturation, the compost was sent to a laboratory for nutritional composition analysis, in order to quantify the macronutrients present in the compost. The results indicated a significant amount of important macronutrients, such as nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, calcium, and magnesium, with nitrogen being the most abundant nutrient, and magnesium the least. Based on the laboratory analysis and the scientific literature, it is concluded that the organic compost produced is suitable for agricultural use, offering a sustainable alternative for the fertilization of various crops.

Keywords: composting, organic farming, semiarid

INTRODUÇÃO

A compostagem é um processo biológico aeróbio de degradação controlada da matéria orgânica, no qual microrganismos transformam resíduos em um material estável e com características de fertilizante orgânico (Kiehl, 2010). Esse processo é amplamente reconhecido como uma prática sustentável, pois promove a reciclagem de nutrientes e a redução de impactos ambientais relacionados ao acúmulo inadequado de resíduos agropecuários (Fernandes & Silva, 2017).

A utilização da palhada como insumo na compostagem se destaca por fornecer altos teores de carbono estrutural, responsáveis por manter aeração, umidade adequada e regular a relação

carbono:nitrogênio (C:N) durante o processo (Costa et al., 2020). Além disso, resíduos vegetais como a palhada atuam como condicionadores físicos, diminuindo a compactação da pilha e permitindo melhor atividade microbiana (Souza et al., 2019).

Por outro lado, o esterco de cabra tem se mostrado uma fonte eficiente de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, sendo considerado um material de rápida decomposição e com efeito positivo na qualidade final do composto (Silva et al., 2019). Em regiões semiáridas, esse tipo de esterco é abundante devido à forte presença da caprinocultura, o que favorece sua utilização como alternativa viável e de baixo custo para pequenos agricultores (Medeiros & Santos, 2018).

A associação entre palhada e esterco de cabra possibilita um equilíbrio nutricional adequado, já que os resíduos vegetais fornecem carbono e estrutura, enquanto o esterco atua como fonte de nitrogênio e umidade, acelerando a atividade microbiana (Oliveira et al., 2021). Essa combinação contribui para a produção de um composto de maior qualidade, capaz de fornecer macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (Pereira et al., 2020).

Do ponto de vista agronômico, a compostagem melhora a fertilidade e a capacidade de retenção de água do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e promovendo sistemas de produção mais resilientes (Giacomini & Aita, 2008). Além disso, a adoção dessa prática favorece a sustentabilidade da agricultura familiar, fortalecendo práticas agroecológicas e o uso racional dos recursos disponíveis no ambiente (Almeida et al., 2021).

Portanto, o estudo da compostagem com palhada e esterco de cabra se justifica não apenas pela viabilidade técnica e econômica, mas também pelo seu potencial em promover uma agricultura mais sustentável e adaptada às condições climáticas adversas de regiões como o semiárido brasileiro (Lopes et al., 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

- Enxada

- Pá
- Esterco caprino
- Palhada
- Água
- Regador
- Termômetro
- Capim Brachiária

2.2 MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental localizado no Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural na localidade do NEA (núcleo de extensão agroecológico) com condições semiáridas, utilizando palhada proveniente de restos culturais de milho triturados e esterco de cabra coletado em propriedade rural da região. A compostagem foi realizada em leiras de aproximadamente 1,5 m de largura, 1,0 m de altura e 2,0 m de comprimento, sendo utilizadas proporções de 3:1 (palhada:esterco), ajustadas para manter a relação carbono:nitrogênio próxima de 30:1, considerada ideal para o processo.

O material foi disposto em camadas alternadas de palhada e esterco, umedecido até atingir 60% de umidade, monitorada por teste de aperto manual, e revolvido semanalmente para garantir aeração e homogeneização da massa. Durante o processo, foram aferidas a temperatura interna das leiras e a umidade do material, com o objetivo de acompanhar a evolução das fases mesofílica e termofílica da compostagem. O período total de compostagem foi de 90 dias, considerado adequado para a estabilização do composto.

Ao final do processo, amostras compostas foram coletadas em diferentes pontos e profundidades das leiras, homogeneizadas e encaminhadas ao laboratório para análises químicas. A determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu) foi realizada por digestão nitro-perclórica e posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

Além disso, foi avaliado o pH em suspensão aquosa (1:2,5 v/v) e a condutividade elétrica, com o objetivo de caracterizar a salinidade do composto (Fernandes & Silva, 2017). Todos os resultados foram comparados com parâmetros de qualidade de compostos orgânicos estabelecidos pela legislação brasileira para fertilizantes e condicionadores de solo (MAPA, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a análise laboratorial (Figura 1), constatou-se que o composto orgânico apresenta entre 3,43 e 4,06 g/kg de nitrogênio; entre 2,88 e 2,94 g/kg de fósforo; entre 2,54 e 2,68 g/kg de potássio; entre 1,44 e 1,68 g/kg de sódio; entre 5,11 e 5,36 g/kg de cálcio; e entre 1,43 e 1,50 g/kg de magnésio.

INSTITUTO FEDERAL SERTÃO DE PERNAMBUCO, CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
LABORATÓRIO DE ANALISE DE SOLO E TECIDO VEGETAL
Laudo de Analise em Vegetal

Interessado: **Wylton** Projeto: **Congresso**

Local: Resp. Análise: **Marina Matos** **Data de saída** **12/8/2025**

Nº PROTOCOLO	DESCRIÇÃO	C	N	P	K	Na	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	B
		g/kg	---------- g/kg ----------						---------- mg/kg ----------				
25.05.619	A	NA	4,06	2,88	2,54	1,44	5,36	1,43	NA	NA	NA	NA	NA
25,05,620	B	NA	3,43	2,94	2,68	1,68	5,11	1,50	NA	NA	NA	NA	NA

Petrolina, 12/8/2025

Dr. Fabio Freire de Oliveira
Coordenador do Laboratório de Físico-química de Solos e Plantas

(Figura 1)

O composto orgânico feito com capim, uma importante fonte de carboidratos, e esterco caprino, fonte de nitrogênio, potássio e fósforo, é uma boa fornecedora de macronutrientes

para as plantas. Segundo estudo de Neto et al. (2010), que comparou o uso de composto orgânico formado por 40% de esterco caprino curtido e 60% de restos vegetais com casca de mamona no cultivo de cenoura, o composto orgânico apresentou os melhores resultados quanto às propriedades físico-químicas da cenoura "Brasília" (aumento do peso, quantidade de carotenoides e sólidos solúveis totais).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que, segundo o método de preparação e os resultados da análise laboratorial, que o composto orgânico a base de esterco caprino e capim-elefante "capiaçu" pode ser produzido com baixo custo e usado na lavoura para produção agrícola

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Incluir neste tópico apenas a bibliografia citada no estudo. Este tópico deve ser escrito em ordem alfabética, utilizando fonte Times New Roman, corpo 12 pt, sem recúo na primeira linha, e com recuo de 1,27 cm (1/2") nas subsequentes, alinhado à esquerda, com espaçamento simples entre linhas e espaçamento de 8 pontos (depois) entre as citações. Toda a bibliografia citada no texto deve ser referenciadas conforme as normas estilo Chicago.

Neto, A. F., et al**.** "Efeito do composto orgânico nas características físico-químicas de cenoura 'Brasília'." *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais* 12, no. 1 (2010): 61–66.

ALMEIDA, F. S.; SOUZA, R. A.; BARBOSA, J. R. Compostagem como estratégia agroecológica: potencialidades e desafios para a agricultura familiar. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 16, n. 1, p. 45-58, 2021.

COSTA, C. C.; PEREIRA, M. G.; SILVA, L. S. Resíduos vegetais e sua importância no processo de compostagem. Ciência Rural, v. 50, n. 2, p. e20190784, 2020.

FERNANDES, F.; SILVA, R. Compostagem: princípios, manejo e utilização. Cadernos de Agroecologia, v. 12, n. 1, p. 112-120, 2017.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Compostagem e qualidade do composto orgânico. Ciência Rural, v. 38, n. 6, p. 1745-1752, 2008.

KIEHL, E. J. Compostagem: ciência e prática para o tratamento de resíduos orgânicos. 2. ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2010.

LOPES, A. A.; MELO, A. A.; FERREIRA, F. Sustentabilidade agrícola no semiárido: o papel da compostagem na resiliência produtiva. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 2, p. 201-210, 2019.

MEDEIROS, R. D.; SANTOS, J. C. Esterco caprino: potencial fertilizante e uso na agricultura do

semiárido. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 14, n. 3, p. 189-197, 2018.

OLIVEIRA, R. A.; BARROS, D. A.; SANTOS, E. Compostagem com esterco animal e resíduos vegetais: equilíbrio nutricional e qualidade do composto. Revista Engenharia na Agricultura, v. 29, n. 4, p. 326-335, 2021.

PEREIRA, A. C.; LIMA, F. R.; SOUZA, T. Compostos orgânicos na fertilidade do solo e nutrição de plantas. Revista Agro@mbiente On-line, v. 14, n. 3, p. 1-11, 2020.

SILVA, J. P.; ALMEIDA, M. N.; ROCHA, R. M. Caracterização química do esterco de caprinos e sua aplicação agrícola. Revista Caatinga, v. 32, n. 2, p. 450-457, 2019.

SOUZA, A. A.; MARTINS, L. B.; CUNHA, J. C. Efeito da palhada na compostagem e na qualidade do composto final. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, n. 7, p. 495-501, 2019.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19088017

COMPOSTAGEM DE PALHADA DE CAPIM ASSOCIADA AO ESTERCO DE BODE: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGÂNICO

Luiz Felipe Lima de Morais Brito[1], Wylton Martins França[2], Tonivan Silva de Carvalho[3] e Elizângela Maria de Souza[4]

[1]Granduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, luiz.brito@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0004-3741-305;
[2]Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, Wylton.martins@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0005-1724-4751;
[3]Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, Brasil, Tonivan.carvalho@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0001-5467-2422;
[4]Profa.Dra., Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural, Juazeiro, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, 0000-0002-8949-3774

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

RESUMO

A adubação é uma etapa essencial para no manejo agrícola, pois é quando é fornecido os macro e micronutrientes indispensáveis ao crescimento das plantas (como potássio e zinco, por exemplo), que estão envolvidos nos processos metabólicos na planta. Convencionalmente, a adubação é feita com adubos feitos a partir da extração de minerais. No entanto, os altos custos envolvidos tornam os adubos convencionais inacessíveis para muitos produtores rurais de baixa e média renda. Além disso, seu uso contínuo pode causar impactos ambientais, como a contaminação do solo e dos lençóis freáticos, além de ser potencialmente tóxico para plantas e animais, como os seres humanos. Como alternativa de baixo custo e alinhada aos princípios da agroecologia, destaca-se o uso de composto orgânico produzido a partir de resíduos vegetais e animais gerados na própria propriedade. Neste estudo, foi elaborado, no Núcleo de Extensão em Agroecologia (NEA) do Instituto Federal do Sertão Pernambucano – Campus Petrolina Zona Rural, um composto orgânico utilizando esterco caprino e palhada de capiaçu, resíduos comumente encontrados em áreas agrícolas de pequeno e médio porte no Semiárido nordestino. O processo de compostagem teve duração de aproximadamente 40 dias, com a realização de revolvimento periódico, umedecimento e aplicação de Microrganismos Eficientes (EM), com o objetivo de estimular a atividade microbiana e acelerar a decomposição da matéria orgânica. Após a maturação, o composto 1 foi encaminhado ao laboratório para análise da composição nutricional, a fim de quantificar os macronutrientes que compõe esse composto. Os resultados indicaram uma quantidade significativa de macronutrientes importantes, como nitrogênio, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio, com o nitrogênio sendo o nutriente em maior quantidade, enquanto o magnésio o nutriente em menor quantidade. Com base nos dados obtidos da análise laboratorial e na literatura científica, conclui-se que o composto orgânico produzido é viável para uso agrícola, segundo uma alternativa sustentável para adubação de diferentes culturas Palavras-chave: compostagem, agricultura orgânica, semiárido

Palavras-chave: composto orgânico, semiárido, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A compostagem é um processo biológico aeróbio de degradação controlada da matéria orgânica, no

qual microrganismos transformam resíduos em um material estável e com características de fertilizante orgânico (KIEHL, 2010). Esse processo é amplamente reconhecido como uma prática sustentável, pois promove a reciclagem de nutrientes e a redução de impactos ambientais relacionados ao acúmulo inadequado de resíduos agropecuários (FERNANDES; SILVA, 2017).

A utilização da palhada como insumo na compostagem se destaca por fornecer altos teores de carbono estrutural, responsáveis por manter aeração, umidade adequada e regular a relação carbono:nitrogênio (C:N) durante o processo (COSTA *et al*., 2020). Além disso, resíduos vegetais como a palhada atuam como condicionadores físicos, diminuindo a compactação da pilha e permitindo melhor atividade microbiana (SOUZA *et al*., 2019).

Por outro lado, o esterco de cabra tem se mostrado uma fonte eficiente de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, sendo considerado um material de rápida decomposição e com efeito positivo na qualidade final do composto (SILVA *et al*., 2019). Em regiões semiáridas, esse tipo de esterco é abundante devido à forte presença da caprinocultura, o que favorece sua utilização como alternativa viável e de baixo custo para pequenos agricultores (MEDEIROS; SANTOS, 2018).

A associação entre palhada e esterco de cabra possibilita um equilíbrio nutricional adequado, já que os resíduos vegetais fornecem carbono e estrutura, enquanto o esterco atua como fonte de nitrogênio e umidade, acelerando a atividade microbiana (OLIVEIRA *et al*., 2021). Essa combinação contribui para a produção de um composto de maior qualidade, capaz de fornecer macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (PEREIRA *et al*., 2020).

Do ponto de vista agronômico, a compostagem melhora a fertilidade e a capacidade de retenção de água do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e promovendo sistemas de produção mais resilientes (GIACOMINI; AITA, 2008). Além disso, a adoção dessa prática favorece a sustentabilidade da agricultura familiar, fortalecendo práticas agroecológicas e o uso racional dos recursos disponíveis no ambiente (ALMEIDA *et al*., 2021).

Portanto, o estudo da compostagem com palhada e esterco de cabra se justifica não apenas pela viabilidade técnica e econômica, mas também pelo seu potencial em promover uma agricultura mais sustentável e adaptada às condições climáticas adversas de regiões como o semiárido brasileiro (LOPES *et al*., 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental localizado no Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Petrolina Zona Rural na localidade do NEA (núcleo de extensão agroecológico) com condições semiáridas, utilizando palhada proveniente de restos culturais de milho triturados e esterco de cabra coletado em propriedade rural da região.

A compostagem foi realizada em leiras de aproximadamente 1,5 m de largura, 1,0 m de altura e 2,0 m de comprimento, sendo utilizadas proporções de 3:1 (palhada:esterco), ajustadas para manter a relação carbono:nitrogênio próxima de 30:1, considerada ideal para o processo. O material foi disposto em camadas alternadas de palhada e esterco, umedecido até atingir 60% de umidade, monitorada por teste de aperto manual,

e revolvido semanalmente para garantir aeração e homogeneização da massa.

Durante o processo, foram aferidas a temperatura interna das leiras e a umidade do material, com o objetivo de acompanhar a evolução das fases mesofílica e termofílica da compostagem. O período total de compostagem foi de 90 dias, considerado adequado para a estabilização do composto.

Ao final do processo, amostras compostas foram coletadas em diferentes pontos e profundidades das leiras, homogeneizadas e encaminhadas ao laboratório para análises químicas. A determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu) foi realizada por digestão nitro-perclórica e posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

Além disso, foi avaliado o pH em suspensão aquosa (1:2,5 v/v) e a condutividade elétrica, com o objetivo de caracterizar a salinidade do composto (FERNANDES; SILVA, 2017). Todos os resultados foram comparados com parâmetros de qualidade de compostos orgânicos estabelecidos pela legislação brasileira para fertilizantes e condicionadores de solo (MAPA, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a análise laboratorial, constatou-se que o composto orgânico apresenta entre 3,43 e 4,06 g/kg de nitrogênio; entre 2,88 e 2,94 g/kg de fósforo; entre 2,54 e 2,68 g/kg de potássio; entre 1,44 e 1,68 g/kg de sódio; entre 5,11 e 5,36 g/kg de cálcio; e entre 1,43 e 1,50 g/kg de magnésio.

O composto orgânico feito com capim, uma importante fonte de carboidratos, e esterco caprino, fonte de nitrogênio, potássio e fósforo, é uma boa fornecedora de macronutrientes para as plantas. Segundo estudo de Neto *et al*. (2010), que comparou o uso de composto orgânico formado por 40% de esterco caprino curtido e 60% de restos vegetais com casca de mamona no cultivo de cenoura, o composto orgânico apresentou os melhores resultados quanto às propriedades físico- químicas da cenoura "Brasília" (aumento do peso, quantidade de carotenoides e sólidos solúveis totais).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que, segundo o método de preparação e os resultados da análise laboratorial, que o composto orgânico a base de esterco caprino e capim-elefante "capiaçu" pode ser produzido com baixo custo e usado na lavoura para produção agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. S.; SOUZA, R. A.; BARBOSA, J. R. Compostagem como estratégia agroecológica: potencialidades e desafios para a agricultura familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 45-58, 2021.

COSTA, C. C.; PEREIRA, M. G.; SILVA, L. S. Resíduos vegetais e sua importância no processo de compostagem. **Ciência Rural**, v. 50, n. 2, p. e20190784, 2020.

FERNANDES, F.; SILVA, R. Compostagem: princípios, manejo e utilização. **Cadernos de Agroecologia**, v. 12, n. 1, p. 112-120, 2017.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Compostagem e qualidade do composto orgânico. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1745-1752, 2008.

KIEHL, E. J. **Compostagem: ciência e prática para o tratamento de resíduos orgânicos**. 2. ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2010.

LOPES, A. A.; MELO, A. A.; FERREIRA, F. Sustentabilidade agrícola no semiárido: o papel da compostagem na resiliência produtiva. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentáve**l, v. 14, n. 2, p. 201-210, 2019.

MEDEIROS, R. D.; SANTOS, J. C. Esterco caprino: potencial fertilizante e uso na agricultura do 7 semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 3, p. 189-197, 2018.
NETO, A. F., et al. "Efeito do composto orgânico nas características físico-químicas de cenoura 'Brasília'." **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais** 12, no. 1 (2010): 61–66.

OLIVEIRA, R. A.; BARROS, D. A.; SANTOS, E. Compostagem com esterco animal e resíduos vegetais: equilíbrio nutricional e qualidade do composto**. Revista Engenharia na Agricultura**, v. 29, n. 4, p. 326-335, 2021.

PEREIRA, A. C.; LIMA, F. R.; SOUZA, T. Compostos orgânicos na fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, n. 3, p. 1-11, 2020.

SILVA, J. P.; ALMEIDA, M. N.; ROCHA, R. M. Caracterização química do esterco de caprinos e sua aplicação agrícola. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 450-457, 2019.

SOUZA, A. A.; MARTINS, L. B.; CUNHA, J. C. Efeito da palhada na compostagem e na qualidade do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 7, p. 495-501, 2019.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19088096

FABRICAÇÃO E USO DE BIODIGESTOR COMO RECURSO EDUCATIVO E SUSTENTÁVEL NA UABJ

FABRICACIÓN Y USO DE BIODIGESTOR COMO RECURSO EDUCATIVO Y SOSTENIBLE EN LA UABJ

MANUFACTURING AND USE OF BIODIGESTER AS AN EDUCATIONAL AND SUSTAINABLE RESOURCE AT UABJ

Ludmilla Emilly Miro Silva[1], João Martins da Silva Neto[2], Débora Fernanda Silva[3].

[1]Estudante de Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim-PE, Brasil, ludmilla.emsilva@ufrpe.br, 0009-0003-0305-5808;
[2]Estudante de Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim-PE, Brasil, joao.msneto@hotmail.com;
[3]Estudante de Engenharia de Controle e Automação, UFRPE/UABJ, Belo Jardim-PE, Brasil, debora.fernandas@ufrpe.br, 0009-0009-1957-1536.

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Reduzir, reciclar e reutilizar.

RESUMO

A crescente geração de resíduos orgânicos representa um dos maiores desafios ambientais atuais, especialmente em instituições de ensino, onde o consumo em cantinas e restaurantes acadêmicos resulta em significativo desperdício de alimentos. Nesse contexto, a fabricação e utilização de biodigestores emergem como alternativa sustentável para reduzir o descarte inadequado, promover o reaproveitamento e gerar energia renovável. O presente trabalho descreve a adaptação e aplicação de um biodigestor acadêmico desenvolvido na Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UABJ/UFRPE), inicialmente projetado para operar com esterco bovino, mas atualmente em fase de aprimoramento para utilizar resíduos alimentares das cantinas da Autarquia Educacional de Belo Jardim (AEB). A pesquisa foi realizada durante a disciplina de Bioengenharia, envolvendo a construção de um protótipo de baixo custo com bombona plástica de 50 litros, conexões em PVC e sistema de vedação para garantir a fermentação anaeróbica. O objetivo principal foi avaliar o potencial do biodigestor não apenas como instrumento de redução, reciclagem e reutilização de resíduos, mas também como recurso pedagógico em aulas experimentais de laboratório, possibilitando aos estudantes vivenciar, na prática, os conceitos de bioengenharia e sustentabilidade. Entre os desafios enfrentados, destacam-se a necessidade de manter o sistema hermético para evitar vazamentos, a adaptação da matéria-prima (passando do esterco bovino para os resíduos alimentares) e as dificuldades logísticas na coleta, segregação e armazenamento adequado desses resíduos, garantindo condições ideais para a fermentação. Os resultados preliminares demonstraram a eficiência na produção de biogás a partir do esterco bovino, confirmando a viabilidade técnica do equipamento. A nova fase de operação com resíduos alimentares pretende ampliar o impacto do projeto, ao transformar restos de alimentos em biogás e biofertilizante, integrando economia circular ao ambiente acadêmico e ao mesmo tempo promovendo experiências práticas de aprendizagem. Conclui-se que o biodigestor acadêmico se configura como uma alternativa acessível e sustentável para a gestão de resíduos orgânicos, com benefícios ambientais,

educacionais e sociais.

Palavras-chave: Biodigestor, Biogás, Educação ambiental, Resíduos alimentares.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a intensificação das atividades humanas têm ampliado significativamente a geração de resíduos orgânicos, tornando sua gestão um dos maiores desafios ambientais da atualidade. No Brasil, cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos são constituídos por matéria orgânica, cuja destinação ainda é majoritariamente inadequada, ocasionando sobrecarga dos aterros sanitários, emissão de gases de efeito estufa e desperdício de nutrientes com elevado potencial de reaproveitamento (ABRELPE, 2023). Essa realidade reforça a necessidade de estratégias que promovam a redução, reciclagem e reutilização de resíduos, alinhadas aos princípios da economia circular e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 12 (ONU, 2015).

Entre as alternativas tecnológicas disponíveis, os biodigestores despontam como solução sustentável e de baixo custo, capazes de transformar resíduos orgânicos em biogás — fonte de energia renovável, e em biofertilizante, rico em nutrientes. Além de mitigar impactos ambientais, essa tecnologia contribui para a valorização de resíduos e para a diminuição da dependência de insumos externos (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009).

No âmbito acadêmico, a inserção de biodigestores em instituições de ensino superior tem se mostrado não apenas eficaz para a gestão de resíduos, mas também como recurso pedagógico verdadeiro e transformador. A vivência prática de construção e monitoramento de biodigestores aproxima os estudantes dos conceitos de sustentabilidade, bioenergia e gestão de resíduos, favorecendo uma formação interdisciplinar e a compreensão real dos processos de digestão anaeróbica (SILVA; KRELLING; FLORCZAK, 2019).

O presente estudo foi desenvolvido na Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UABJ/UFRPE), no período de 2024 e 2025, durante a disciplina de Bioengenharia. Seu objetivo principal é avaliar a utilização de um biodigestor acadêmico como ferramenta para reduzir, reciclar e reutilizar resíduos orgânicos, ao mesmo tempo em que se consolida como instrumento de ensino, pesquisa e extensão. Nesse sentido, a iniciativa alia inovação tecnológica, impacto ambiental positivo e relevância social, contribuindo para a construção de

um campus mais sustentável e para a formação cidadã dos estudantes envolvidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na **Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UABJ/UFRPE)**, no município de Belo Jardim, Pernambuco, durante as atividades da disciplina de Bioengenharia, no ano de 2024, entre os meses de agosto e setembro. O projeto consistiu na fabricação e adaptação de um biodigestor acadêmico de baixo custo, com o objetivo de avaliar seu potencial como ferramenta para redução, reciclagem e reutilização de resíduos orgânicos, bem como como recurso pedagógico em aulas experimentais.

- **Materiais**

Para a construção do protótipo, foram utilizados os seguintes materiais (**Figura 1**):

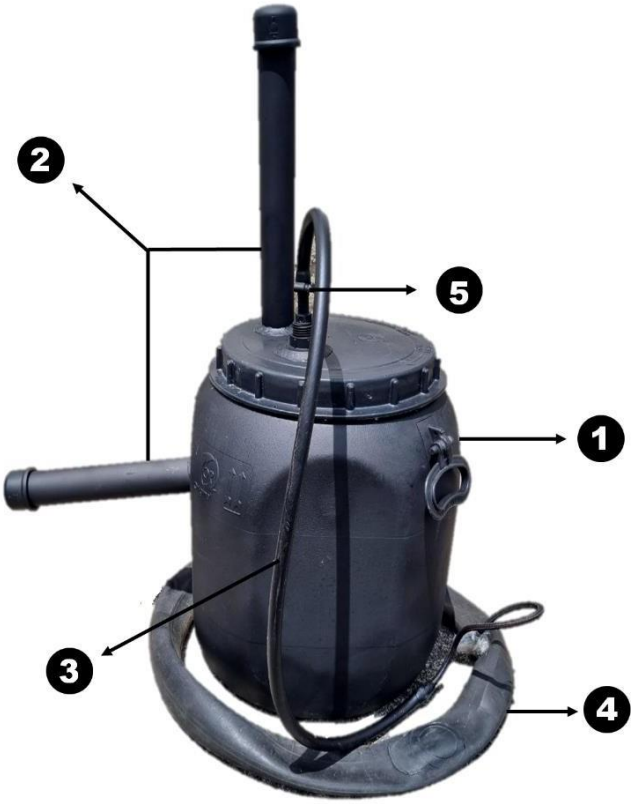


Figura 1. Vista esquemática do biodigestor experimental, indicando os componentes numerados correspondentes aos materiais empregados na construção.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

1. **Bombona plástica (50L)** – utilizada como câmara de digestão, onde ocorre a fermentação anaeróbica da matéria orgânica. Sua pintura em cor preta favoreceu a absorção de calor, auxiliando na manutenção da temperatura interna.
2. **Tubos de PVC (25 mm de diâmetro)** – empregados para a condução do substrato e do biofertilizante. Um tubo foi instalado na parte superior para inserção do substrato e outro na lateral inferior para drenagem do biofertilizante.
3. **Mangueira de borracha flexível** – acoplada na parte superior da bombona, permitindo a saída do biogás gerado no processo.
4. **Câmara de ar (pneu)** – conectada à mangueira de saída de gás, funcionando como reservatório temporário de biogás e indicador visual de produção.
5. **Torniquete/válvula de PVC** – instalado na saída inferior, para controle da drenagem do biofertilizante líquido produzido.
6. **Selantes (cola de silicone e fita veda-rosca)** – utilizados em todas as conexões para garantir a vedação do sistema e manter condições anaeróbicas.

- **Métodos**

As etapas metodológicas adotadas na construção e operação do biodigestor acadêmico estão sintetizadas no fluxograma da **Figura 2**. A seguir, cada fase é descrita em detalhe.

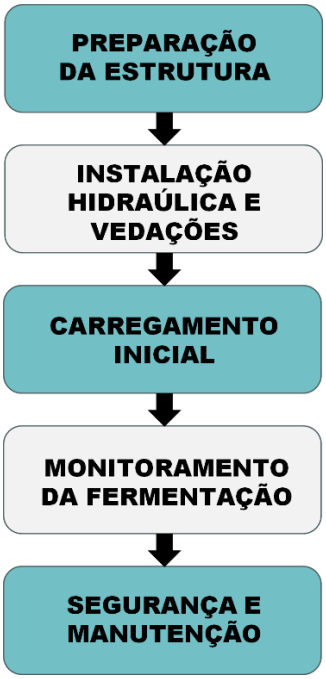


Figura 2. Fluxograma das etapas de metodológicas de construção, operação e manutenção do biodigestor acadêmico
Fonte: Elaboração própria, 2025.

1- **Preparação da estrutura**

A bombona foi lavada e, em seguida, pintada com tinta preta resistente ao tempo. Três furos foram realizados: um lateral próximo à base (saída do biofertilizante) e dois superiores (entrada de substrato e saída de gás).

2- **Instalação hidráulica e de vedação**

Foram inseridos tubos de PVC e mangueiras, devidamente fixados com cola de silicone e fita veda-rosca. Essa etapa foi crítica para garantir a hermeticidade do sistema, evitando vazamentos de biogás e entrada de oxigênio, que comprometem a fermentação anaeróbica.

3- **Carregamento inicial (partida do sistema)**

O biodigestor foi abastecido com a mistura de 20 kg de esterco bovino fresco e 20 kg de água. Após inserção, o material foi homogeneizado manualmente. Esse processo de inoculação inicial é importante por fornecer microrganismos anaeróbios que aceleram a fermentação (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009).

4- **Monitoramento da fermentação**

O sistema foi mantido em ambiente externo, sob condições de temperatura ambiente (média de 28 °C). A produção de biogás foi acompanhada visualmente pela expansão da câmara de ar.

5- **Segurança e manutenção**

O sistema foi inspecionado semanalmente para verificar possíveis pontos de vazamento e para drenagem do biofertilizante excedente. A segurança no manuseio do biogás foi observada, utilizando válvulas de escape e evitando acúmulo em locais fechados.

Sendo assim, com essas etapas, o biodigestor acadêmico foi estruturado e testado, possibilitando a análise de seus resultados

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção do biodigestor acadêmico demonstrou resultados satisfatórios já na fase

inicial de testes com esterco bovino diluído em água. A expansão visível da câmara de ar funcionou como indicador prático da produção de biogás, confirmando a viabilidade do sistema em condições experimentais simples e com materiais de baixo custo. A drenagem periódica de biofertilizante líquido também evidenciou a eficiência da digestão anaeróbica, agregando valor ao processo pela possibilidade de uso agrícola desse subproduto, rico em nutrientes.

Esses resultados iniciais evidenciam a potencialidade do biodigestor como recurso de baixo custo e de fácil replicação. Contudo, alguns desafios foram identificados: a manutenção da vedação hermética das conexões se mostrou essencial para evitar perdas de gás e entrada de oxigênio, que comprometem o processo; a influência da temperatura ambiente sobre a taxa de produção de biogás destacou a importância do isolamento térmico ou da escolha adequada do local de instalação; e a necessidade de monitoramento regular reforçou o caráter experimental e educativo da experiência.

Do ponto de vista pedagógico, a utilização do biodigestor em aulas práticas promoveu aprendizado ativo, permitindo que os estudantes aplicassem conceitos teóricos de Bioengenharia, como fermentação anaeróbica, reaproveitamento de resíduos e produção de energia limpa. Essa vivência experimental estimulou a interdisciplinaridade, o trabalho colaborativo e a conscientização ambiental, aspectos alinhados ao papel da universidade como formadora de cidadãos críticos e comprometidos com a sustentabilidade.

Embora os ensaios tenham sido limitados ao uso de esterco bovino, encontra-se em fase de planejamento a adaptação para utilização de resíduos alimentares oriundos das cantinas da Autarquia Educacional de Belo Jardim (AEB). Essa perspectiva amplia a relevância socioambiental do projeto, ao associar a produção de biogás e biofertilizante à redução do desperdício de alimentos, inserindo a prática no contexto da economia circular. Dessa forma, mesmo sem resultados consolidados nessa etapa, o projeto aponta para caminhos promissores de investigação e aplicação futura.

PERSPECTIVAS DE MELHORIA FUTURA

A Importância da Detecção de Vazamentos para a Segurança em Biodigestores

A segurança operacional é um dos pilares mais críticos em qualquer sistema de biodigestão, pois o processo, embora sustentável e benéfico, envolve a produção de biogás,

uma mistura de gases em que o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) são os principais componentes. Conforme destacam Chimenez, Amagi e Santos (2023), o manejo desse tipo de instalação exige atenção especial aos riscos de combustão, como deflagração e detonação, que somente ocorrem quando a concentração de gás atinge o limite de explosividade. Nessa perspectiva, torna-se essencial adotar estratégias de monitoramento para garantir a operação segura, sobretudo porque o metano é altamente inflamável e pode se tornar perigoso se não for adequadamente contido.

Para mitigar esse risco, a implementação de um sistema de monitoramento de vazamentos é uma etapa crucial. Essa tecnologia, cada vez mais presente em sistemas modernos de gestão, serve como uma camada adicional de proteção. Por meio da instalação de sensores, é possível detectar e alertar sobre a presença de biogás no ambiente circundante.

Essa medida não apenas protege o equipamento de possíveis danos causados por explosões, como também preserva a saúde e a vida da comunidade acadêmica, em virtude de que o projeto é destinado a atividades de ensino em laboratório. Portanto, a detecção de vazamentos por meio de sensores não somente é uma melhoria futura, mas uma aplicação imprescindível que eleva a segurança a um novo estágio, garantindo que o sistema de biodigestão opere de forma confiável e responsável.

Como proposta de melhoria futura para o protótipo desenvolvido, sugere-se a implementação de um sistema automatizado de acompanhamento de vazamentos de biogás. A proposta consiste em integrar um sistema que combina um ESP 32, um sensor de metano MQ-10 e um Arduino GSM Shield para possibilitar o monitoramento e a transmissão de dados.

Esse conjunto apresentado na **Figura 3** permitirá que, ao detectar concentração de gás acima de um limite seguro, emita alertas automáticos via SMS, garantindo maior segurança do processo e fornecendo dados em tempo real para análises de desempenho. Essa evolução amplia o caráter interdisciplinar do projeto, conectando Bioengenharia, Instrumentação e Internet das Coisas (IoT).

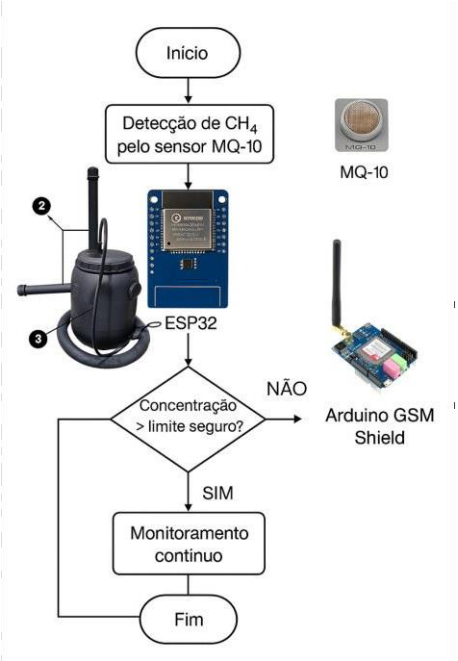


Figura 3. Sistema automatizado de detecção de vazamentos em biodigestor.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biodigestor construído na UABJ comprovou sua viabilidade como recurso educativo e sustentável, favorecendo tanto a aprendizagem prática em aulas de laboratório quanto a valorização de resíduos orgânicos. Mais do que os resultados técnicos alcançados com o uso de esterco bovino, o projeto destacou-se por integrar ensino e sustentabilidade, aproximando os estudantes de práticas reais de bioengenharia.

Como projeção, espera-se que a próxima etapa, com a utilização de resíduos alimentares, potencialize o impacto ambiental e social do sistema. Além disso, o biogás produzido poderá ser empregado em experimentos laboratoriais, funcionando como alternativa energética renovável em atividades práticas. Dessa forma, o biodigestor não se limita a uma experiência pontual, mas configura-se como tecnologia educativa com potencial de expansão, replicação e contribuição efetiva para a economia circular no ambiente acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UABJ/UFRPE) pelo suporte institucional e pela infraestrutura laboratorial disponibilizada, ao Instituto Conceição

Moura (ICM) pelo suporte técnico que contribuiu para o aprimoramento do protótipo e ao Instituto Federal de Pernambuco, Campus Belo Jardim (IFPE/BJ), na figura do técnico Jackson, pelo apoio prático e pela disponibilização da matéria orgânica utilizada na etapa inicial dos experimentos. Por fim, agradecem, de forma especial, ao professor João Henrique Fernandes da Silva, pela orientação, dedicação e incentivo ao longo de todas as etapas da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023*. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2023. Disponível em: https://abrelpe.org.br/. Acesso em 27 ago. 2025.

Holm-Nielsen, J. B., T. Al Seadi, and P. Oleskowicz-Popiel. "The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization." *Bioresource Technology* 100, no. 22 (2009): 5478–84. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046.

ONU. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Organização das Nações Unidas, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em 27 ago. 2025.

Silva, Z. R., L. M. Krelling, and M. A. Florczak. "Biodigestores como ferramenta para um ensino integrador." *Revista Faz Ciência* 20, no. 31 (2019): 109–22. https://doi.org/10.48075/rfc.v20i31.21069.

Ximenes, Robert Dias; Yamaji, Fábio Minoru; Santos, Luis Ricardo Oliveira. *Segurança e prevenção de riscos em plantas de biogás: aspectos das normas brasileiras*. 32º Congresso da ABES (CBESA) / FITABES 2023, Belo Horizonte – MG, 21–24 maio 2023. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/32cbesa/1290_tema_xi.pdf. Acesso em: 27 ago. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097280

OFICINAS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM EM COMUNIDADES RURAIS PARA AMPLIAR HORIZONTES DE EDUCAÇÃO EM SOLOS E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

TALLERES DE COMPOSTAGE Y VERMICOMPOSTAGE EN COMUNIDADES RURALES PARA AMPLIAR LOS HORIZONTES DE LA EDUCACIÓN EN MATERIA DE SUELOS Y GESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING WORKSHOPS IN RURAL COMMUNITIES TO EXPAND EDUCATION HORIZONS IN SOIL AND ORGANIC WASTE MANAGEMENT

Vitória Raiany do Nascimento Sousa [1], Jarlean Lopes Nóbrega [2], Dayanne Sthefany Marques Almeida[3] e Adriana de Fátima Meira Vital[4].

[1]Granduanda em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, vitoria.raiany@estudante.ufcg.edu.br, 0009-0002-6148-9383;
[2]Granduando em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, jarlean.lopes@estudante.ufcg.edu.br, 0009-0008-2159-1002;
[3]Granduanda em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, dayanne.sthefany@estudante.ufcg.edu.br, 0009-0000-0040-6834;
[4]Doutora em Ciência do Solo, docente, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, adriana.fatima@professor.ufcg.edu.br, 0000-0001-9936-8347

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

RESUMO

O solo exerce uma multifuncionalidade de serviços ecossistêmicos para manutenção da vida, todavia, práticas inadequadas, como a deposição inadequada dos resíduos orgânicos, sobretudo em áreas rurais, poluem e contaminam esse componente integrador do ambiente natural, causando graves danos à saúde humana e animal e comprometendo a qualidade do ar e a produção de alimentos. A surpreendente quantidade de resíduos sólidos orgânicos gerados poderia ser minimizada se a técnica da compostagem e da vermicompostagem. O presente relato apresenta recortes de oficinas para a adequada gestão dos resíduos orgânicos em comunidades rurais, buscando a sustentabilidade dos agroecossistemas. A iniciativa que foi construída como ação do Projeto Usina de Solos, integrante do Programa de Ações Sustentáveis para o Cariri (PASCAR), alocado no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal de Campina Grande (CDSA-UFCG). O projeto teve início em 2014, buscando disseminar as práticas da compostagem e vermicompostagem para a destinação sustentável do resíduo orgânico. Desde então tem alcançado diversos espaços e setores da região do Cariri do estado da Paraíba, onde os monitores realizam oficinas e minicursos em escolas e comunidades rurais, compreendendo que a compostagem e a vermicpompostagem representam importantes estratégias para fortalecer a execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), auxiliando na aplicação dos Objetivos do Desenvolvimento sustentável (ODS), na minimização da crise climática, na ampliação das

ações de Educação em Solos, na geração de trabalho e renda, na conservação dos solos e na sustentabilidade dos sistemas agroalimentares.

Palavras-chave: Resíduos Orgânicos, Participação social, Políticas públicas, Semiárido, PNRS

RESÚMEN

El suelo ejerce una multifuncionalidad de servicios ecosistémicos para el mantenimiento de la vida, sin embargo, prácticas inadecuadas, como el depósito inadecuado de residuos orgánicos, sobre todo en zonas rurales, contaminan y contaminan este componente integrador del medio ambiente natural, causando graves daños a la salud humana y animal y comprometiendo la calidad del aire y la producción de alimentos. La sorprendente cantidad de residuos sólidos orgánicos generados podría minimizarse si se utilizaran técnicas de compostaje y vermicompostaje. El presente informe presenta extractos de talleres para la gestión adecuada de los residuos orgánicos en comunidades rurales, buscando la sostenibilidad de los agroecosistemas. La iniciativa se creó como una acción del Proyecto Usina de Solos, integrante del Programa de Acciones Sostenibles para el Cariri (PASCAR), ubicado en el Centro de Desarrollo Sostenible del Semiárido de la Universidad Federal de Campina Grande (CDSA-UFCG). El proyecto se inició en 2014 con el objetivo de difundir las prácticas de compostaje y vermicompostaje para la gestión sostenible de los residuos orgánicos. Desde entonces, ha llegado a diversos espacios y sectores de la región de Cariri, en el estado de Paraíba, donde los monitores imparten talleres y minicursos en escuelas y comunidades rurales, entendiendo que el compostaje y el vermicompostaje representan estrategias importantes para fortalecer la ejecución de la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), contribuyendo a la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en la minimización de la crisis climática, la ampliación de las acciones de Educación en Suelos, la generación de trabajo e ingresos, la conservación de los suelos y la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios.

Palabras clave: Residuos organicos, Participación social, Políticas públicas, Semiárido, PNRS

ABSTRACT

Soil performs a multifunctional role in ecosystem services for sustaining life. However, inappropriate practices, such as the improper disposal of organic waste, especially in rural areas, pollute and contaminate this integral component of the natural environment, causing serious damage to human and animal health and compromising air quality and food production. The surprising amount of organic solid waste generated could be minimized if composting and vermicomposting techniques were used. This report presents excerpts from workshops on the proper management of organic waste in rural communities, seeking the sustainability of agroecosystems. The initiative was developed as part of the Soil Plant Project, which is part of the Sustainable Actions for Cariri Program (PASCAR), located at the Center for Sustainable Development of the Semi-Arid Region at the Federal University of Campina Grande (CDSA-UFCG). The project began in 2014, seeking to disseminate composting and vermicomposting practices for the sustainable disposal of organic waste. Since then, it has reached various areas

and sectors in the Cariri region of the state of Paraíba, where monitors hold workshops and mini-courses in schools and rural communities, understanding that composting and vermicomposting represent important strategies to strengthen the implementation of the National Solid Waste Policy (PNRS), assisting in the application of the Sustainable Development Goals (SDGs), in minimizing the climate crisis, expanding soil education initiatives, generating jobs and income, conserving soils, and ensuring the sustainability of agri-food systems.

Keywords: Waste management, Social participation, Public policies, Semiarid, PNRS

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Para manter a qualidade de vida e o bem-estar é fundamental priorizar ações que promovam a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Isso deve ser aplicado ao contexto de cada organização e território, considerando suas especificidades. No meio rural a necessidade de informações sobre atividades que podem contribuir para a sustentabilidade é cada vez mais urgente, sobretudo quando se considera a crise climática e a geração e disposição inadequada dos resíduos orgânicos, que, na maioria das vezes é enterrado ou queimado.

Acumulado de maneira indevida os resíduos orgânicos são responsáveis pela geração de metano nos lixões e aterros sanitários, contudo, quando bem gerenciados e reciclados por meio da compostagem, resulta em uma série de benefícios ambientais e sociais importantes, incluindo melhoria da saúde do solo, economia de água, aumento da produtividade das culturas, redução da necessidade de fertilizantes sintéticos e produtos biocidas, redução da erosão hídrica e eólica, melhoria da estrutura do solo e, como demonstra a literatura, maior capacidade de mitigar as mudanças climáticas (Vital et al. 2018).

Facilitar a gestão adequada dos resíduos orgânicos tem sido uma das principais preocupações de todas as jurisdições governamentais. Assim, divulgar ações para que as populações rurais compreendam os impactos negativos da disposição inadequada dos resíduos sobre o solo e a gestão destes por meio da compostagem como a tecnologia verde mais importante para a conservação dos solos e agricultura sustentável, é uma urgência. Assim, o presente trabalho objetiva apresentar o relato das oficinas do Projeto Usina de Solos, cujas ações são voltadas para a educação e conservação dos solos por meio das práticas da compostagem e vermciompostagem.

O projeto de extensão universitária “Usina de Solos” integra o Programa de Ações

Sustentáveis para o Cariri (PASCAR) que teve início formal no ano de 2013 como um programa de extensão alocado no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA/UFCG), com ações voltadas para a divulgação da reciclagem dos resíduos orgânicos direcionadas às escolas, associações e comunidades rurais. Inicialmente chamado 'Compostando', suas atividades aconteciam a partir de visitas que a equipe do programa fazia nas secretarias municipais, conselhos e associações rurais de alguns municípios do entorno de Sumé-PB, onde está situado o campus universitário, para participar de dias de campo. Com o passar dos anos, o projeto conquistou o público e as demandas foram aumentando significativamente, com solicitações e convites para realizar oficinas de compostagem e vermicompostagem em diversas localidades da região do Cariri paraibano adentrando municípios do estado vizinho, Pernambuco.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A compostagem é um processo simples, que envolve a decomposição microbiana de resíduos sólidos orgânicos, de origem animal ou vegetal, que podem ser transformados em adubo natural (Kiehl 1985). Consta na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 (Brasil 2010), que a compostagem é uma das formas de destinação ambientalmente adequada de resíduos, juntamente com a reutilização, a reciclagem, a recuperação e o aproveitamento.

Já a vermicompostagem é um processo ecotecnológico de baixo custo que envolve a participação das minhocas e permite a biooxidação, degradação e estabilização de resíduos orgânicos, tendo como resultado o vermicomposto ou húmus de minhoca, que pode beneficiar tanto os consumidores quanto o meio ambiente, abrindo caminho para uma agricultura mais sustentável no futuro (Villacorta 2023).

Ambos os processos são estratégias importantes para a gestão dos resíduos orgânicos nas áreas rurais, sendo duas técnicas adequadas para reciclar resíduos sólidos de origem orgânica, priorizando a minimização dos impactos negativos do lixo, otimizando a fertilidade e a saúde do solo e das plantas e fortalecendo a economia local e o desenvolvimento rural.

Desde sua idealização o Projeto Usina de Solos promove palestras, dias de campo, oficinas e minicursos para disseminar as práticas em escolas e comunidades rurais.

Desde sua criação o PASCAR priorizou a disseminação das práticas da compostagem

e vermicompostagem, inicialmente no campus universitário e nas escolas do entorno. Em seguida surgiram demandas dos agricultores da feira agroecológica do município e a equipe passou a incentivar a reciclagem dos orgânicos nos sítios desses integrantes. A partir daí as secretarias de agricultura e meio ambiente começaram a demandar ações.

O programa de rádio Matutando Solos e Agroecologia (Figura 1), outro projeto integrante do PASCAR, foi um instrumento importante para divulgação das oficinas de compostagem e vermicompostagem. As ações no rádio como veículo de educomunicação estratégico para o meio rural são cruciais na socialização de conhecimentos com os agricultores, gerando um diálogo contínuo sobre o cuidado ambiental e o desenvolvimento local (Nóbrega et al. 2023; Ferreira 2025).

Figura 1. Equipe do Programa Matutando Solos e Agroecologia no studio apresentando o tema Composteira doméstica.
Fonte: autoria própria, 2025.

No ano de 2021 o Compostando passou a ser conhecido oficialmente como ‘Projeto Usina de Solos’. Ao longo do tempo o trabalho do projeto começou a ser divulgado em diversos municípios e setores, possibilitando a formalização de novas parcerias.

Desde então a coordenação do PASCAR e os bolsistas vem desenvolvendo atividades rotineiras no Viveiro de Mudas do campus universitário, espaço de pesquisa e de visitas do

público externo, interessado em conhecer as ações de gerenciamento dos resíduos orgânicos. Além disso, iniciou-se a divulgação do projeto de forma mais intensa nas escolas, nas feiras e associações, demonstrando que o projeto poderia ser uma solução importante para a redução do impacto dos resíduos orgânicos, para a conservação dos solos, bem como para a geração de trabalho e renda.

Atualmente a atuação acontece rotineiramente em escolas, do Infantil à Educação de |Jovens e Adultos (EJA) e em instituições públicas e privadas. A ideia é ampliar o entendimento da urgência do adequado gerenciamento dos resíduos orgânicos desde cedo, fundamentando posturas éticas e resonsáveis para com o ambiente natural (Figura 2).

Figura 2. Oficina de Compostagem e Vermicompostagem numa escola de Ensino Básico.
Fonte: autoria própria, 2025.

O projeto tambpem contempla a realização de palestras, workshops, minicursos e oficinas com outros setores da sociedade, na busca de fortalecer o entendimento da produção de adubo orgânico como empreendimento ambiental. Esses espaços para socialização do conhecimento do cuidado com o solo, por meio da prática da reciclagem dos resíduos orgânicos também é essencial quando se pensa a promoção da sustentabilidade em seu tríplice aspecto,

sobretudo porque a disposição inadequada dos resíduos sólidos, comprometendo a saúde do solo e sua fertilidade ainda são um desafio em muitos ambientes, pelo que é necessário difundir essas tecnologias (Figura 3).

Figura 3. Realização de palestras, oficinas, workshops e exposições sobre a reciclgem dos residuos orgânicos pelas práticas da compostagem e vermicompostagem para diferentes públicos.
Fonte: Figura do autor, 2025.

Além disso foi implementado o Setor de Compostagem na Área Experimental de Manejo Agroecológica, no campus, como forma de contribuir para as atividades de ensino, pesquisa e extensão e ampliar a disseminação das práticas nas diversas atividades de visitação que ocorrem. Essa dinâmica insere-se na proposta da Balduino Junior et al. (2025), cuja característica é a vivência em grupo e valorização dos saberes e aprendizados colaborativos.

A metodologia favorece e incentiva a construção de uma identidade coletiva entre os participantes, crucial para o sucesso da adoção das tecnologias em comunidades rurais, uma

vez que nas visitas realizadas a participação ativa dos agricultores com os monityores, integrando o conhecimento técnico e científico da sala de aula com a experiência diária do campo, resulta numa troca de experiências que estão em consonância com as diretrizes de planos municipais de saneamento que visam alinhar a PNRS e formar multiplicadores do cuidado ambiental (Figura 4).

Figura 4. Setor de Compostagem do campus universitario com orientações sobre a atividade ao público externo.
Fonte: Figura do autor, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relato da experiência, com base nos dados de participação e visitas, evidencia um alto engajamento comunitário e a crescente demanda por educação em solos e gestão de resíduos orgânicos. As escolas e as comunidades rurais estão cada vez mais interessadas em aprender sobre compostagem e vermicompostagem devido aos seus benefícios ambientais, como a melhoria da saúde do solo e aproveitamento correto dos resíduos orgânicos, bem como pelas oportunidades educacionais, pois as práticas proporcionam uma forma atrativa de trabalhar a responsabilidade ambiental.

A Tabela 1 consolida os dados de alcance e participação do Projeto Usina de Solos, onde é possível observar um grande número de oficinas e exposições, num volume total de 1.573 participantes em um único ano e a expansão geográfica para 14 municípios em três estados (Alagoas, Paraíba e Pernambuco), demonstrando que o projeto alcançou um patamar de ampla aceitação e demanda.

A universidade pública, por meio dessa iniciativa de extensão, está desempenhando um papel crucial no desenvolvimento regional, preenchendo a lacuna de assistência técnica e

pesquisa que existia na área e ampliando debates sobre o adequado gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos.

Tabela 1: Participação e Alcance do Projeto "Usina de Solos" (2024)

Ano	Tipo de Atividade	Público-alvo	Municípios Atendidos	Número de Participantes/Visitantes
2024	Oficinas e Visitas	Escolas	Afogados da Ingazeira - PE	23
2024	Visita	Instituição Pública	Arapiraca - AL	170
2024	Oficinas e Visitas	Escolas	Brejinho - PE	107
2024	Oficinas e Visitas	Escolas	Cabaceiras -PB	23
2024	Oficinas e Visitas	Escolas	Caraúbas - PB	97
2024	Oficinas e Visitas	Comunidades rurais e Escolas	Jataúba - PE	205
2024	Oficinas e Visitas	Escola e Instituições Públicas	Parari - PB	231
2024	Visita	Escolas	Prata - PB	18
2024	Oficinas e Visitas	Escola	São Sebastião do Umbuzeiro	27
2024	Visita	Escolas	São José do Egito - PE	30
2024	Oficinas, Visitas e Dias de Campo	Escola, Comunidades rurais e Feiras	São José dos Cordeiros	145
2024	Oficinas e Visitas	Escola	Soledade - PB	39
2024	Oficinas, Visitas e Dias de Campo	Comunidades rurais, Escolas, Associações, Feiras, Instituições Públicas e Privadas	Sumé	436
2024	Oficinas e Visitas	Comunidades rurais, Escolas, Instituições Públicas	São Mamede - PB	22
			TOTAL	1573

Fonte: autoria própria, 2025.

A expressiva participação nos eventos e a expansão geográfica do projeto, que passou de visitas informais a convites para atuar em diversos municípios do Cariri e em estados vizinhos, demonstram que a universidade pública está em conexão aos apelos da sociedade civil e suas demandas. A experiência do "Usina de Solos" surge em um contexto regional onde há documentada deficiência de pesquisas e carência de assistência técnica rural no manejo de resíduos e na conservação do solo (Rocha e Júnior 2018).

As contribuições do projeto vão além da mera gestão de resíduos mas perpassa pela integração d educação em solos com as políticas de conservação. Em eventos diversos é feita a doação dos adubos orgânicos e das matrizes de minhocas, incentivando a práticas nos diferentes setores da sociedade, com ênfase nas comunidades rurais, pois, ao entender que o resíduo orgânico é um produto a ser valorizado por seu impactos direto na qualidade ambiental, os agricultores passam a compreende-lo como possíbilidade de empreender, o que se refletirá na economia e na autonomia das famílias rurais. Ao aproveitar os resíduos da própria propriedade (esterco, restos vegetais) para produzir seu próprio insumo agrícola, o agricultor familiar gera uma economia significativa e reduz sua dependência de insumos caros e externos, dos danos e contaminação ao solo e amplia a melhoria na produção agrícola (Agricultura em Foco 2012; Campos et al. 2021).

O Projeto Usina de Solos, ao se alinhar com as diretrizes da PNRS, atua como um braço de implementação dessas políticas em nível local. Nesse sentido, a experiência apresentada já se ampliou para a implementação do galpão de Compostagem no aterro controlado do município, numa proposta de gestão colaborativa para a gestão adequada dos resíduos sólidos. A formalização de parcerias com prefeituras e secretarias demonstra a necessidade de se ampliar modelos de parceria entre a Academia, o setor público e a sociedade civil, visando aodesenvolvimento rural sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de extensão universitária "Usina de Solos" demonstrou ser um modelo eficaz de como a academia pode gerar soluções para desafios ambientais e sociais. Ele se tornou uma "política pública de fato", ao integrar o conhecimento técnico-científico com o saber local, fortalecendo a autonomia e o empoderamento de comunidades rurais no semiárido.

O sucesso do projeto se baseia em uma abordagem holística, que utiliza o aprendizado prático e a comunicação via rádio para disseminar técnicas de baixo custo, como a compostagem e a vermicompostagem. A iniciativa tem demonstrado que a prática não precisa de estruturas complexas, o que facilita sua adoção pela agricultura familiar.

Para além disso, as atividades de gestão sustentável dos resíduos orgânicos por meio das práticas de compostagem e vericompostagem, no âmbito universitário, gera engajamento e oportunidades acadêmicas, além de promover a participação social da comunidade. Além dos fatores técnicos a serem considerados, o compromisso e a participação dos usuários são fatores-chave para o sucesso da ação, pois os biorresíduos têm grande potencial para serem compostados no local, gerando benefícios sociais, ambientais e econômicos.

Para o futuro, a recomendação é expandir o projeto com novas parcerias na busca de incentivar o cuidado com o solo e seus serviços ecossistêmicos pelo adequado gerenciamento dos resíduos orgânicos e transformar o conhecimento de sala de aula em um catalisador de dignidade, autonomia e sustentabilidade para as comunidades rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agricultura em Foco. 2012. "A minhocultura e produção de húmus no contexto da agricultura familiar." Agricultura em Foco (blog). Junho de 2012. Disponível em: https://agriculturainfoco.blogspot.com/2012/06/minhocultura-e-producao-de-humus-no.html. Acesso em 30 ago. 2025.

Balduino Junior, A L.; Sehnem, S.; et al. 2025. “Metodologias De Ensino E Educação De Campo: Contribuições Para A Formação Docente.” *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)* 27 (1): 29-34. doi:10.9790/487X-2701102934.

Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Instituia Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 25 ago. 2025.

Campos, Vera Guimarães, Adriana Gomes do Nascimento, e Renata de Souza Reis. 2021. "Soberania Alimentar e Agroecologia: Direitos Humanos, Políticas Públicas e Empoderamento Feminino." Em *Cadernos de Agroecologia: Diálogos Convergências e divergências: mulheres, feminismos e agroecologia* 16, no. 1.

Ferreira, Luiz C. 2025. "Dia do Rádio: veículo é fundamental no combate a mudanças climáticas." Agência Brasil, 23 de fevereiro de 2025. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2025-02/dia-do-radio-veiculo-e-fundamental-no-combate-mudancas-climaticas. Acesso em 30 ago. 2025.

Kiehl, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ceres, 1985.

Nóbrega, J. L.; Ayres, B. B. F.; Sousa, J. H. S. de.; et al. 2023. "Importância do rádio na conservação ambiental e no desenvolvimento rural." Apresentado no II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Areia - PB. Anais... Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373865180_Importancia_do_radio_na_conservacao_ambiental_e_no_desenvolvimento_rural. Acesso em: 30 de ago. 2025

Rocha, T. A. L. C. G.; Júnior, J. A. De S. G. "Gestão dos Resíduos Sólidos Orgânicos Provenientes da Agropecuária no Semiárido Brasileiro." Apresentado no Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido (CONADIS). Anais... 2018.

Villacorta, W. B. El vermicompostaje una alternativa para potenciar la agricultura urbana. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, Bolivia. v.10, n.1. p.97-108. 2023.Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370466488_El_vermicompostaje_una_alternativa_para_potenciar_la_agricultura_urbana_Vermicomposting_as_an_alternative_to_boost_urban_agricultura. Accesso em: 26 ago 2025.

Vital, A. de F. M.; Barbosa, I.de S.; et al. 2018 Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos e Produção de Biofertilizante Enriquecido. Revista Saúde e Ciência online, v. 7, n. 2, p. 339-351.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097293

INTEGRAÇÃO DE EDUCAÇÃO ALIMENTAR E SUSTENTABILIDADE NA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR DO ENSINO FUNDAMENTAL I

INTEGRACIÓN DE LA EDUCACIÓN ALIMENTARIA Y LA SOSTENIBILIDAD EN LA ALIMENTACIÓN ESCOLAR DE LA EDUCACIÓN PRIMARIA

INTEGRATING FOOD EDUCATION AND SUSTAINABILITY IN ELEMENTARY SCHOOL FEEDING

Yanara Gomes de Oliveira[1], Cândida Lucile Pereira Martins [2], Alfredina dos Santos Araújo [3] e José Antonio Ferreira Lima[4].

[1] Mestranda em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal – Paraíba, Brasil, yanaragoliveira@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6673-7481;
[2]Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, lucileclpm79@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-3953-8344;
[3] Doutora em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal - Paraíba, Brasil, alfredina@ccta.ufcg.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-9336-7308;
[4]Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal – Paraíba, Brasil, jafl9637@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-6538-6550.

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Reduzir, reciclar e reutilizar.

Eje Temático 06 – Residuos sólidos
Reutilización y reducción del desperdicio de alimentos

Thematic Axis 06 – Solid waste
Food reuse and waste reduction

RESUMO

A alimentação escolar desempenha um papel essencial no desenvolvimento infantil, ao assegurar nutrientes adequados e estimular a formação de hábitos alimentares saudáveis. Além de sua função nutricional, a merenda representa, para muitos estudantes, a principal refeição do dia, o que reforça a importância de garantir qualidade, segurança e sustentabilidade em sua oferta. Contudo, ainda são recorrentes problemas como o desperdício e a falta de aproveitamento integral dos alimentos, o que gera impactos nutricionais, financeiros e ambientais. Diante disso, o presente projeto teve como objetivo promover práticas educativas voltadas ao aproveitamento total dos alimentos e à capacitação de manipuladores, por meio de ações extensionistas em escolas do Ensino Fundamental I no município de Pombal-PB. O estudo contemplou quatro instituições da rede municipal de ensino, envolvendo estudantes e merendeiras em atividades presenciais. Para os alunos, foram desenvolvidas oficinas lúdicas e interativas que abordaram conceitos de alimentação saudável, sustentabilidade e reaproveitamento de talos, cascas e folhas, associando teoria e prática. Já para os manipuladores, foram realizados cursos e minicursos que destacaram boas práticas de higiene, armazenamento, preparo e conservação dos alimentos, além de orientações sobre receitas sustentáveis. Complementarmente, foram conduzidas análises físico-químicas e

microbiológicas em preparações da merenda, com o intuito de verificar a conformidade dos alimentos servidos em relação aos padrões legais de qualidade e segurança. Os resultados apontaram que todas as amostras avaliadas estavam dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente, confirmando a qualidade das refeições oferecidas. As oficinas educativas proporcionaram maior aceitação de alimentos nutritivos entre os estudantes, enquanto os cursos de capacitação ampliaram o conhecimento das merendeiras sobre manipulação segura e reaproveitamento alimentar. No total, cerca de 350 pessoas foram beneficiadas diretamente, revelando impacto social significativo. Diante do exposto, a experiência contribuiu para a segurança alimentar e nutricional, para a redução do desperdício e para a conscientização socioambiental no ambiente escolar.

Palavras-chave: Reaproveitamento, Boas práticas de manipulação, Alimentação sustentável, Práticas educativas

RESÚMEN

La alimentación escolar desempeña un papel esencial en el desarrollo infantil, garantizando una nutrición adecuada y fomentando la formación de hábitos alimentarios saludables. Más allá de su valor nutricional, la alimentación escolar representa, para muchos estudiantes, la comida principal del día, lo que refuerza la importancia de garantizar la calidad, la seguridad y la sostenibilidad en su provisión. Sin embargo, problemas como el desperdicio y la falta de aprovechamiento integral de los alimentos siguen siendo recurrentes, generando impactos nutricionales, económicos y ambientales. Por lo tanto, este proyecto tuvo como objetivo promover prácticas educativas centradas en el aprovechamiento integral de los alimentos y la capacitación de manipuladores de alimentos mediante actividades de divulgación en escuelas primarias del municipio de Pombal, Paraíba. El estudio incluyó cuatro instituciones del sistema escolar municipal, involucrando a estudiantes y personal de comedor en actividades presenciales. Para los estudiantes, se desarrollaron talleres lúdicos e interactivos que abordaron conceptos de alimentación saludable, sostenibilidad y la reutilización de tallos, cáscaras y hojas, combinando teoría y práctica. Para manipuladores de alimentos, se impartieron cursos y minicursos que destacaron las buenas prácticas de higiene, el almacenamiento, la preparación y la conservación de alimentos, así como orientación sobre recetas sostenibles. Además, se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos de los almuerzos escolares para verificar que los alimentos servidos cumplieran con los estándares legales de calidad e inocuidad. Los resultados mostraron que todas las muestras evaluadas cumplían con los parámetros exigidos por la legislación vigente, lo que confirma la calidad de las comidas ofrecidas. Los talleres educativos propiciaron una mayor aceptación de alimentos nutritivos entre los estudiantes, mientras que las capacitaciones ampliaron los conocimientos del personal de comedores escolares sobre la manipulación segura de alimentos y el reciclaje. En total, aproximadamente 350 personas se beneficiaron directamente, lo que reveló un importante impacto social. Por lo anterior, la experiencia contribuyó a la seguridad alimentaria y nutricional, la reducción de residuos y la concienciación socioambiental en el entorno escolar.

Palabras clave: Aprovechamiento, Buenas prácticas de manipulación, Alimentación sostenible, Prácticas educativas

ABSTRACT

School meals play an essential role in child development by ensuring adequate nutrients and encouraging the formation of healthy eating habits. Beyond their nutritional value, school meals represent, for many students, the main meal of the day, which reinforces the importance of ensuring quality, safety, and sustainability in their provision. However, problems such as waste and the lack of full use of food remain recurring, generating nutritional, financial, and environmental impacts. Therefore, this project aimed to promote educational practices focused on the full use of food and the training of food handlers through outreach activities in elementary schools in the municipality of Pombal, Paraíba. The study included four institutions in the municipal school system, involving students and lunch staff in in-person activities. For the students, fun and interactive workshops were developed that addressed concepts of healthy eating, sustainability, and the reuse of stems, peels, and leaves, combining theory and practice. For food handlers, courses and mini-courses were held that highlighted good hygiene practices, storage, preparation and preservation of food, as well as guidance on sustainable recipes. Additionally, physical, chemical, and microbiological analyses were conducted on the school lunches to verify that the food served met legal quality and safety standards. The results showed that all samples evaluated met the parameters required by current legislation, confirming the quality of the meals offered. The educational workshops led to greater acceptance of nutritious foods among students, while the training courses expanded the school lunch staff's knowledge of safe food handling and recycling. In total, approximately 350 people benefited directly, revealing a significant social impact. Given the above, the experience contributed to food and nutritional security, waste reduction, and socio-environmental awareness in the school environment.

Keywords: Food reuse, Good handling practices, Sustainable feeding, Educational practices

INTRODUÇÃO

A alimentação escolar é reconhecida como um pilar fundamental para o crescimento e o desenvolvimento adequado de crianças em idade escolar, assegurando o aporte de nutrientes essenciais e contribuindo para a consolidação de hábitos alimentares saudáveis. No âmbito do Ensino Fundamental I, sua relevância é ainda mais pronunciada, uma vez que, para muitos alunos, a merenda representa a principal refeição do dia (Arquque, Ferreira e Figueiredo 2021). Paralelamente, a escola configura-se como um ambiente propício para a implementação de práticas educativas que integram saúde, nutrição e sustentabilidade, promovendo a conscientização da comunidade escolar (Henriques *et al*. 2021; Sipioni *et al*. 2021).

Contudo, um desafio recorrente nessas unidades é o desperdício de alimentos, problema intimamente associado à subutilização de insumos e à carência de boas práticas de

manipulação. Essa realidade compromete a segurança alimentar e nutricional, eleva os custos operacionais e gera impactos ambientais negativos. Nesse contexto, o reaproveitamento integral dos alimentos, incluindo partes não convencionais como talos, folhas e cascas, surge como uma alternativa estratégica, capaz de conciliar a redução de desperdícios com o incremento do valor nutricional do cardápio oferecido (Souza 2021).

Diante dessa problemática, o projeto desenvolvido nas escolas municipais de Pombal-PB buscou articular ensino, extensão e pesquisa. A iniciativa envolveu a participação de manipuladores de alimentos e estudantes em um ciclo de atividades formativas, como minicursos e palestras, com o intuito de promover a adoção de práticas sustentáveis na cozinha escolar. Esta experiência reveste-se de significativa importância para a redução, reciclagem e reutilização, pois não apenas apresenta uma solução prática para a gestão de resíduos sólidos orgânicos no ambiente escolar, mas também evidencia o papel da escola como agente transformador. Ao fomentar a integração entre educação alimentar, saúde e sustentabilidade, o trabalho contribui para o fortalecimento de políticas públicas que visam à consolidação de ambientes educacionais mais saudáveis e socialmente responsáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi realizado em quatro escolas da rede municipal de Pombal-PB: EMEF Vida Nova, EMEF Professor Newton Seixas, EMEF Matilde de Castro Bandeira e EMEF Francisco José Santana. As ações envolveram dois públicos principais: estudantes do Ensino Fundamental I e manipuladores da merenda escolar. O período de execução contemplou visitas presenciais, oficinas educativas e atividades práticas de capacitação. A equipe executora foi organizada de forma interdisciplinar, atribuindo a cada integrante responsabilidades específicas, o que possibilitou maior integração entre planejamento, execução e avaliação. Inicialmente, foram mapeadas as turmas participantes e definida a metodologia de atuação, contemplando atividades adequadas ao perfil etário dos alunos e às necessidades de formação das merendeiras.

As ações educativas direcionadas aos alunos ocorreram em formato participativo, utilizando dinâmicas, cartilhas ilustrativas e livreto de receitas sustentáveis que exploravam o aproveitamento integral dos alimentos. Para os manipuladores, foram ofertadas palestras expositivas e minicursos práticos abordando temas como higiene pessoal, higienização de utensílios e ambientes, técnicas corretas de armazenamento e preparo, além de orientações

sobre receitas com talos, cascas e folhas (Souza 2021).

Como parte complementar, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas de preparações do cardápio escolar, como bolo de milho e farofa de cuscuz com ovo. O objetivo foi avaliar a conformidade dos alimentos com os padrões de qualidade e segurança exigidos pela legislação sanitária vigente (Brasil 2022). A metodologia adotada buscou integrar saberes científicos e populares, promovendo uma troca de experiências entre universidade, escola e comunidade, de modo a reforçar práticas de reaproveitamento alimentar e reduzir o desperdício.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As atividades desenvolvidas contemplaram desde ações educativas até análises laboratoriais, abrangendo alunos do Ensino Fundamental I e manipuladores de alimentos das quatro escolas participantes. No primeiro contato com os estudantes, foram realizadas dinâmicas que possibilitaram identificar preferências alimentares e hábitos de consumo, o que permitiu adaptar as oficinas pedagógicas ao perfil das turmas. Esse processo demonstrou a importância de abordar alimentação saudável de forma lúdica, ampliando a aceitação de frutas, legumes e verduras (Henriques *et al*. 2021; Sipioni *et al*. 2021).

As oficinas com os alunos abordaram conceitos de reaproveitamento integral de alimentos e sustentabilidade, além de promoverem a distribuição de materiais educativos com receitas que utilizavam cascas, talos e folhas. Paralelamente, as merendeiras participaram de palestras e minicursos que enfatizaram boas práticas de manipulação, higiene pessoal, armazenamento correto e prevenção de contaminações. Esse processo de capacitação foi essencial para assegurar a qualidade das refeições e minimizar desperdícios, corroborando estudos que destacam a relevância da formação continuada para profissionais da alimentação escolar (Arquque, Ferreira e Figueiredo 2021).

Como parte das atividades práticas, foram coletadas amostras de preparações servidas na merenda, como farofa de cuscuz com ovo e bolo de milho. Os resultados das análises microbiológicas (Tabela 1) revelaram ausência de patógenos como *Escherichia coli* e *Salmonella*, indicando conformidade com os padrões da legislação vigente (Brasil 2022). Os parâmetros físico-químicos (Tabela 2) também apresentaram resultados adequados, confirmando a boa qualidade dos alimentos produzidos. Tais evidências reforçam que a implementação de boas práticas contribui diretamente para a segurança alimentar e nutricional no ambiente escolar.

Tabela 1. Resultados obtidos para as análises microbiológicos das escolas municipais

PARÂMETROS (UNIDADES)	P	FJS	MCB	NS	VN
Coliformes a 35ºC (NMP/g)	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes a 45ºC (NMP/g)	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Escherichia coli (UFC/g)	10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Salmonella/25g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Estafilococos coagulase positiva/g	10^3	Ausente	Ausente	$9{,}67 \times 10^3$	Ausente

Padrão da Legislação (P), EMEF Francisco José Santana foram (FJS), EMEF Matilde de Castro Bandeira (MCB), EMEF Professor Newton Seixas (NS), EMEF Vida Nova (VN). Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2. Resultados obtidos para as análises físico-químicas das escolas municipais

PARÂMETROS (UNIDADES)	P	FJS	MCB	NS	VN
Umidade (g/100g) %	-	31,59	38,15	38,04	77,40
Acidez (meq/Kg)	-	0,54	0,65	0,65	1,96
pH	-	7,4	7,2	7,6	6,6

Padrão da Legislação (P), EMEF Francisco José Santana foram (FJS), EMEF Matilde de Castro Bandeira (MCB), EMEF Professor Newton Seixas (NS), EMEF Vida Nova (VN). Fonte: Elaboração própria.

O impacto social do projeto também merece destaque: cerca de 350 pessoas foram beneficiadas diretamente, incluindo alunos, merendeiras e membros da comunidade escolar. Além de reduzir o desperdício, as ações contribuíram para a conscientização ambiental e a adoção de práticas mais sustentáveis, alinhadas ao aproveitamento integral dos alimentos (Souza 2021). O fortalecimento da integração entre universidade, escola e comunidade possibilitou não apenas a disseminação de conhecimentos técnicos, mas também a valorização de saberes locais, o que ampliou a eficácia das intervenções.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto alcançou seu objetivo de promover práticas educativas voltadas para a alimentação escolar, estimulando o aproveitamento integral dos alimentos e fortalecendo a adoção de boas práticas de manipulação. As ações impactaram diretamente alunos e manipuladores, contribuindo para a redução do desperdício e para a conscientização sobre sustentabilidade e segurança alimentar.

As análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram a qualidade das preparações da merenda, evidenciando a efetividade das capacitações realizadas. Como desafios, destaca-se a necessidade de maior continuidade das formações e de apoio institucional para consolidar as mudanças no cotidiano escolar.

Sugere-se como intervenção futura a ampliação das atividades para outras escolas da rede municipal, além do fortalecimento de políticas públicas voltadas à educação alimentar e nutricional. Essas medidas podem potencializar os resultados já obtidos e consolidar práticas mais sustentáveis e saudáveis no ambiente escolar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARQQUE, Rosa Gladys Casilla; DE SALES FERREIRA, José Carlos; FIGUEIREDO, Rebeca Sakamoto. A importância nutricional da merenda escolar para a comunidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e111101421852-e111101421852, 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Instrução Normativa N° 161, de 1° de Julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial da União**, n. 126, 2022.

HENRIQUES, Patrícia et al. Ambiente alimentar do entorno de escolas públicas e privadas: oportunidade ou desafio para alimentação saudável?. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, p. 3135-3145, 2021.

SIPIONI, Marcelo Eliseu et al. Percepções de professores da educação básica sobre alimentação saudável e educação alimentar e nutricional na escola. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição-RASBRAN**, v. 12, n. 2, p. 21-41, 2021.

SOUZA, Helane Alves Oliveira de et al. Aproveitamento integral dos alimentos: uma alternativa para reduzir o desperdício em uma unidade de alimentação e nutrição. 2021.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097309

O PAPEL DO RADIO NA GESTÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS NAS ÁREAS RURAIS: ESTUDO DE CASO

EL PAPEL DE LA RADIO EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN ZONAS RURALES: ESTUDIO DE CASO

THE ROLE OF RADIO IN ORGANIC WASTE MANAGEMENT IN RURAL AREAS: CASE STUDY

Jarlean Lopes Nóbrega[1], Dayanne Sthefany Marques Almeida[2], Robymar da Silva Nascimento[3] e Adriana de Fátima Meira Vital[4].
[1]Granduando em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, jarlean.lopes@estudante.ufcg.edu.br, 0009-0008-2159-1002;
[2]Granduanda em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, dayanne.sthefany@estudante.ufcg.edu.br, 0009-0000-0040-6834;
[3]Granduando em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, robymarnascimento08@gmail.com, 0009-0006-9573-0138;
[4]Docente, UFCG, Sumé, Brasil, adriana.fatima@professor.ufcg.edu.br, 0000-0001-9936-8347.

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

RESUMO

O manejo inadequado dos resíduos sólidos orgânicos nas áreas rurais brasileiras representa um desafio sanitário e ambiental significativo, agravado pela dificuldade na disseminação de práticas sustentáveis e pela exclusão digital. Este relato de experiência visa demonstrar o papel central do rádio como ferramenta de educomunicação para a Extensão Rural, focando na transferência de tecnologias de gestão de resíduos orgânicos, como a compostagem e a vermicompostagem. O estudo de caso é o Programa Matutando Solos e Agroecologia, uma iniciativa do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA/UFCG) no Cariri Paraibano, que utiliza a rádio e mídias sociais para promover a interlocução sobre agroecologia. Os resultados analisados indicam que o rádio, por sua acessibilidade e caráter dialógico, é eficaz para impulsionar a adoção de práticas conservacionistas e mitigar problemas ambientais, transformando passivos orgânicos em insumos agrícolas, reforçando o desenvolvimento rural sustentável.

Palavras-chave: Educomunicação; Saneamento Rural; Saberes do campo; Agroecologia; Semiárido.

RESÚMEN

El manejo inadecuado de los residuos sólidos orgánicos en las áreas rurales brasileñas representa un desafío sanitario y ambiental significativo, agravado por la dificultad en la difusión de prácticas sostenibles y la exclusión digital. Este relato de experiencia tiene como objetivo demostrar el papel central de la radio como herramienta de educomunicación para la Extensión Rural, enfocándose en la transferencia de tecnologías de gestión de residuos orgánicos, como el compostaje y la vermicompostaje. El estudio de caso es el Programa *Matutando Solos e Agroecología*, una iniciativa del Centro de Desarrollo Sostenible del Semiárido (CDSA/UFCG) en el Cariri Paraibano, que utiliza la radio y las redes sociales para promover la interlocución sobre agroecología. Los resultados analizados indican que la radio, por su accesibilidad y carácter dialógico, es eficaz para impulsar la adopción de prácticas conservacionistas y mitigar problemas ambientales, transformando pasivos orgánicos en insumos agrícolas, reforzando el desarrollo rural sostenible.

Palabras clave: Educomunicación; Saneamiento Rural; Conocimiento del Campo; Agroecología; Región Semiárida.

ABSTRACT

The inadequate management of organic solid waste in Brazilian rural areas represents a significant sanitary and environmental challenge, worsened by the difficulty in disseminating sustainable practices and digital exclusion. This experience report aims to demonstrate the central role of radio as an educommunication tool for Rural Extension, focusing on the transfer of organic waste management technologies, such as composting and vermicomposting. The case study is the Matutando Solos e Agroecologia Program, an initiative of the Semi-Arid Sustainable Development Center (CDSA/UFCG) in Cariri Paraibano, which uses radio and social media to promote dialogue on agroecology. The analyzed results indicate that radio, due to its accessibility and dialogical nature, is effective in promoting the adoption of conservation practices and mitigating environmental problems, transforming organic liabilities into agricultural inputs and reinforcing sustainable rural development.

Keywords: Educommunication; Rural Sanitation; Field Knowledge; Agroecology; Semi-arid Region.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A gestão de resíduos sólidos nas áreas rurais tornou-se uma questão de urgência, refletindo mudanças nos padrões de vida e consumo que resultaram em um aumento na produção de resíduos domésticos e agrícolas (Santos e Cordeiro 2021). A ausência de saneamento adequado tem implicações diretas na saúde e qualidade de vida das populações rurais (Souza et al. 2014, 120). Os resíduos orgânicos, em grande parte, são um passivo ambiental e a adoção de técnicas de manejo sustentável é dificultada pela carência na disseminação de informações técnicas e pelo desconhecimento sobre os conceitos de agroecologia entre os agricultores familiares (Sena et al. 2019, 268).

Frente a esse desafio, o rádio mantém-se como o veículo de comunicação de massa mais acessível e de maior influência junto às comunidades rurais (Cocco e Caimi 2021, 5). Historicamente, o rádio superou previsões de obsolescência e se manteve resiliente, convivendo em um processo de convergência com as mídias digitais, a comunicação rural é uma necessidade urgente para suprir a carência de dados e práticas adaptadas às particularidades da semiaridez, onde tecnologias sociais são cruciais para a conservação dos recursos naturais (Rocha e Júnior 2018).

O projeto de extensão universitária “Programa Matutando Solos e Agroecologia” integrante do Programa de Ações Sustentáveis para o Cariri (PASCAR), iniciou sua transmissão em 2012. Alocado no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA/UFCG), o programa é veiculado desde seu princípio na Rádio Cidade de Sumé (95.7 FM), numa parceria extraordinária, que tem aberto espaço para a socialização de saberes sobre o solo e a agroecologia, de maneira simples e dinâmica. O objetivo central do projeto é promover a interlocução entre agricultores, extensionistas, acadêmicos e docentes sobre solos e agroecologia.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O rádio constitui um meio de comunicação de ampla abrangência, alcançando extensas regiões rurais. Representa um instrumento essencial no cotidiano das populações do campo, estando presente nas atividades agrícolas, em feiras e em eventos comunitários (Weber e Devéns 2010, 50). Por tratar-se de um meio de comunicação acessível e de operação simples, o rádio desempenha um papel fundamental na aproximação das populações rurais às

tecnologias, inovações e informações essenciais ao desenvolvimento socioeconômico, tradicional "radinho de pilha" configura-se, em muitos casos, como o principal veículo de difusão de notícias e conhecimentos tecnológicos no meio rural. (Sousa et al. 2021, 38).

A problemática relacionada ao descarte de resíduos sólidos e orgânicos apresenta-se como um desafio significativo nas áreas rurais. Os resíduos sólidos correspondem aos materiais provenientes das atividades humanas em diversos contextos, como residências, estabelecimentos comerciais, unidades de saúde, instituições de ensino, vias públicas e outros espaços sociais (Gomes et al. 2021, 360). Dessa forma, os resíduos sólidos podem ser definidos como materiais ou produtos que deixaram de possuir utilidade para o seu gerador original. No contexto rural, sua geração está associada, predominantemente, aos rejeitos provenientes das atividades domésticas e dos processos agrícolas (Aquino 2024).

A gestão de resíduos compreende a coleta, transporte, processamento, reciclagem ou deposição final de materiais inúteis, mas nas áreas rurais o descarte de resíduos sólidos é feito de forma aleatória, compreendendo o enterro ou a queima, a divulgação da adequada gestão dos resíduos orgânicos nas áreas rurais, apresentando técnicas adequadas para reciclar resíduos sólidos de origem orgânica não é só uma necessidade, mas uma urgência, face a gravidade climática e o avanço da degradação dos solos (Pascoa 2022, 35).

Desde sua idealização, o Programa Matutando Solos e Agroecologia promove a socialização de saberes sobre o solo por meio do rádio, atingindo um grande número de municípios e comunidades rurais (Nobrega et al. 2023). O programa é transmitido semanalmente, adotando uma proposta de aproximação e diálogo "conversa ao pé do rádio" que remete ao cotidiano dos camponeses.

O programa utiliza uma abordagem de educomunicação, sendo reconhecido como um dos melhores meios culturais e educativos para o ensino informal no meio rural. O rádio, aliado ao uso de mídias convergentes, como a transmissão em tempo real via *live* do Facebook da Rádio Cidade 95 FM, garante a interlocução e a troca de informações.

A coordenação do PASCAR e os bolsistas desenvolvem atividades rotineiras no Viveiro de Mudas do campus universitário, espaço de pesquisa e de visitas do público externo, interessado em conhecer as ações. Além disso, iniciou-se a divulgação do projeto de forma mais intensa nas escolas, nas feiras e associações, demonstrando que o projeto poderia ser uma solução importante para a redução do impacto dos resíduos orgânicos, para a conservação dos

solos, bem como para a geração de trabalho e renda (Sena et al. 2019, 268).

A divulgação de informações sobre práticas de conservação do solo, como a compostagem e vermicompostagem para reciclar os resíduos orgânicos, além do quadro de entrevistas, são os carros chefes do programa (Figura 1).

Figura 1. Integrantes do Matutando Solos e Agroecologia no estudio, com entrevistado e doando adubo orgânico a um ouvinte.
Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que o Matutando é um projeto de extensão universitária, cuja atuação está restrita a uma rádio local, cuja cobertura não alcança todo o Estado, embora a otimização via rede social, desde a implantação da divulgação do programa via Facebook e Instagram, a

partir de 2018, evidenciam que as métricas são satisfatórias.

Os dados indicam que o Facebook tem ampliado a proposta do Matutando, conforme mostrado na tabela 1, indo além da simples comunicação, permitindo manter a interação com os agricultores, ouvintes e internautas.

Tabela 1. Métricas dos programas que se destacaram no Facebook.

TEMAS	Curtidas	Comentários	Visualizações
Dia do agricultor	15	7	1.920
Arborização urbana e rural	6	6	1.911
Compostagem e Vermicompostagem	29	28	1.200
Assistência técnica rural	40	3	2.803
Reciclagem de Resíduos Orgânicos.	18	10	1.081

O uso das redes sociais para aproximar o público dos conhecimentos produzidos é de grande relevância e necessidade, uma vez que, conforme apontam, muitas áreas rurais apresentam baixa densidade populacional e mercados espalhados e pouco integrados, o que dificulta o acesso a diferentes inovações (Bauermann 2016, 45). Além disso, destacam que a inclusão digital pode atuar como um instrumento de equilíbrio entre as zonas rurais e urbanas (Goyal e González-Velosa 2013, 172).

A audiência do Matutando tem sido bastante favorável, com o reconhecimento do público ouvinte, cuja participação e interações expressam e validam a proposta do programa. São diversos depoimento nos chats das redes sociais e juntamente aos locutores, parabenizando o programa e agradecendo as informações compartilhadas. Alguns ouvintes entram em contato para conhecer de perto a logística da montagem da composteira e outros solicitam orientações de como fazer um minhocario doméstico, o que indica que o Matutando está a cumprir com seu objetivo de socializar informações para a conservação e o cuidado com o solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rádio é um instrumento de grande relevância na cidade e nas zonas rurais, aproximando as pessoas das informações para promoção da qualidade ambiental e de temas correlatos.

A experiência do Programa Matutando Solos e Agroecologia valida a premissa de que o rádio, em conjunto com estratégias educomunicativas e mídias convergentes, é o vetor mais eficaz e democrático para a disseminação de tecnologias de saneamento rural e a adequada disposição e gestão dos resíduos orgânicos, considerando a importância das práticas da compostagem e a vermicompostagem como instrumentos de cuidado ambiental.

A comunicação rural é capaz de favorecer o melhor entendimento para se transformar um passivo ambiental (resíduos orgânicos) em um ativo econômico (insumos) e ecológico (conservação do solo), cumprindo o papel de ponte entre o conhecimento científico da universidade e as necessidades práticas da agricultura familiar

Para a continuidade e ampliação do impacto em saneamento rural, é fundamental que formuladores de políticas públicas reconheçam a importância do rádio e invistam na institucionalização de serviços de comunicação rural.

A adoção de modelos de comunicação compartilhada, como o do Matutando, que integra rádio e plataformas digitais, deve ser replicada para garantir um alcance ampliado e o empoderamento das comunidades na adoção de práticas sustentáveis, sobretudo considerando a urgência climática, a disposição adequada dos resíduos orgânicos e sua gestão sustentável, a aplicabilidade da PNRS, a regeneração e conservação dos solos.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Aos ouvintes e internautas que acompanham o Matutando e à Rádio Cidade 95.7FM de Sumé.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino, Rafael Norberto de. 2024. "Diagnóstico ambiental de resíduos sólidos em propriedades rurais de município da Amazônia Ocidental." *Revista Aracê* 6, n. 4: 14183–14194. doi: 10.56238/arev6n4-184.

Bauermann, Henrique Botan. 2016. "Inclusão digital de agricultores familiares em municípios da Região Oeste do Paraná." Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Cocco, Ricardo, e Flávia Eloisa Caimi. 2021. "Um movimento pedagógico e o pedagógico em movimento: as vertentes Freireanas da comunicação e da radiodifusão comunitária." *Praxis Educativa* 16: e2116319. doi: 10.5212/PraxEduc.v.16.16319.007.

Gomes, Marcelo da Silva, Giliardi C. da Silva, e Claudionor de O. Silva. 2021. "Resíduos sólidos no espaço rural: uma análise do assentamento Pindoba I em União dos Palmares." *Diversitas Journal* 6, n. 1: 352–375

Goyal, Aparajita, e Carolina González-Velosa. 2013. "Improving agricultural productivity and market efficiency in Latin America and the Caribbean: How ICTs can make a difference?." *Journal of Reviews on Global Economics* 2: 172.

Nobrega, Jarlean Lopes, Bárbara B. F. Ayres, Danilson C. da Silva, et al. 2023. "MATUTANDO SOBRE SOLOS NO RÁDIO: EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO RURAL." *Caderno Impacto em Extensão* 3, n. 1. Acesso em 12 de Outubro de 2025. https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cite/article/view/704

Pascoa, Adriano Gomes. 2022. *Desastres em propriedades rurais: ações para prevenir, mitigar e responder às situações de risco*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Acesso em 12 de Outubro de 2025. https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/394.

Rocha, Tereza Amélia L. C. G., e José Américo de Souza Grilo Júnior. "Gestão dos Resíduos Sólidos Orgânicos Provenientes da Agropecuária no Semiárido Brasileiro." *Anais do CONADIS*, 2018. https://editorarealize.com.br/editora/anais/conadis/2018/TRABALHO_EV116_MD1_SA12_ID1139_30102018123254.pdf.

Santos, Lucélia dos, e Rosimary Matos Cordeiro. 2021. "Manejo de resíduos sólidos na comunidade rural Boca da Mata - Jardim-CE." Research, Society and Development 10, n. 15: e102101523342. https://rsdjournal.org/rsd/article/download/23342/21078/286274.

Sena, Larissa Morais., Julyanne Fonteles de Arruda, Fracisca R. da Silva Costa, et al. 2019. "Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e destinação de resíduos orgânicos." *Revista Verde* 14 (2): 266-272. doi: 10.18378/rvads.v14i2.6136.

Souza, Girlene S., Poliana Brandão Machado, Vanessa Ribeiro dos Reis, et al. 2014. "Educação ambiental como ferramenta para o manejo de resíduos sólidos no cotidiano escolar." *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)* 8, n. 2: 118-130.

Weber, Andréa Franciele, e Priscila Devéns. 2010. "O rádio no meio rural: consumo de programas radiofônicos rurais por agricultores do Rio Grande do Sul." *Rádio-leituras* 1, n. 1: 41–61.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097343

O POTENCIAL DA IMPLEMENTAÇÃO DE SOFTWARE DE GESTÃO DE RESÍDUOS EM COMUNIDADES RURAIS: INTEGRAÇÃO COM MODELOS DE COLETA E TRATAMENTO

THE POTENTIAL OF IMPLEMENTING WASTE MANAGEMENT SOFTWARE IN RURAL COMMUNITIES: INTEGRATION WITH COLLECTION AND TREATMENT MODELS

EL POTENCIAL DE IMPLEMENTAR SOFTWARE DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN COMUNIDADES RURALES: INTEGRACIÓN CON MODELOS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO

Willy Brandt Francisco Ramalho Medeiros Costa[1], Andréia Matos Brito[2], Janisi Sales Aragão[3].

[1] Mestrando, IFCE, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, willy.brandt.francisco04@aluno.ifce.edu.br, nº de ORCID: 0009-0008-5516-9440;
[2] Doutoranda, UNIVASF, Juazeiro da Bahia/BA, Brasil, andreia.matos@ifce.edu.br, nº de ORCID: 0009-0009-8067-4104 ;
[3] Doutora, IFCE, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, janisi.aragao@ifce.edu.br, nº de ORCID: 0000-0002-5756-5067.

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Modelos de coleta, transporte e destinação adequada de resíduos sólidos em comunidades rurais.

Thematic Axis 06 – Solid Waste
Models for the Collection, Transportation, and Proper Disposal of Solid Waste in Rural Communities. rurales.

RESUMO

O presente trabalho aborda a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) por meio da aplicação de tecnologia da informação e engenharia de software, com foco na otimização logística de resíduos sólidos urbanos. A experiência foi desenvolvida em Juazeiro do Norte - Ceará, em projeto que visa aprimorar o cenário local de resíduos. O projeto conduzido na *startup* Gestão Inteligente de Resíduos (GIR), buscou viabilizar a destinação adequada de resíduos por meio de uma plataforma que conecta geradores, transportadores e destinadores, com a total inclusão do terceiro setor, sejam catadores independentes, cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis. A metodologia ágil *Scrum* foi empregada para mapear, validar requisitos e gerenciar o desenvolvimento da versão 2.0 do sistema. A plataforma oferece funcionalidades que facilitam a solicitação de coletas de resíduos sólidos urbanos, bem como a emissão de documentos como o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) e o Certificado de Destinação Final (CDF), além de cálculos de compensação do impacto ambiental diante da reciclagem, alinhando-se à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A abordagem feita pela GIR, que gerencia a cadeia de valor externa e fortalece a organização interna dos atores, demonstra um modelo completo de gestão de resíduos sólidos urbanos. O êxito dessa iniciativa no contexto urbano de Juazeiro do Norte dentro da economia solidária, representa um importante caso de estudo e uma validação do conceito.

As tecnologias e os conhecimentos gerados podem ser adaptados e aplicados em outros cenários, incluindo comunidades rurais, contribuindo para a formulação de políticas públicas e o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à gestão de resíduos de maneira mais eficiente, inclusiva e alinhada com os princípios da sustentabilidade. Assim, a tecnologia se estabelece não apenas como uma ferramenta, mas como um catalisador essencial para a transição para um modelo de desenvolvimento mais justo e resiliente.

Palavras-chave: Gestão de resíduos, Tecnologia da informação, Comunidades rurais, Economia circular, Modelos de coleta

ABSTRACT

This paper addresses urban solid waste (USW) management through the application of information technology and software engineering, focusing on the logistical optimization of solid waste flows. The initiative was developed in Juazeiro do Norte, Ceará, as part of a project aimed at improving the local waste management scenario. The project, conducted by the startup Gestão Inteligente de Resíduos (GIR), sought to enable the proper disposal of waste through a platform that connects waste generators, transporters, and final disposal agents, fully integrating the third sector, including independent waste pickers, cooperatives, and recyclable material collectors' associations. The agile methodology Scrum was employed to map and validate requirements and manage the development of version 2.0 of the system. The platform offers features that facilitate the scheduling of urban solid waste collection, as well as the issuance of documents such as the Waste Transportation Manifest (MTR) and the Final Disposal Certificate (CDF), in addition to calculating the environmental impact compensation from recycling, aligning with the Brazilian National Solid Waste Policy (PNRS). GIR's approach, which manages the external value chain while strengthening the internal organization of stakeholders, demonstrates a comprehensive model for urban solid waste management. The success of this initiative in the urban context of Juazeiro do Norte, within the framework of a solidarity economy, represents an important case study and a validation of the concept. The technologies and insights developed can be adapted and applied to other contexts, including rural communities, contributing to the formulation of public policies and the development of technological solutions for more efficient, inclusive, and sustainable waste management. Thus, technology is established not merely as a tool but as an essential catalyst for transitioning toward a more equitable and resilient development model.

Keywords: Waste management, Information technology, Rural communities, Circular economy, Collection models

RESUMEN

El presente trabajo aborda la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) mediante la aplicación de tecnologías de la información e ingeniería de software, con enfoque en la optimización logística de los flujos de residuos. La experiencia fue desarrollada en Juazeiro do Norte, Ceará, en el marco de un proyecto orientado a mejorar el escenario local de gestión de residuos. El proyecto, llevado a cabo por la startup Gestão Inteligente de Residuos (GIR), buscó viabilizar la disposición adecuada de residuos mediante una plataforma que conecta generadores, transportistas y destinatarios finales, con la inclusión plena del tercer sector,

incluyendo recicladores independientes, cooperativas y asociaciones de recolectores de materiales reciclables. Se empleó la metodología ágil Scrum para mapear y validar requisitos, así como para gestionar el desarrollo de la versión 2.0 del sistema. La plataforma ofrece funcionalidades que facilitan la solicitud de recolección de residuos sólidos urbanos, así como la emisión de documentos como el Manifiesto de Transporte de Residuos (MTR) y el Certificado de Disposición Final (CDF), además de realizar cálculos de compensación del impacto ambiental a partir del reciclaje, en consonancia con la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de Brasil. El enfoque adoptado por GIR, que gestiona la cadena de valor externa y fortalece la organización interna de los actores, demuestra un modelo integral de gestión de residuos sólidos urbanos. El éxito de esta iniciativa en el contexto urbano de Juazeiro do Norte, en el marco de la economía solidaria, representa un caso de estudio relevante y una validación del concepto. Las tecnologías y conocimientos generados pueden ser adaptados y aplicados en otros contextos, incluyendo comunidades rurales, contribuyendo así a la formulación de políticas públicas y al desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a una gestión de residuos más eficiente, inclusiva y sostenible. De esta forma, la tecnología se consolida no solo como una herramienta, sino como un catalizador esencial para la transición hacia un modelo de desarrollo más justo y resiliente.

Palabras clave: Gestión de residuos, Tecnologías de la información, Comunidades rurales, Economía circular, Modelos de recolección

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) configura-se como um tema complexo, que abrange aspectos ambientais, sociais e econômicos, representando um dos principais desafios enfrentados pela administração pública no Brasil (Abrema 2024). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece em seu art. 9º uma hierarquia para o gerenciamento dos resíduos, priorizando a não geração, seguida pela redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil 2010).

A composição dos resíduos domiciliares tem se agravado com o avanço tecnológico, que aumenta a presença de materiais contaminantes, como plásticos, pilhas e lâmpadas. Somam-se a isso as influências culturais e econômicas globais, que promovem o consumo de produtos industrializados também em áreas rurais, ampliando os impactos ambientais diretos e indiretos (Gerber, Pasqual e Bechara, 2015).

A destinação inadequada dos resíduos sólidos constitui uma preocupação central, sobretudo em áreas desprovidas de infraestrutura básica de saneamento. Em zonas rurais, a inexistência de coleta regular intensifica o potencial poluidor, agravado pela ausência de políticas de educação ambiental e pelas mudanças nos hábitos de consumo, que resultam em

um aumento na geração de resíduos (Teixeira e Fernandes 2018).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os principais dados referentes à gestão de RSU no Brasil, com base no relatório da ABREMA, enfatizando aspectos relacionados à geração, coleta, tratamento e destinação, por meio da integração desses dados em uma plataforma digital. Embora o foco do documento recaia sobre áreas urbanas, o relatório faz menções pontuais à precariedade do manejo em zonas rurais. Importa destacar que, conforme preconiza a PNRS, a inclusão social de catadores de materiais recicláveis, bem como o uso de ferramentas integradas de gestão, são considerados elementos estratégicos para a consolidação da economia circular no país (Brasil 2010).

No município de Juazeiro do Norte, situado no estado do Ceará e principal centro econômico da Região Metropolitana do Cariri, com população estimada em 305.531 habitantes em 2025 (Brasil 2023), o crescimento urbano e industrial tem intensificado a geração de RSU, pressionando a já limitada capacidade do sistema local de manejo.

A relevância da presente pesquisa reside na apresentação de um modelo prático e validado para a mitigação de um problema crônico, com elevado potencial de replicabilidade e impacto em larga escala. Considerando que a maior parte das infraestruturas de serviços e dos dispositivos eletroeletrônicos contemporâneos depende de sistemas computacionais, a engenharia de software assume papel estratégico na sociedade atual. No entanto, a natureza abstrata do software acarreta elevados níveis de complexidade, o que implica desafios relacionados à compreensão, manutenção e evolução desses sistemas (Sommerville 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi conduzido com uma abordagem metodológica integrando engenharia de software: disciplina preocupada com todos os aspectos de produção de software (Sommerville 2011), somados à revisão de literatura no cenário de resíduos, estruturada com base na análise de artigos científicos, relatórios institucionais e legislações pertinentes sobre modelos de coleta, transporte e destinação adequada de resíduos sólidos em comunidades rurais. Foram consultadas as bases de dados nacionais e internacionais, como *SciELO, ScienceDirect, SpringerLink, SAGE Journals e Google Scholar*, priorizando artigos de revisão, estudos de caso e publicações entre 2010 e 2024. Também foram considerados documentos normativos, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei nº 12.305/2010), por sua relevância no contexto brasileiro.

Conforme (Costa 2024), no contexto de *software,* foram realizadas pesquisas bibliográficas, levantamento de requisitos para desenvolvimento de *software* e testes. Para a concepção e o desenvolvimento da plataforma de gestão de resíduos da *startup* GIR, foi utilizada a metodologia ágil *Scrum* que conforme (Sutherland 2014), foi criada para ser uma forma mais rápida, eficaz e confiável de criar softwares para o setor de tecnologia. A escolha foi motivada pela necessidade de flexibilidade, resposta rápida a mudanças e entrega incremental de valor, o que se mostrou fundamental para o desenvolvimento de um software que atendesse às demandas de um mercado em evolução. A equipe, composta por cinco desenvolvedores, utilizou ferramentas como *GitHub* para versionamento e acompanhamento de tarefas *(Issues)*, *Trello* para uma visão gerencial do projeto, *Discord* para comunicação interna entre os desenvolvedores e o *Figma* para a prototipação de telas e interfaces do sistema (Costa 2024).

Segundo (Costa 2024), a etapa de levantamento e modelagem de requisitos, empregou diversas técnicas da engenharia de software. A elicitação de requisitos, processo de definição dos requisitos de um sistema, envolve a observação de soluções atuais, discussões com futuros usuários e clientes, assim como a análise de suas tarefas (Sommerville 2011), foi feita por meio da observação participante durante visitas a empresas e cooperativas de catadores, além da análise documental de leis, estatutos e relatórios. Os requisitos levantados foram organizados e documentados de forma estruturada para garantir sua clareza e precisão. A priorização dos requisitos funcionais (RF) e não-funcionais (RNF) foi realizada por meio da técnica MoSCoW (Must have, Should have, Could have, Won't have), essa que permite que o foco fosse mantido nas funcionalidades mais críticas e de maior valor para os usuários da plataforma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado por (Costa 2024), a primeira fase do trabalho resultou na criação e no lançamento da versão 2.0 do sistema GIR, uma plataforma web que oferece uma solução prática e segura para a gestão de resíduos sólidos. As funcionalidades desenvolvidas, como o cadastro de usuários e empresas, a solicitação de coletas e a emissão de documentos como CDF e MTR, respondem diretamente aos desafios de rastreabilidade e controle da cadeia de valor dos resíduos. Essa automação reduziu a dependência de processos manuais e a ocorrência de falhas, que eram recorrentes na versão anterior do sistema, permitindo que as empresas se tornassem mais eficientes e competitivas, conforme segue abaixo na (Figura 1).

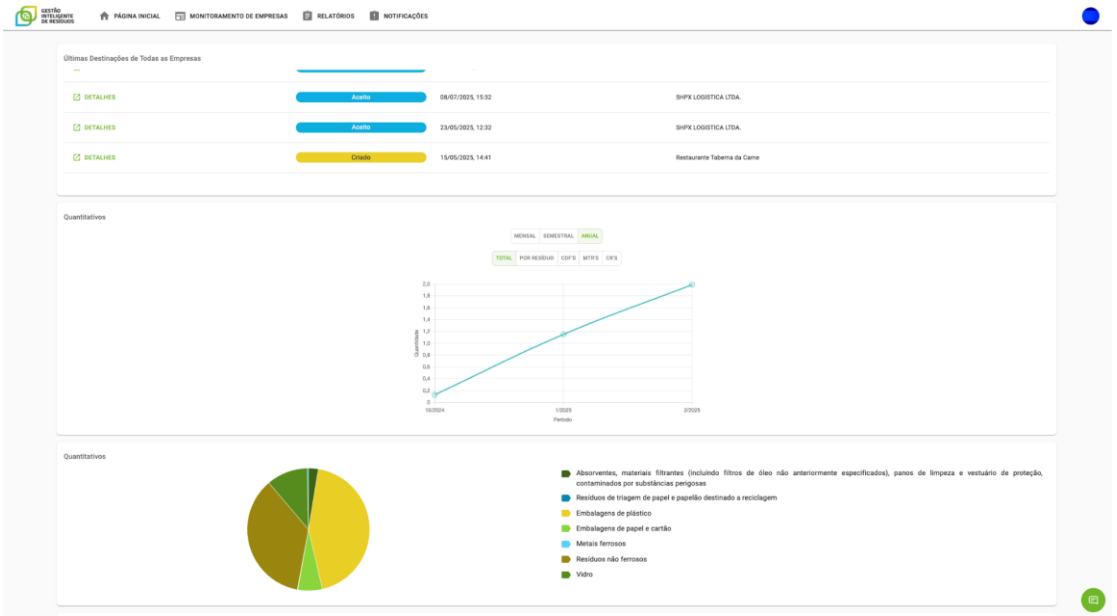


Figura 1. Tela inicial do sistema GI-Resíduos

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A utilização de metodologias ágeis provou-se crucial para o sucesso do projeto pois segundo (Soares 2004), priorizam as pessoas em vez de processos ou documentação excessiva, focando na entrega rápida e contínua de valor, sendo elas adaptativas, permitem ajustes constantes, o que garante flexibilidade e colaboração contínua com a equipe e os gestores, possibilitando adaptação rápida a novas demandas e um alinhamento constante com os objetivos do negócio.

A pesquisa revelou um diagnóstico preciso a respeito da situação dos empreendimentos no cenário de gestão de resíduos, que corrobora com (Feitosa 2018), identificando falhas operacionais e gerenciais tais como a ausência de infraestrutura para acondicionamento, triagem e transbordo, além da ausência de controle informatizado, comprometendo a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira das organizações. Os requisitos levantados apontaram para a necessidade de um sistema de gestão de resíduos mais efetivo. Os requisitos funcionais (RF) identificados, bem como os requisitos não-funcionais (RNF), como uma interface intuitiva e a compatibilidade com dispositivos móveis, mostram a preocupação em desenvolver uma ferramenta acessível para um público com baixa familiaridade tecnológica (Costa 2024).

Dentro do contexto de resíduos sólidos, a literatura indica que a baixa densidade populacional, a dispersão geográfica das habitações e os custos logísticos elevados tornam a coleta porta a porta pouco viável em comunidades rurais (Martins, Mendonça e Araújo 2023). Práticas inadequadas, como queima a céu aberto e disposição em corpos hídricos, ainda predominam, representando riscos socioambientais relevantes (Scheinberg, Wilson e Rodic 2010). Entre os modelos mais discutidos, destacam-se: (a) Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), que reduzem custos mas dependem da participação comunitária; (b) coleta comunitária, que fortalece a cooperação local; (c) consórcios intermunicipais, que permitem ganhos de escala; e (d) uso de ferramentas de otimização logística (VRP) para reduzir custos operacionais. O (Quadro 1) sintetiza essas alternativas.

Quadro 1. Modelos de coleta e transporte de resíduos sólidos em comunidades rurais

Modelo	Descrição	Vantagens	Limitações	Referências
Ponto de Entrega Voluntária (PEV)	Instaladas em locais estratégicos onde moradores levam seus resíduos.	Redução de custos; maior viabilidade em áreas dispersas.	Dependência da adesão comunitária.	(Martins, Mendonça e Araújo 2023)
Coleta Comunitária	Moradores organizados realizam a coleta e triagem local.	Fortalece o capital social; promove inclusão.	Baixa regularidade; necessidade de coordenação.	(Gutberlet 2015)
Consórcios Intermunicipais	Municípios compartilham custos de transporte e destinação.	Ganhos de escala; cumprimento da PNRS.	Requer estabilidade política e institucional.	(Souza e Guedes 2019)
Otimização Logística (VRP)	Algoritmos aplicados ao planejamento de rotas de coleta.	Redução significativa de custos.	Requer infraestrutura tecnológica.	(Vinti e Vaccarl 2022)

Fonte: Elaboração própria a partir da literatura revisada (2010–2024).

A fração orgânica é predominante em comunidades rurais e pode ser tratada localmente por meio de compostagem, vermicompostagem ou biodigestão anaeróbia, reduzindo a necessidade de transporte e gerando subprodutos úteis (Zafar e Al-Ansari 2021). Para os rejeitos, a literatura destaca a importância de consórcios regionais voltados para a destinação em aterros sanitários de uso compartilhado, dado o alto custo de implantação individual (Souza e Guedes 2019). O (Quadro 2) apresenta uma comparação das principais alternativas.

Quadro 2. Alternativas de tratamento e destinação final em comunidades rurais

Alternativa	Descrição	Benefícios	Limitações	Referências
Compostagem/Vermicompostagem	Tratamento local da fração orgânica.	Redução do volume coletado; produção de adubo.	Manejo adequado e aceitação comunitária.	(Zafar e Al-Ansari 2021)
Biodigestão Anaeróbia	Conversão de resíduos em biogás e biofertilizante.	Produz energia e insumos agrícolas.	Custo inicial elevado; exige manutenção.	(Zafar e Al-Ansari 2021)
Centrais Regionais de	Unidades regionais para recicláveis	Geração de renda; reaproveitamento de	Demanda logística integrada.	(Martins, Mendonça e

Triagem	secos.	materiais.		Araújo 2023)
Aterros Regionais (Consórcios)	Destinação compartilhada dos rejeitos.	Cumprimento da PNRS; redução de passivos ambientais.	Alto custo de implantação; cooperação intermunicipal.	(Souza e Guedes 2019)

Fonte: Elaboração própria a partir da literatura revisada (2010–2024).

Pode-se perceber de uma forma analítica e integrada que não há modelo único capaz de responder às demandas de todas as comunidades rurais. A sustentabilidade dos sistemas depende da integração entre a participação social, adaptação logística e tratamento descentralizado da fração orgânica, articulados por meio de arranjos institucionais locais e regionais. Esse conjunto de estratégias fundamenta a análise e a sistematização proposta neste estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gerenciamento dos resíduos é fundamental para garantir a saúde do ambiente em que vivemos. No entanto, para que essa prática seja efetiva, é necessário implementar políticas públicas que envolvam a participação de toda a sociedade, estimulando a conscientização ambiental (Lima 2017).

O presente estudo demonstrou a importância estratégica da aplicação da tecnologia da informação e da engenharia de software para a resolução dos complexos desafios da gestão de resíduos sólidos, de forma sistêmica na melhoria da gestão de resíduos, desde a origem até a destinação final, no contexto urbano, assim como de comunidades rurais.

A plataforma GIR, por exemplo, valida a premissa de que a digitalização dos processos de coleta, transporte e destinação pode aumentar a eficiência operacional e garantir a conformidade fiscal e ambiental, demonstrando ser uma solução tecnológica robusta e eficiente, capaz de se adaptar a cenários de mercado em constante mudança.

O modelo apresentado oferece soluções concretas para os desafios da cadeia de resíduos sólidos, ao mesmo tempo em que fortalece o papel social dos catadores. Seu sucesso em Juazeiro do Norte, dentro da economia solidária, destaca-se como um estudo de caso e prova de conceito. Os conhecimentos e tecnologias desenvolvidos podem ser adaptados a outros contextos, inclusive rurais, contribuindo para políticas públicas e soluções mais eficientes, inclusivas e sustentáveis. Assim, a tecnologia se afirma como catalisadora de um desenvolvimento mais justo e resiliente.

REFERÊNCIAS

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.* 2024. Disponível em: https://www.abrema.org.br/panorama/. Acesso em: 4 set. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Panorama Juazeiro do Norte, CE.* Cidades IBGE. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama. Acesso em: 10 set. 2025.

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.* Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

COSTA, W. B. F. R. M. *Mapeamento, validação de requisitos e gerência de projetos para o desenvolvimento de sistema de gestão e auditoria dos resíduos sólidos nos empreendimentos.* 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Crato, 2024.

CPGRS - Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos. *Gravimetria regional do Cariri.* Juazeiro do Norte: CPGRS, 2016.

CRESWELL, John W. *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.* 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

FEITOSA, Anny Kariny. *Avaliação do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade de Juazeiro do Norte, CE, frente aos preceitos da sustentabilidade.* 2018. Tese (Doutorado) – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 15 jun. 2018. Disponível em: http://hdl.handle.net/10737/2150. Acesso em: 16 ago. 2025.

GERBER, D.; PASQUALI, L.; & BECHARA, F. C. "Gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas e rurais." *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais.* Aquidabã, v. 6, n. 1, 2015. Disponível em: https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/SPC2179-6858.2015.001.0023/574 . Acesso em: 10 set. 2025.

GUTBERLET, Jutta. "Waste management and recycling in developing countries: a review of community-based approaches." *Resources, Conservation and Recycling* 104 (2015): 192-201. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.014. Acesso em: 23 ago. 2025.

IBGE. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama. Acesso em: 10 set. 2022.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. *Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital.* 16. ed. São Paulo: Pearson, 2020.

LIMA, J. S. Q. *Degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio maranguapinho - região metropolitana de Fortaleza - Ceará – Brasil,* 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará. Disponível em:

https://www.uece.br/wp-content/uploads/sites/60/2009/10/joao_sergio_queiroz_delima.pdf. Acesso em: 10 set. 2025.

MARTINS, A. D.; MENDONÇA, P. M.; ARAÚJO, M. A. P. "Avaliação quantitativa da coleta seletiva no sistema porta-a-porta no município de Paty do Alferes - RJ." *Contribuciones a las Ciencias Sociales* 16, no. 10 (2023): 18823–18834. DOI: 10.55905/revconv.16n.10-007. Disponível em: https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/2359. Acesso em: 4 set. 2025.

SOARES, M. S. "Metodologias Ágeis Extreme Programming e Scrum para o Desenvolvimento de Software." *Revista Eletrônica de Sistema de Informação* 3 (2004): 1-8. Disponível em: https://periodicosibepes.org.br/index.php/reinfo/article/view/146/38. Acesso em: 10 set. 2025.

SOMMERVILLE, Ian. *Engenharia de software.* 9. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

SOUZA, Luana Marriê de Morais; GUEDES, Leonardo Guerra de Rezende. "Consórcios intermunicipais em municípios de pequeno porte: uma alternativa para gestão de resíduos sólidos urbanos." *DRd Desenvolvimento Regional em Debate* 9 (2019): 421-433. Disponível em: https://share.google/9o7i9vo1Q5ernqbVy. Acesso em: 2 set. 2025.

SUTHERLAND, Jeff. *SCRUM: A arte de fazer o dobro de trabalho na metade do tempo.* São Paulo: Leya, 2014.

TEIXEIRA, N. S.; FERNANDES, A. C. "Destinação de resíduos sólidos de uma comunidade na zona rural de Xapuri – AC." *Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias* 3, no. 2 (2018): 31-45. Disponível em: https://periodicos.ifpr.edu.br/index.php/MundiMAA/article/view/376. Acesso em: 10 set. 2025.

VINTI, Giacomo; VACCARL, Giorgio. "Optimization models for waste collection and transportation: a review." *Sustainability* 14, no. 2 (2022): 1-24. DOI: https://doi.org/10.3390/su14020722. Acesso em: 24 ago. 2025.

ZAFAR, Salman; AL-ANSARI, Tareq. "Rural waste management: challenges and opportunities." In *Sustainable Waste Management in Rural Areas*, edited by Salman Zafar, 1-15. Cham: Springer, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-67253-9_1. Acesso em: 22 ago. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097357

PRODUTIVIDADE DO RABANETE (*RAPHANUS SATIVUS* L.) FERTIRRIGAÇÃO COM BIOFERTILIZANTE DA CASCA DO FRUTO DO CACAU (*THEOBROMA CACAO* L.)

PRODUCTIVIDAD DEL RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS* L.) BAJO FERTIRRIGACIÓN CON BIOFERTILIZANTE DE CÁSCARA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.)

RADISH (*RAPHANUS SATIVUS* L.) PRODUCTIVITY UNDER FERTIGATION WITH COCOA HUSK (*THEOBROMA CACAO* L.) BIOFERTILIZER

Anna Mel Passos de Almeida[1] e Narcíso Cabral de Araújo[2].

[1] Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Centro de Formação em Tecnociência e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia, Ilhéus, Bahia, Brasil, annamel.almeida@gfe.ufsb.edu.br; [2]Eng. Sanitarista e Ambiental, Mestre em Eng. Civil e Ambiental, Doutor em Eng. Agrícola e Professor do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Itabuna - Bahia, Brasil. E-mail: narcisioaraujo@ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0589-8924

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Tecnologías de tratamiento y reutilización: compostaje, biodigestión y otros.

RESUMO

O presente estudo avaliou o efeito da fertirrigação com biofertilizante obtido a partir do tratamento anaeróbio de cascas de frutos de cacau sobre a produtividade do rabanete (*Raphanus sativus* L.). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos (0, 1, 2, 3, 4 e 5 litros de biofertilizante/planta) e cinco repetições, em vasos contendo substrato composto por solo e esterco de bovino na proporção de uma parte de esterco para quatro partes de solo. O biofertilizante foi produzido por biodigestão anaeróbia das cascas de frutos de cacau. Aos 29 dias após a semeadura, foram avaliadas as seguintes variáveis: número de folhas por planta (NF), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), diâmetro e comprimento da raiz (DR e CR). A análise de variância revelou efeito significativo apenas para NF ($p < 0,05$), enquanto MFR, MSR, DR e CR não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre tratamentos, nem ajuste a modelos de regressão linear ou quadrática, sugerindo ausência de tendência clara de resposta. Os resultados indicam que a variação no número de folhas pode estar mais relacionada à disponibilidade de nutrientes do esterco bovino do que às doses do biofertilizante, e que o desenvolvimento radicular do rabanete não foi significativamente influenciado pelas doses aplicadas do biofertilizante. O estudo evidencia o potencial do biofertilizante de cascas de cacau como fertilizante orgânico, mas reforça a necessidade de novas pesquisas com diferentes estratégias de aplicação para

otimizar seu efeito sobre a produtividade do rabanete.

Palavras-chave: Reciclagem de nutrientes, *Theobroma cacao*, Adubação orgânica, Nutrição de hortaliças, Saneamento ecológico.

RESÚMEN

El presente estudio evaluó el efecto de la fertirrigación con un biofertilizante obtenido del tratamiento anaerobio de cáscaras de frutos de cacao sobre la productividad de rábano (*Raphanus sativus* L.). El experimento se realizó en invernadero, empleando un diseño completamente al azar con seis tratamientos (0, 1, 2, 3, 4 y 5 L de biofertilizante por planta) y cinco repeticiones, en macetas con sustrato compuesto por suelo y estiércol bovino en una proporción de una parte de estiércol por cuatro partes de suelo. El biofertilizante se produjo mediante biodigestión anaerobia de las cáscaras de cacao y se caracterizó por sus propiedades físico-químicas. A los 29 días después de la siembra se evaluaron las siguientes variables: número de hojas por planta (NH), masa fresca de la raíz (MFR), masa seca de la raíz (MSR) y diámetro y longitud de la raíz (DR y LR). El análisis de varianza reveló efecto significativo solo para NH ($p < 0,05$), mientras que MFR, MSR, DR y LR no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos ni ajuste a modelos de regresión lineal o cuadrática, lo que indica ausencia de una tendencia clara de respuesta. Los resultados sugieren que la variación en el número de hojas está más relacionada con la disponibilidad de nutrientes del estiércol bovino que con las dosis de biofertilizante, y que el desarrollo radicular del rábano no fue significativamente influenciado por las dosis aplicadas del biofertilizante. El estudio destaca el potencial del biofertilizante de cáscaras de cacao como insumo orgánico, pero resalta la necesidad de nuevas investigaciones con diferentes estrategias de aplicación para optimizar su efecto en la productividad de rábano.

Palabras clave: Reciclaje de nutrientes, *Theobroma cacao*, Fertilización orgánica, Nutrición de hortalizas, Saneamiento ecológico

ABSTRACT

This study evaluated the effect of fertigation with a biofertilizer obtained from the anaerobic treatment of cocoa fruit husks on radish (*Raphanus sativus* L.) productivity. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized design with six treatments (0, 1, 2, 3, 4, and 5 L of biofertilizer per plant) and five replications, in pots containing a substrate composed of soil and bovine manure at a ratio of one part manure to four parts soil. The biofertilizer was produced through anaerobic biodigestion of cocoa husks and characterized for its physicochemical properties. At 29 days after sowing, the following variables were assessed: number of leaves per plant (NL), fresh root mass (FRM), dry root mass (DRM), and root diameter and length (RD and RL). Analysis of variance revealed a significant effect only for NL ($p < 0.05$), whereas FRM, DRM, RD, and RL showed no statistically significant differences ($p > 0.05$) among treatments and no fit to linear or quadratic regression models, indicating no clear response trend. The results suggest that the variation in leaf number is more likely related to the nutrient availability from bovine manure than to the biofertilizer doses, and that radish root development was not significantly

influenced by the applied biofertilizer. The study highlights the potential of cocoa husk biofertilizer as an organic input, while emphasizing the need for further research with different application strategies to optimize its effects on radish productivity.

Keywords: Nutrient recycling, *Theobroma cacao*, Organic fertilization, Vegetable nutrition, Ecological sanitation

INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.), pertencente à família Brassicaceae, é uma hortaliça de ciclo curto, crescimento rápido e alto potencial produtivo, adequada a diferentes sistemas agrícolas (Coviello 2023). Seu desenvolvimento depende de fatores como clima, nutrição e pH do solo, que devem variar entre 5,5 e 6,8, pois solos muito ácidos ou alcalinos prejudicam a formação e o crescimento das raízes (Ogg et al. 2024). A disponibilidade hídrica deve ser mantida próxima à capacidade de campo ao longo de todo o ciclo vegetativo (Sousa e Silva 2023). Devido ao rápido crescimento, o rabanete exige rápida disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio, fundamentais para a formação das raízes e desenvolvimento vegetativo (Coutinho Neto et al. 2010).

O cultivo do cacaueiro, economicamente relevante no Brasil, gera grandes volumes de resíduos, muitas vezes descartados diretamente no solo (Müller et al. 2020). A casca do fruto representa entre 65% e 76% do total e é frequentemente descartada de forma inadequada (Lira 2022). Esses resíduos podem ser reaproveitados como fertilizante orgânico ou biofertilizante, ou ainda utilizados na produção de biogás (Gonçalves 2022).

A biodigestão anaeróbica tem se mostrado eficiente para transformar resíduos orgânicos em biofertilizantes líquidos ricos em compostos bioativos (Fernandes 2022), que permitem a absorção rápida de nutrientes pelas raízes e podem melhorar o desempenho fisiológico das plantas (Melo Júnior 2021). O uso de biofertilizante obtido a partir das cascas de frutos de cacau surge, portanto, como alternativa sustentável para o cultivo do rabanete, promovendo maior eficiência nutricional e redução do descarte inadequado desses resíduos (Perazzoli et al. 2020).

Neste contexto, esta pesquisa objetivou avaliar a produtividade do rabanete fertirrigado com biofertilizante obtido a partir do tratamento anaeróbio de cascas de frutos de

cacau.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada entre 20 de setembro de 2024 e 22 de abril de 2025 em uma casa de vegetação, localizada no *campus* Jorge Amado (CJA) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), em Ilhéus-BA. A casa de vegetação possui 7 m de comprimento, 3 m de largura e 2,66 m de altura, com revestimento lateral em sombrite (50% de sombreamento) e cobertura com telha transparente de fibra de vidro, garantindo proteção contra radiação solar direta e precipitações.

No arranjo experimental, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em: T1 – controle (sem aplicação de fertilizante); T2 – fertirrigação com 1,0 L de biofertilizante por planta; T3 – 2,0 L; T4 – 3,0 L; T5 – 4,0 L; T6 – 5,0 L de biofertilizante por planta.

O biofertilizante foi produzido a partir de cascas de frutos de cacau em uma fazenda particular localizada na zona rural de Buerarema-BA. Inicialmente, as cascas foram coletadas (Figura 1A), trituradas (Figura 1B) e pesadas (Figura 1C), totalizando 100 kg de material. Em seguida, o material foi adicionado a uma caixa d'água de 500 L (Figura 1D) com 313,5 L de água (Figura 1E) e submetido à biodigestão anaeróbica, com homogeneizações manuais semanais durante o período de 20 de setembro de 2024 a 17 de fevereiro de 2025.

Figura 1. Etapas do preparo das cascas de cacau: (1A) frutos seccionados ao meio após remoção das amêndoas; (1B) trituração das cascas; (1C) pesagem do material triturado; (1D) material triturado adicionado em caixa d'água; (1E) adição de água no reservatório contendo as cascas trituradas.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Após o processo, o biofertilizante líquido foi separado da fração sólida por filtração em tela de nylon e armazenado em bombonas de 238 L.

Após a filtração, uma amostra do biofertilizante foi encaminhada para caracterização química (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do biofertilizante das cascas de cacau.

Parâmetros analisados		
pH	-	5,78
CE	mS/cm	4,73
S		<0,02
DQO		53,8
Pt		1,22
$P\text{-}PO_4$		0,65
NTK		23,18
$N\text{-}NH_4^+$		9,67
Fe		11,52
Cu	mg/L	0,52
Zn		8,87
B		<0,05
Mg		7,6
Ca		55,4
K		28,4
Na		12,5
Mn		0,38
Cl^-		56,9

Legenda: pH – pH; CE – Condutividade elétrica; S – Enxofre; DQO – Demanda química de oxigênio; Pt – Fósforo total; $P\text{-}PO_4$ – Ortofosfato; NTK – Nitrogênio total Kjeldahl; $N\text{-}NH_4^+$ – Nitrogênio amoniacal Fe – Ferro; Cu – Cobre; Zn – Zinco; B – Boro; Mg – Magnésio; Ca – Cálcio; K – Potássio; Na – Sódio; Mn – Manganês; Cl- – Cloreto.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0 a 30 cm em uma área da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), Ilhéus-BA. Posteriormente, o solo foi submetido à secagem natural, destorroado e peneiramento. Uma amostra do solo foi submetida a caracterização química (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química do solo utilizado no experimento.

Parâmetros													
pH (H_2O)	CE	CO	MO	CC	N	D	Al	Mg	Ca	K	Na	P	H
-	µS/cm	……g/kg…..…				g/cm³	.....cmolc/kg…….....						
6,87	213,4	38,7	65,9	37,8	2,41	1,034	<0,001	1,12	4,58	0,21	0,08	6,241	1,08

Legenda: pH (H_2O) – Potencial hidrogeniônico em água (1:2,5); CE – Condutividade elétrica; CO – Carbono orgânico; MO – Matéria orgânica; CC - Carbonato de cálcio; N – Nitrogênio total; D – Densidade do solo; Al – Alumínio; Mg – Magnésio; Ca – Cálcio; K – Potássio; Na – Sódio; P – Fósforo assimilável; e H –Hidrogênio.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Quanto a caracterização física, o solo apresentou umidade de 11,4%, densidade de 1,034 g/cm^3, e classe textural franco argilo arenoso (54,20% de areia, 29,6% de argila e 14,6% de silte).

O substrato utilizado no experimento foi composto pela mistura de quatro partes do solo para uma parte de esterco bovino leiteiro (4:1 - v/v). Antes da preparação do substrato esterco bovino foi peneirado.

Na montagem das unidades experimentais, baldes plásticos com capacidade de 10,0 L foram perfurados na base e tiveram instalado um dreno de 0,006 m de diâmetro. Na parte inferior de cada balde, adicionou-se uma camada de 0,764 kg de brita número 2.

Na sequência, os baldes foram preenchidos com 9 kg de substrato e dispostos sobre base de blocos de cerâmica, com espaçamento de 0,45 m entre plantas e 0,70 m entre fileiras. Após o preenchimento dos baldes, o substrato foi colocado em capacidade de campo e realizada a semeadura com quatro sementes de rabanete (var. Blue Line) por vaso, a 0,005 m de profundidade. Aos 14 dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste, mantendo-se uma plântula por vaso.

As irrigações eram realizadas manualmente todos os dias, mantendo o solo na capacidade de campo.

As fertirrigações foram parceladas em duas vezes, sendo a primeira realizada aos 08 DAS, correspondendo à metade do volume previsto para cada tratamento, e a segunda aos 14 DAS, completando os 0,0 L/planta (T1); 1,0 L/planta (T2); 2,0 L/planta (T3); 3,0 L/planta (T4); 4,0 L/planta (T5); e 5,0 L/planta (T6).

As avaliações do rabanete foram realizadas aos 29 DAS. Nesse período, foram mensurados o número de folhas (NF), o diâmetro da raiz (DR), o comprimento da raiz (CR), a massa fresca e seca da raiz (MFR e MSR).

A avaliação do NF foi realizada através da simples contagem de folhas verdes, completamente abertas e com comprimento superior a 3 cm.

Após a determinação do NF as plantas foram coletadas e acondicionadas em sacos de

papel kraft identificados, separadas em parte aérea e raiz para determinação das demais variáveis.

A medição do diâmetro (DR) e do comprimento da raiz (CR) foi realizada com auxílio de paquímetro digital. Para a determinação da massa fresca da raiz (MFR), o sistema radicular foi pesado em uma balança digital com precisão de 0,001g. Em seguida, o material foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 168 horas. Após este período, as amostras foram retiradas para pesagem final, obtendo-se a massa seca da raiz (MSR).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F. Quando significativos, realizou-se análise de regressão, utilizando o software SISVAR, versão 5.6 (Ferreira 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em conformidade com a Tabela 3, a análise de variância indicou efeito significativo ($p < 0,05$) apenas para o número de folhas (NF), enquanto a massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), diâmetro (DR) e comprimento (CR) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as doses de biofertilizante, nem para regressões linear ou quadrática ($p > 0,05$).

Tabela 3. Quadrados médios da análise de variância para número de folhas (NF), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), diâmetro da raiz (DR) e comprimento da raiz (CR) de rabanete (*Raphanus sativus* L.) submetido a diferentes doses de biofertilizante à base de casca de frutos de cacau (*Theobroma cacao* L.).

FV	GL	NF	MFR	MSR	DR	CR
Regressão Linear	1	$4,803^{ns}$	$62,152^{ns}$	$0,000^{ns}$	$27,451^{ns}$	$68,625^{ns}$
Regressão Quadrática	1	$1,152^{ns}$	$21,638^{ns}$	$0,136^{ns}$	$15,498^{ns}$	$36,297^{ns}$
Desvio de Regressão	3	$8,604^{*}$	$103,377^{ns}$	$0,303^{ns}$	$30,216^{ns}$	$42,272^{ns}$
(Tratamento)	5	$6,353^{*}$	$78,784^{ns}$	$0,209^{ns}$	$26,720^{ns}$	$46,348^{ns}$
Resíduo	20	2,203	196,171	0,466	46,392	99,822
CV%	-	21,31	34,81	28,86	15,33	22,28

Legenda: *: Significativo a 5% de probabilidade (Teste F); ns: não significativo (Teste F); FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; CV: Coeficiente de Variação.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Apesar da significância para NF, não houve ajuste aos modelos de regressão linear ou quadrática, indicando ausência de tendência clara de resposta às doses de biofertilizante. Isso sugere que a variação no número de folhas pode estar mais relacionada à disponibilidade de nutrientes provenientes do solo e esterco bovino utilizado no substrato do que ao biofertilizante aplicado, já que o esterco fornece nitrogênio e potássio de liberação rápida, essenciais ao crescimento vegetativo (Sousa et al. 2022).

Para as variáveis radiculares, a ausência de diferenças significativas reforça a hipótese de que as doses aplicadas do biofertilizante de casca de cacau não foram suficientes para influenciar o desenvolvimento do sistema radicular do rabanete. Esta cultura apresenta ciclo curto e alta exigência em nitrogênio e potássio (Fernandes 2022), demandando disponibilidade imediata desses nutrientes. A liberação gradual dos compostos presentes no biofertilizante, associada à adubação de base com esterco bovino, possivelmente supriu de forma adequada às necessidades da planta, mascarando o efeito isolado do biofertilizante, conforme já observado em hortaliças adubadas com fontes orgânicas combinadas (Zonta, Stafanato e Pereira 2021).

Além disso, Costa et al. (2019) observaram que o aumento da dose de nitrogênio favorece a produção de raízes, mas pode alterar a redistribuição de nutrientes na planta, priorizando o crescimento radicular. Esse comportamento ajuda a explicar a ausência de incrementos significativos para MFR, MSR, DR e CR neste estudo.

Assim, é plausível considerar que o biofertilizante tenha contribuído em conjunto com o esterco bovino, fornecendo nutrientes e melhorando a estrutura do solo, porém sem gerar efeitos estatisticamente detectáveis nas condições experimentais. Avaliações futuras, com diferentes proporções de biofertilizante, épocas de aplicação e manejo, podem auxiliar na determinação de estratégias que favoreçam incrementos significativos no número de folhas e no desenvolvimento radicular do rabanete.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As doses de biofertilizante derivado de cascas de frutos de cacau (*Theobroma cacao* L.) aplicadas no experimento influenciaram positivamente apenas o número de folhas (NF) do rabanete (*Raphanus sativus* L.), enquanto as variáveis radiculares, massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), diâmetro da raiz (DR) e comprimento da raiz (CR), não apresentaram diferença estatística significativa.

Esse comportamento sugere que a variação no número de folhas pode estar mais relacionada à disponibilidade de nutrientes fornecida pelo solo e esterco bovino presente no substrato do que às doses de biofertilizante aplicadas.

A ausência de efeito significativo nas variáveis radiculares indica que, sob as condições deste estudo, o biofertilizante não foi suficiente para alterar o desenvolvimento das raízes, possivelmente devido à interação com o solo e ao aporte nutricional já fornecido pelo esterco.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, à Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) pelo apoio financeiro para a aquisição dos insumos necessários à montagem e condução do experimento, e à Estação Experimental Arnaldo Medeiros (ESARM) da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pelo fornecimento do solo utilizado nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, F. R. B., B. M. Azevedo, G. G. Sousa, K. R. Gomes, T. V. Araújo Viana, e E. D. A. R. Ceita. 2019. "Produtividade do rabanete sob diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada." *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 13 (3): 3467–76. https://doi.org/10.7127/rbai.v13n301073.

Coutinho Neto, A. M., V. Orioli Júnior, S. S. Cardoso, e E. L. M. Coutinho. 2010. "Produção de matéria seca e estado nutricional do rabanete em função da adubação nitrogenada e potássica." *Nucleus* 7 (2): 105–114. https://doi.org/10.3738/1982.2278-349.

Coviello, R. B. 2023. *Produção de rabanete em área cultivada com plantas de adubação verde.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo. https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37742/3/ProducaoRabaneteArea.pdf.

Fernandes, A. V. F. 2022. *Produção do rabanete adubado com esterco bovino, biofertilizante e adubação mineral.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Campina Grande. https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/26357/3/ARTHUR%20VINICIUS%20FELINTO%20FERNANDES%20-%20TCC%20AGRONOMIA%202022..pdf

Ferreira, D. F. 2014. "Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons." *Ciência e Agrotecnologia* 38 (2): 109–112. https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001.

Gonçalves, M. L. 2022. *Produção e caracterização de painéis aglomerados de pinus e casca de cacau utilizando adesivos de fontes renováveis.* Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade de Brasília, Brasília. http://repositorio.unb.br/handle/10482/43739.

Lira, C. M. de. 2022. *Influência da origem da casca de cacau sobre sua capacidade de reter cátions metálicos.* Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade do Estado da Bahia, Salvador. https://saberaberto.uneb.br/server/api/core/bitstreams/e2f5b12b-4e2b-4d3d-a790-e75dcd2ffff1/content.

Melo Júnior, M. F. 2021. *Análise do substrato e teores foliares da araruta comum adubada*

com biofertilizante. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) – Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção. https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/3147.

Müller, M. P., J. F. Cornelli, M. Marder, E. V. Hickmann, e O. Konrad. 2020. "Avaliação do potencial energético da casca de cacau na produção de biogás e biometano." In *Anais do Congresso do IBEAS*, [S.l.], v. 1. https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2020/X-014.pdf.

Ogg, D., A. Becker, G. O. Riskowski, E. Zampieri, e F.J. Campos. 2024. "Adubação química e orgânica na produção de rabanete." In *Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico*, v. 1, n. 25. https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fetec/article/view/6227.

Perazzoli, B. E., V. Pauletti, M. Quartieri, M. Toselli, e L. F. Gotz. 2020. "Changes in leaf nutrient content and quality of pear fruits by biofertilizer application in northeastern Italy." *Revista Brasileira de Fruticultura* 42 (1): e530. https://doi.org/10.1590/0100-29452020530.

Sousa, A. C. de, e D. C. O. Silva. 2023. "Avaliação de crescimento e produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.) sob doses de prolina e cálcio." *Revista FT,* n. 129, Agronomia 27. https://doi.org/10.5281/zenodo.10396121

Sousa, L. D. C. de, A. R. M. dos Santos, J. C. Nogueira, Y. C. da S. Matos, L. J. V. Silva, J. dos S. G. Calaça, T. C. M. Coelho, V. L. da C. Pereira, e E. J. O. de Souza. 2022. "Organic fertilization improves the growth, yield and physicochemical characteristics of radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Saxa." *Research, Society and Development* 11 (11): e57111133423. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33423.

Zonta, E., J. B. Stafanato, e M. G. Pereira. 2021. "Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais." In *Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais*, editado por A. L. Borges, 263–303. Brasília, DF: Embrapa. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134679.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097384

PROJETO DE REQUALIFICAÇÃO DO LIXÃO DE SENHOR DO BONFIM: DO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL AO IMPACTO ECONÔMICO NA LEI ORÇAMENTÁRIA ANUAL

PROYECTO DE RECUALIFICACIÓN DEL BASURERO DEL SENHOR DO BONFIM: DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL AL IMPACTO ECONÓMICO EN LA LEY DE PRESUPUESTO ANUAL

SENHOR DO BONFIM'S DUMPSITE REQUALIFICATION PROJECT: FROM ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS TO ECONOMIC IMPACT ON THE ANNUAL BUDGET LAW

Heitor de Santana Rodrigues[1], José Fernando Thomé Jucá[2], Martha Maria Bezerra Santos[3].

[1]Mestrado, instituição, local, país, heitor.hsr@ufpe.br, 0000-0002-2047-2940;
[2]PhD, UFPE, Recife, Brasil, jucah@ufpe.br, 0000-0002-8956-7905;
[3]Doutoranda, University of Central Florida, Flórida, EUA, martha.bezerra@ufpe.br, 0000-0001-7330-5030.

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Modelos de coleta, transporte e destinação adequada de resíduos sólidos em comunidades rurais

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Modelos para la recolección, transporte y disposición adecuada de residuos sólidos en comunidades rurales

Thematic Axis 06 – Solid Waste
Models for the collection, transportation, and proper disposal of solid waste in rural communities

RESUMO

A produção de resíduos sólidos (RSU) tem crescido gradativamente com o decorrer dos anos, simultaneamente ao aumento populacional e à cultura do hiperconsumo, gerando desafios para os gestores municipais, especialmente no que se refere ao processo de destinação ambientalmente correta dos resíduos, bem como da erradicação e requalificação dos lixões municipais, estejam eles ativos ou não. Nesse sentido, o presente trabalho objetiva realizar um diagnóstico do Lixão Municipal de Senhor do Bonfim, localizado no Norte do Estado da Bahia, abarcando a concepção de projeto de requalificação de áreas degradadas por resíduos. Para tal, as etapas do trabalho envolveram visita in loco para diagnosticar a área degradada por resíduos, detalhando e caracterizando esses locais para obter os cenários e técnicas mais adequadas para remediar. Por fim, projetou-se a requalificação, levantamento dos custos e impactos na Lei Orçamentária Anual do município em 2024. O custo do projeto de requalificação foi de R$ 2.117.584,99. Com isso o impacto na Lei Orçamentária Anual ficou em 0,74%.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos, Lixão, Requalificação

RESÚMEN

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) ha aumentado gradualmente a lo largo de los años, en paralelo con el crecimiento poblacional y la cultura del hiperconsumo, lo que ha generado desafíos para los gestores municipales, especialmente en lo que respecta a la gestión ambientalmente responsable de los residuos, así como a la erradicación y rehabilitación de los vertederos municipales, tanto activos como no. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo diagnosticar el Basurero Municipal Senhor do Bonfim, ubicado en la zona norte del estado de Bahía, lo que abarca el diseño de un proyecto de rehabilitación de áreas degradadas por residuos. Para ello, se realizó una visita in situ para diagnosticar el área degradada, detallando y caracterizando estos sitios para identificar los escenarios y las técnicas más adecuadas para su remediación. Finalmente, se proyectó el proyecto de rehabilitación, junto con una evaluación de costos y un análisis de impacto en la Ley de Presupuesto Anual del municipio para 2024. El costo del proyecto de rehabilitación fue de R$ 2.117.584,99. Como resultado, el impacto en la Ley de Presupuesto Anual fue del 0,74%.

Palabras clave: Residuos Solidos, Basurero, Recualificación

ABSTRACT

Solid waste (MSW) production has gradually increased over the years, simultaneously with population growth and a culture of hyperconsumption, creating challenges for municipal managers, especially regarding environmentally sound waste disposal, as well as the eradication and redevelopment of municipal landfills, whether active or not. Therefore, this study aims to diagnose the Senhor do Bonfim Municipal Dumpsite, located in the northern part of the state of Bahia, encompassing the design of a project to rehabilitate areas degraded by waste. To this end, the work involved an on-site visit to diagnose the area degraded by waste, detailing and characterizing these sites to identify the most appropriate scenarios and techniques for remediation. Finally, the redevelopment project was projected, along with a cost assessment and impact assessment on the municipality's Annual Budget Law for 2024. The cost of the redevelopment project was R$2,117,584.99. As a result, the impact on the Annual Budget Law was 0.74%.

Keywords: Solid Waste, Dumpsite, Requalification

INTRODUÇÃO

A destinação final de resíduos sólidos em vazadouros à céu aberto degrada o meio ambiente, colocando em risco os recursos naturais, gerando danos que podem persistir durante anos, mesmo após o seu encerramento. Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos é de competência do poder público municipal, tornando-se imprescindível para assegurar a proteção ambiental e saúde da população.

Além disso, a Lei n° 14.026/2020 determinou que a disposição final ambientalmente

adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro do respectivo ano da aprovação da Lei, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira.

Nesse sentido, é essencial aplicar as orientações presentes na legislação em vigor, quanto ao uso de técnicas de remediação para reduzir os impactos causados. Afinal, o lixão configura uma fonte primária de contaminação. Portanto, o grau de recuperação que se deseja obter, elaborado através de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), poderá envolver a reabilitação e/ou a remediação, destinando para o local uma função social, sendo que nos casos de remoção total da massa de resíduos, este nível poderá atingir o processo de restauração parcial e/ou total do ecossistema.

Barros (2011) afirma que muitos municípios são carentes de espaços públicos e de lazer. Diante disso as áreas degradadas por resíduos, quando encerradas e requalificadas, podem adquirir novas funções sociais, pois são, em sua maioria, extensas e situadas em zonas periféricas. Porém, Oliveira (2013) destaca que um dos entraves para promover uma restauração ecológica, por parte do executivo municipal, envolve a ausência de estudos relativos ao custo associado a essa atividade, tais como disponibilidade de materiais, equipamentos e mão de obra especializada.

Portanto, esse trabalho teve como objetivo realizar um estudo que abarque projeto de requalificação de área degradada por resíduos, desde o seu diagnóstico ambiental, até o impacto no orçamento anual do município, através da Lei Orçamentária Anual do exercício financeiro de 2024.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Senhor do Bonfim está situado no centro norte da Bahia, ocupando uma área de 789.361 Km² e uma população estimada de 79.813 habitantes. A cidade fica distante 384,5 km da capital Salvador (IBGE, 2023) e está situada na zona climática caracterizada pelo clima semiárido na sua parte leste, e subúmido na área oeste, onde é atravessado pela serra de Jacobina. A temperatura média é de 23,3º C, oscilando entre a máxima de 28,3º C e a mínima de 19,2º C. A totalidade do território do município está inserido no polígono das secas e o nível

de precipitação pluviométrica varia de 550 a 800 mm ao ano, conforme Machado (2012, p. 206).

A área do lixão encontra-se na estrada para Quicé (Km 2) na área urbana do município de Senhor do Bonfim, com CEP 48970-000, conforme a Figura 1, possuindo 11,11ha com recebimento diário de, aproximadamente, 81 toneladas de resíduos sólidos. Os ensaios realizados para a investigação geoambiental foram a sondagem SPT, a planialtimetria e coleta e análise de lixiviado.

Figura 1. Localização do Lixão de Senhor do Bonfim
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O levantamento topográfico e planialtimétrico (Figura 2) ocorreu com o objetivo de determinar a área de abrangência do Lixão, identificando os locais de deposição dos resíduos sólidos. Para tal fez-se uso das ferramentas GPS Geodésico de precisão Promark 100/200 L1 L2 e Drone DJI Mavic 2 Pro.

Figura 2. Realização do levantamento planialtimétrico
Fonte: Elaboração própria, 2024.

A sondagem geotécnica de simples reconhecimento com SPT foi executada em seis pontos distintos com critério de paralisação contratado para uma profundidade máxima de 8,45

metros, ou até encontrar nível d'água. O ensaio seguiu as normas NBR 6484/2020 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio (ABNT, 2020). Através do ensaio foi possível determinar a espessura da camada de resíduos, avaliar a resistência da massa aterrada e identificar o perfil e a qualidade do subsolo, imediatamente, abaixo dos resíduos. As Figuras 3A e 3B apresentam a localização dos pontos de sondagem e a execução.

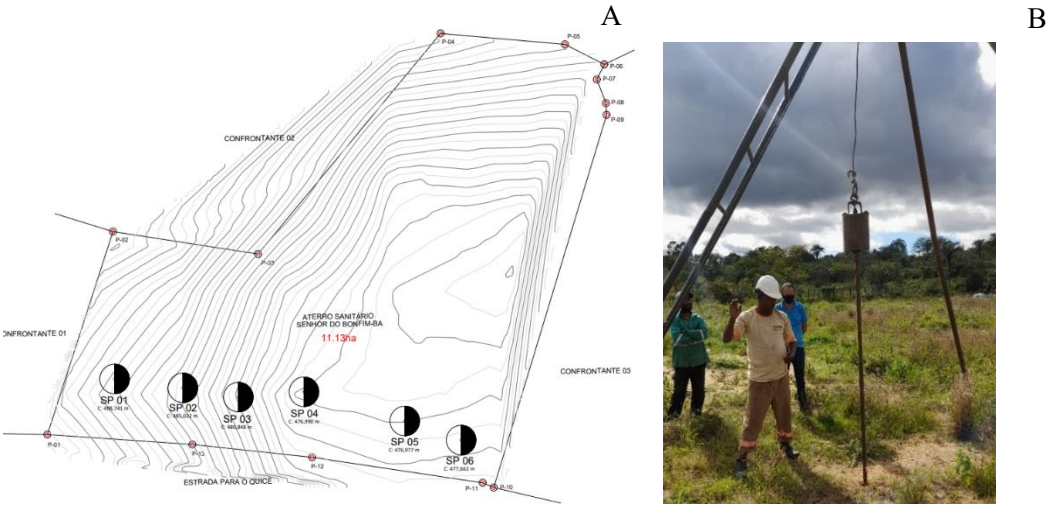


Figura 3. Planta de Locação dos pontos de sondagem (A), Execução da sondagem (B)
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O lixiviado foi coletado em local previamente selecionado onde havia deposição e acúmulo do lixiviado (Figura 4). Desse modo, coletou-se 4,5 litros de material em garrafas PET de 2 litros, previamente esterilizadas, estando o recipiente adequado para o armazenamento, conforme a norma NBR 10005/2004 - Procedimento (ABNT, 2004) para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e efetuou-se o transporte em caixa térmica até o município de Petrolina – PE para ser analisado pelo Laboratório do SENAI (LABMA), obedecendo os requisitos impostos pela Resolução CONAMA 430/2011 que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Figura 4. Coleta e armazenamento do lixiviado.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Ademais, fez-se uso de dados complementares obtidas através do Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS – CDSTIPNI, 2022). Por fim, o processo de produção das plantas, em especial da forma final dos lixões, foi realizado através da utilização de softwares da área da construção civil, como Autocad® e Revit®

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos 6 pontos analisados através da sondagem SPT estão apresentados na Tabela 1, incluindo a espessura da camada de resíduos.

Tabela 1. Dados da sondagem, 2024

Furo	Coordenadas		Cota (m)	Profundidade (m)	Espessura da camada de resíduos (m)	Nível d'água (m)
	Norte	Este				
SP 01	8840926,448	372720,826	488,741	8,45	6,00	NE
SP 02	8840918,742	372780,323	485,022	8,45	5,40	NE
SP 03	8840910,626	372828,695	480,848	8,45	7,85	NE
SP 04	8840915,260	372885,775	476,990	8,45	0,74	NE
SP 05	8840889,780	372973,613	476,977	8,45	5,62	NE
SP 06	8840873,189	373022,746	477,662	8,45	2,55	NE

Legenda: NE = Não encontrado

Fonte: Infratech. 2024

Conforme o levantamento planialtimétrico, esse vazadouro possui área igual a 11,11 ha e perímetro igual a 1.489 km (Figura 5). O local é plano, contribuindo para que a ocorrência de erosão no solo seja reduzida, já que devido à ausência de inclinação, o escoamento das águas

e o transporte de sedimentos são mínimos (SANTOS & SANTOS, 2021, p.11).

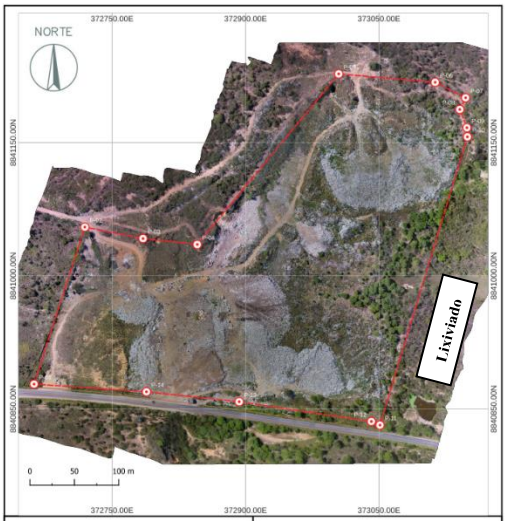


Figura 5. Delimitação da área do Lixão Municipal de Senhor do Bonfim
Fonte: BAHIAMAP, 2024.

As águas superficiais encontradas no nível mais baixo da área do Lixão, por vezes, são utilizadas por animais que pastam no local. Entretanto, a presença do lixiviado provocou alterações físico-químicas, conforme resultados expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Dados da análise do lixiviado, 2024

ENSAIO	VALOR MÁXIMO CONAMA 430 ou 357	VALOR OBTIDO
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N	22,07 mg/L
pH	5 a 9	8,85
Temperatura	22°C	Inferior a 40°C
DQO	-	1.150,98 mg/L O2
QBO	120 mg/L	92,00 mg/L O2
Sólidos Dissolvidos	500 mg/L	8.280,00 mg/L O2
Sólidos Suspensos	-	56,00 mg/L O2
Sólidos Totais	1.500 mg/L	13.202,00 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	1,0 mg/L	1,40 mg/L O2

Fonte: SENAI. 2024

Através dos dados da análise do lixiviado percebe-se que o valor referente ao nitrogênio amoniacal total (NAT) extrapolou o limite máximo estabelecido pela legislação, indicando que o corpo receptor está contaminado, devido ao aumento da toxicidade pela amônia. Shinzato et. al (2018) obtiveram valores de NAT iguais a 171 mg/L que, posteriormente, foi reduzido para

45 mg/L, devido à fatores como a diluição do volume do lixiviado na água superficial e da exposição a céu aberto que acelerou a degradação das frações orgânicas, conduzindo a oxidação do composto nitrogenado.

A DBO encontra-se dentro dos parâmetros, entretanto a DQO, apesar de não haver um limite estabelecido na legislação, apresentou um valor muito alto, sendo que para Chapman & Kimstach (1996) a concentração em águas superficiais não poluídas não deve ultrapassar 20mg/l. A relação DBO/DQO resultou em 0,08, próximo aos valores obtidos por Ritter & Ferreira (2011, p. 12) na face sul do lixão de Marambaia – RJ.

Já a série de sólidos também extrapolou o limite estabelecido, sendo que os valores convergem com os de Ritter & Ferreira (2011, p. 13) onde os sólidos suspensos totais variaram de 56 a 313 mg/L e os sólidos dissolvidos totais de 3728 a 9252 mg/L.

O projeto conceitual (Figura 6) prevê uma primeira intervenção no Lixão de Senhor do Bonfim através da realocação dos resíduos que estão mais afastados (nas áreas de cor vermelha), concentrando-os em um único local de deposição (área azul), a fim de otimizar e economizar o processo de confinamento. O espaço do terreno identificado pela cor amarela também deve ser limpo e destinado à instalação da estação de transbordo e central de triagem.

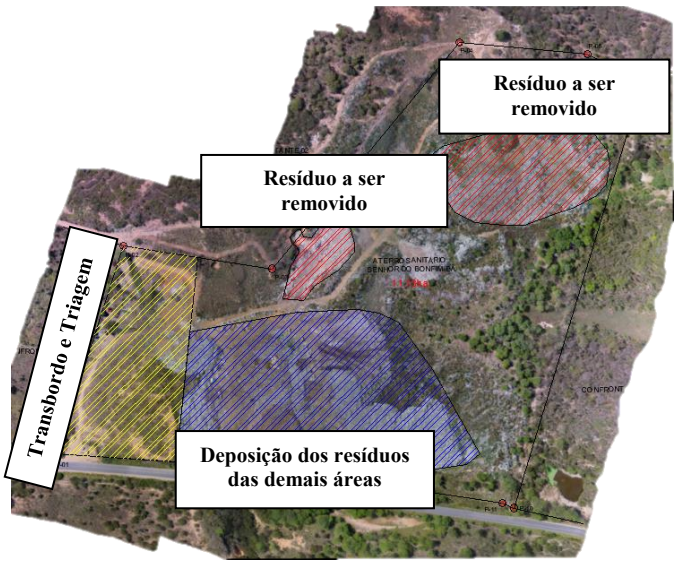


Figura 6. Definição das funções das áreas do Lixão de Senhor do Bonfim
Fonte: Elaboração própria, 2024

A Estação de Transbordo foi idealizada com guarita de acesso, cercamento e pátio de manobra pavimentado. O modelo adotado para o recebimento dos resíduos coletados é o de rampa com baias para depósito em containers para veículos específicos do tipo caminhões Roll

on Roll off, a fim de conduzir até a destinação final ambientalmente adequada, em aterros sanitários licenciados. Por fim, foi planejado um espaço contendo um galpão de triagem destinado aos materiais com potencial reciclável. (Figura 7).

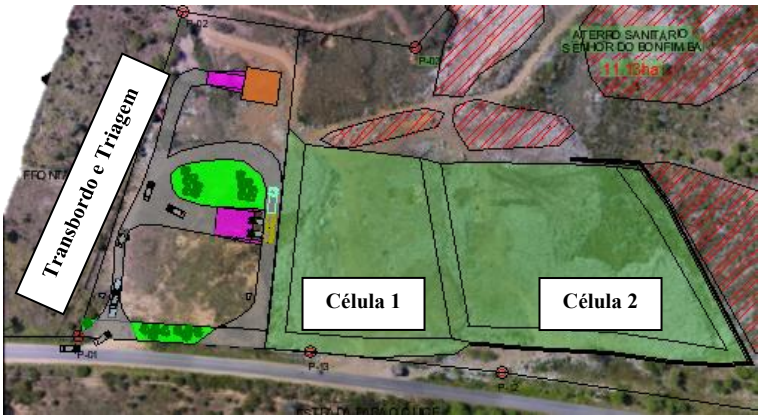


Figura 7. Forma final do Lixão de Senhor do Bonfim
Fonte: Elaboração própria, 2024

O custo previsto para uma obra desse porte foi orçado em R$ 2.117.584,99. Diante disso, tal valor é bem ínfimo quando comparado com a Lei Orçamentária Anual, com valor de R$ 287.163.228,00, referente ao exercício financeiro do município para o ano de 2024, percebe-se, de modo geral, que o valor para requalificar o lixão cabe dentro do orçamento do município, não provocando um impacto nas suas receitas, afinal o percentual atingiu um valor de 0,74%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de projeto de requalificação de lixão para o município de Senhor do Bonfim, através do diagnóstico da área degradada por resíduos, favorecendo a implementação da técnica mais adequada para a remediação, com foco no impacto que esse processo decisório gera aos cofres públicos.

O projeto prevê o rearranjo dos resíduos em duas células, com a construção de uma estação de transbordo e uma central de triagem para a atuação da cooperativa de catadores. O custo do projeto de requalificação foi estimado em valor igual a R$ 2.117.584,99. Conclui-se que o custo pode ser acomodado dentro do orçamento municipal, não provocando um grande e forte impacto nas suas receitas, visto que o percentual foi de 0,74%.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao BID e ao GRS-UFPE pela contribuição para a execução do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2004. NBR 10005: Lixiviação de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2001. NBR 6484: Solo – sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

Barros, L. H. S. 2011. "Requalificação dos aterros desativados (brownfields) no município de São Paulo: Parques (greenfields) Raposo Tavares e Jardim Primavera." Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

Brasil. 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acessado em 25 de outubro de 2022.

Chapman, D., e V. Kimstach. 1996. "Selection of Water Quality Variables." In Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environment Monitoring, (2), 59–126. https://doi.org/10.1201/9781003062103-3.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2011. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2023. Panorama Senhor do Bonfim. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/senhor-do-bonfim/panorama. Acessado em 19 de outubro de 2023.

Machado, G. C. A. 2012. "Da Ilha de Sapucaia ao Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho: a criação de territórios do lixo da cidade do Rio de Janeiro como expressão de segregação especial". Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Oliveira, E. S. 2007. "Impactos socioambientais e econômicos do turismo e as suas repercussões no desenvolvimento local: o caso do Município de Itacaré - Bahia." Interações (Campo Grande) 8 (2): 193–202. https://doi.org/10.1590/S1518-70122007000200006.

Santos, S. A., e A. M. Santos. 2021. "Panorama da susceptibilidade à erosão dos solos em municípios do semiárido de Pernambuco." Revista Equador (UFPI) 10 (3): 1–25. https://doi.org/10.26694/EQUADOR.V10I3.11013.

Shinzato, M. C., S. Ezaki, I. C. G. Saraiva, e G. B. Girardi. 2018. "Métodos de remoção de íons fluoreto em água." Revista do Instituto Geológico (São Paulo) 39 (2): 71–89.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097426

PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTA DIGITAL PARA GESTÃO EFICIENTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA - PE

PROPUESTA DE HERRAMIENTA DIGITAL PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE PETROLINA - PE

PROPOSAL FOR A DIGITAL TOOL FOR EFFICIENT SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE MUNICIPALITY OF PETROLINA - PE

Joyce da Cruz Lima[1], Luan Santos Benevides[2], Plynio Armando da Silva Domingo[3] e Raliny Mota de Souza Farias[4].

[1]Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, joyce.lima@discente.univasf.edu.br, 0000-0003-4452-1038;
[2]Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, luan.benevides@discente.univasf.edu.br, 0009-0006-0897-7651;
[3]Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, plynio.domingo@discente.univasf.edu.br, 0009-0008-1959-8993;
[4]Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, raliny.mota@univasf.edu.br, 0009-0000-8081-1994.

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.

Eje Temático 06 – Residuos sólidos
Tecnologías de tratamiento y reutilización: compostaje, biodigestión y otros.

Thematic Axis 06 – Solid waste
Treatment and reuse technologies: composting, biodigestion, and other.

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos é constituída por uma partilha de responsabilidades, e a integração entre gestores públicos, comunidade, cooperativas e grandes geradores podendo representar um enorme desafio para municípios com acelerado crescimento populacional, como Petrolina (PE). Diante do contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar as práticas municipais, incluindo iniciativas implementadas e fragilidades existentes, para fundamentar a proposição de uma ferramenta com soluções voltadas à otimização da gestão. Como metodologia, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e análise exploratória de dados e documentos oficiais, decretos, leis e relatórios ambientais, além da observação e registros de práticas do setor, possibilitando o diagnóstico da situação atual e a identificação de oportunidades de aperfeiçoamento. Com base nos resultados obtidos, foram definidos e analisados critérios para o desenvolvimento de um dispositivo digital integrado, capaz de articular todos os atores envolvidos, permitindo que cada um contribua dentro de suas competências e tenham acesso a um panorama geral da gestão. Concluiu-se que a implementação desta ferramenta poderá promover avanços significativos na eficiência, transparência e corresponsabilidade da gestão de resíduos sólidos no município.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Políticas públicas, Ferramenta digital, Gestão municipal

RESÚMEN

La gestión de residuos sólidos implica responsabilidades compartidas y la integración de gestores públicos, la comunidad, cooperativas y grandes generadores, lo que puede representar un desafío significativo para municipios con rápido crecimiento poblacional, como Petrolina, Pernambuco. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo caracterizar las prácticas municipales, incluyendo las iniciativas implementadas y las debilidades existentes, para sustentar la propuesta de una herramienta con soluciones orientadas a optimizar la gestión. La metodología implicó investigación bibliográfica y análisis exploratorio de datos y documentos oficiales, decretos, leyes e informes ambientales, además de la observación y registro de prácticas sectoriales, lo que permitió un diagnóstico de la situación actual e identificar oportunidades de mejora. Con base en los resultados obtenidos, se definieron y analizaron criterios para el desarrollo de una herramienta digital integrada capaz de coordinar a todos los actores, permitiendo que cada uno contribuya dentro de sus competencias y tenga acceso a una visión general de la gestión. Se concluyó que la implementación de esta herramienta podría promover avances significativos en la eficiencia, la transparencia y la corresponsabilidad en la gestión de residuos sólidos en el municipio.

Palabras clave: Residuos sólidos, Políticas públicas, Herramienta digital, Gestión municipal

ABSTRACT

Solid waste management involves shared responsibilities and the integration of public managers, the community, cooperatives, and large generators, which can pose a significant challenge for municipalities with rapid population growth, such as Petrolina, Pernambuco. Given this context, this study aimed to characterize municipal practices, including implemented initiatives and existing weaknesses, to support the proposal of a tool with solutions aimed at optimizing management. The methodology involved bibliographic research and exploratory analysis of official data and documents, decrees, laws, and environmental reports, in addition to observation and records of sector practices, enabling a diagnosis of the current situation and the identification of opportunities for improvement. Based on the results obtained, criteria were defined and analyzed for the development of an integrated digital tool capable of coordinating all stakeholders, allowing each to contribute within their competencies and have access to a comprehensive management overview. The conclusion was that the implementation of this tool could promote significant advances in the efficiency, transparency, and co-accountability of solid waste management in the municipality.

Keywords: Solid waste, Public policies, Digital tool, Municipal management

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um desafio significativo para municípios brasileiros, especialmente em cidades de médio e grande porte com rápido crescimento populacional e produtivo, assim como Petrolina-PE, visto que no período de 12 anos entre os

dois últimos Censos Demográficos completos do Brasil (2010 e 2022), registrou-se um crescimento populacional significativo no município, saindo da 6º posição de cidade mais populosa para a 3º posição do estado, além de se tornar a cidade mais populosa do interior de Pernambuco. O município tem adotado instrumentos inovadores, como o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Digital (PGRS Digital) em 2021, e o Sistema de Informação Municipal sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SIMRES) em 2025, buscando cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o marco regulatório do saneamento básico e o Decreto nº 110/2025. Apesar dessas iniciativas representarem avanços de gestão, ainda persistem problemas como desconhecimento da população sobre o sistema de coleta, descarte inadequado, limitada coleta seletiva, falta de armazenamento domiciliar seguro e baixa disseminação de informações. Essas fragilidades podem comprometer a participação comunitária, a integração entre poder público, catadores e sociedade, o que pode ter refletido no baixo desempenho do Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU), com valor de 0,365 em 2022. Diante disso, este trabalho realizou o diagnóstico das atuais práticas de gestão e gerenciamento de resíduos do município de Petrolina-PE e propôs o desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica para gestão integrada, cujas funções envolvam o fornecimento de informações em tempo real sobre roteiros de coleta, pontos de entrega voluntária (PEV), volume gerado, ações educativas, localização de cooperativas e espaço para reclamações e sugestões. A inserção de um dispositivo digital dessa natureza pode ser capaz de fomentar uma maior interação entre gestão municipal e população, promover transparência, eficiência e corresponsabilidade, fortalecendo cooperativas de catadores e consolidando práticas de descarte ambientalmente adequadas, contribuindo para uma política de resíduos sólidos mais inclusiva e sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a condução do estudo foi definido o processo estruturado em 3 etapas: a primeira de pesquisa bibliográfica e análise exploratória de dados, a segunda de análise documental e a terceira de produção do diagnóstico e definição dos critérios para a ferramenta digital; como apresentado na Figura 1.

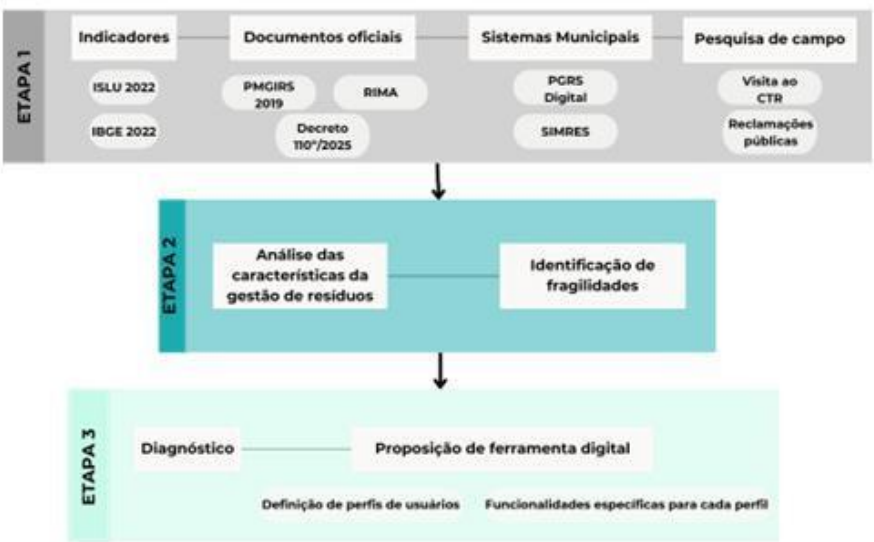


Figura 1. Fluxograma do estudo separado por 3 etapas
Fonte: Autores, 2025.

Definição da área de estudo

O presente estudo foi realizado no município de Petrolina, localizado no sertão de Pernambuco, às margens do Rio São Francisco. Reconhecida nacionalmente pela fruticultura irrigada, com destaque para a produção de uvas e mangas destinadas à exportação. Com um clima semiárido e temperaturas médias anuais variando de 26 °C a 32 °C, juntamente com Juazeiro (BA), cidade irmã, constituem um polo econômico regional unificado, promovendo o desenvolvimento do comércio, da logística e da agroindústria.

Figura 2. Mapa de Localização de Petrolina-PE e seus elementos.
Fonte: Adaptado pelos autores, 2025.

Definição dos critérios para ferramenta digital

Para proposição de um dispositivo interativo e digital de gestão eficiente utilizou-se a metodologia de Guerra & Terce (2020), Carvalho (2022) e Pedrosa & Toutain, (2004) e definiu-se os critérios a seguir (Quadro 1).

Quadro 1. Critérios para proposição de dispositivo interativo.

Ação/Funcionalidade Central	**Ponto de Impacto (Benefício Principal)**	**Usuários Beneficiados**
Comunicação Simplificada e Acessível	Acabar com a rigidez dos decretos, garantindo compreensão em todos os níveis de instrução.	Gestores, População, Grandes Geradores e Cooperativas.
Monitoramento de Coleta em Tempo Real	Aumentar a eficiência logística e a confiança do cidadão na prestação do serviço.	População, Gestores e Cooperativas.
Integração de Grandes Geradores	Suporte a cadastros e emissão de lembretes de licenças/infrações, garantindo conformidade legal com mais facilidade.	Gestores e Grandes Geradores.
Informações de Descarte (PEVs/EcoPontos)	Simplificar o descarte correto e estimular a reciclagem e a logística reversa.	População e Cooperativas.
Canais de Feedback (Ouvidoria)	Criar um canal direto para registro de ocorrências (dúvidas, sugestões, descarte irregular) e melhoria contínua do serviço.	População e Gestores.
Suporte à Gestão das Cooperativas	Facilitar o gerenciamento de solicitações e registro de relatórios, formalizando e profissionalizando a atividade de reciclagem.	Cooperativas e Gestores.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e analisados a base de informações coletadas no município de Petrolina-PE.

Caracterização do município quanto a gestão de resíduos sólidos

Sobre a atuação do município de Petrolina-PE nas práticas de gestão dos resíduos, foi possível observar ações exitosas e alguns desafios, conforme relatado no Quadro 2.

Quadro 2. Atuação do município de Petrolina-PE nas práticas de gestão dos resíduos.

Eixo de Caracterização	**Destaque e Inovação**	**Desafios/Contraponto**
Plano e Legislação	1ª cidade de PE a implantar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos **(PGRS) Digital**. Em cumprimento a lei Nº 14.026 (2020)	A disseminação de informações sobre o tema (roteiros de coleta) é limitada a canais formais (leis, decretos), restringindo o acesso da população.
Controle de Geradores	Foco em Grandes Geradores através do SIMRES (Sistema Informatizado Municipal de Resíduos Sólidos).	As iniciativas para Pequenos Geradores são educativas ou normativas, alcançando apenas uma fração da população.
Disposição Final	Operação de Aterro Sanitário licenciado (Classes I e II-A) com vida útil estimada em 25 anos, impermeabilização e tratamento de chorume.	O antigo lixão (Raso da Catarina) foi remediado, mas permanece como ponto de transbordo; atividades como compostagem foram transferidas para a área do aterro.
Coleta Seletiva e Catadores	Realizada por 3 cooperativas (COOMARCA, Renascer e ASCORSUPE). Prioridade de destinação dos materiais de EcoPontos para as cooperativas (Decreto nº 110/2025).	Desafio implícito: Fortalecer a comunicação e o engajamento da população para que o sistema de coleta seletiva funcione em plena capacidade.

Fonte: Adaptado de Decreto nº 100(2025), Lei 14.026(2020).

A gestão tem demonstrado interesse em digitalização e controle dos grandes geradores

no estado, mas enfrenta o desafio de disseminar informações de forma eficaz para a população. O rápido avanço tecnológico e o foco no aterro sanitário e nas cooperativas de catadores demonstram um esforço formalizado para melhorar o saneamento, embora ainda haja uma lacuna na comunicação e no engajamento público.

Quanto à sustentabilidade da limpeza urbana, Petrolina apresenta baixo desempenho no Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU), com valores de 0,384 em 2020, 0,389 em 2021 e 0,365 em 2022, enquadrando-se na faixa "muito baixa" (PwC e SELURB, 2022). Os indicadores de 2022 revelaram limitações em sustentabilidade financeira e recuperação de resíduos, mas apontaram elevado engajamento municipal, fator que pode favorecer avanços nas demais dimensões.

Caracterização da população e seus hábitos de descarte

Pensando no engajamento municipal, analisou-se dados do Censo Demográfico de 2022 quanto ao grau de instrução e hábitos de descarte de resíduos por faixa etária, a partir de 20 anos, a fim de investigar a influência da escolaridade sobre o tipo de descarte. Observa-se na Figura 3 que a faixa etária populacional predominante é de 25-34 anos, seguida da de 35-44 anos, que correspondem juntos a 48,58% dos geradores.

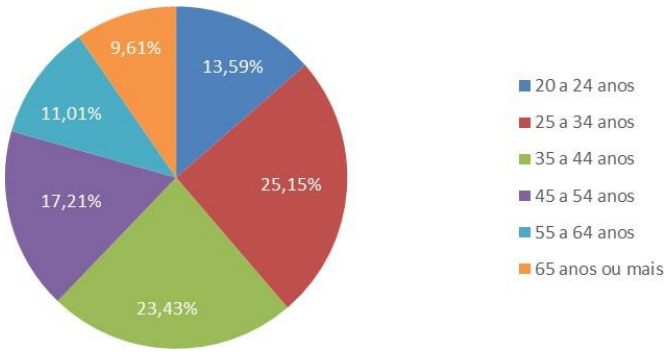


Figura 3. Composição da população de Petrolina/PE por Faixa Etária
Fonte: (IBGE 2022a) com expressão gráfica do autor, 2025.

Quanto ao hábito de descarte da população analisado, 91,08% da população tem os resíduos coletados no domicílio por serviço de limpeza. Quanto aos outros meios de destinação, o mais expressivo é a queima na propriedade com 6,45%, prática comum no município. A percepção do descarte com as faixas etárias predominantes podem ser observados na Figura 4.

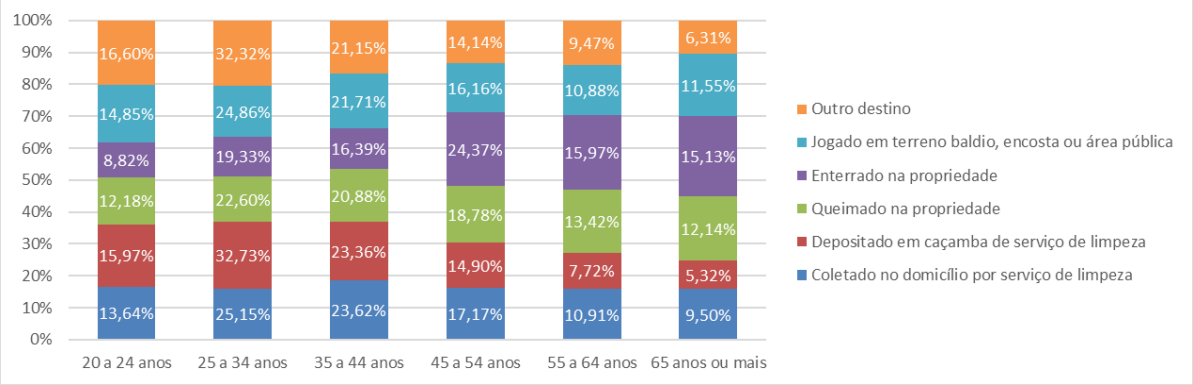


Figura 4. Gráfico de Tipo de Destinação dos Resíduos por Faixa Etária
Fonte: (IBGE 2022b) com expressão gráfica do autor, 2025.

Quanto ao grau de instrução da população analisada, 39,55% da população está enquadrada com ensino médio completo e superior incompleto, e na situação de sem instrução e fundamental incompleto com 32,27% da população estudada (Figura 5).

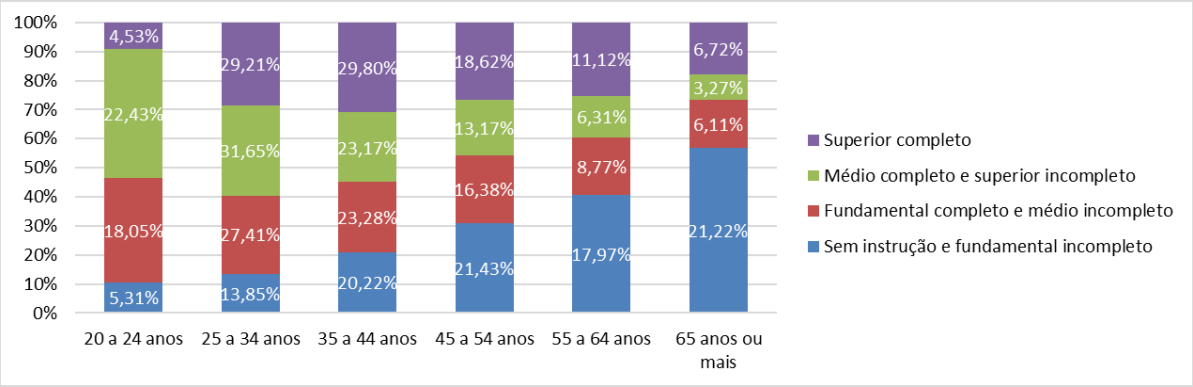


Figura 5. Gráfico de Grau de Instrução por Faixa Etária
Fonte: (IBGE 2022c) com expressão gráfica do autor, 2025.

Analisando os dois gráficos foi possível perceber que não foi considerada a separação por coleta seletiva, e o quesito denominado "outros" pode se referir tanto a coleta seletiva não identificada quanto a algum destino que não é considerado ambientalmente correto. As faixas etárias de 25-34 e 35-44 anos predominam quanto ao uso do serviço de coleta, apresentando maior escolaridade, enquanto as faixas de 45 anos ou mais, com menor instrução, recorrem com maior frequência a práticas inadequadas, como queimar ou enterrar seus resíduos. Esses dados indicam que políticas públicas e instrumentos legais disponíveis podem não alcançar integralmente a população de menor escolaridade, o que ressalta na necessidade de inserção dessa população na comunicação educativa para melhoria das práticas de descarte.

Unindo esses aspectos com a caracterização da gestão pública municipal, observou-se que existem lacunas na integração dos atores envolvidos na gestão de resíduos sólidos. Embora

sistemas avançados, como o SIMRES, atendam aos grandes geradores, as iniciativas voltadas aos pequenos geradores, permanecem limitadas. Sendo assim, a comunicação institucional restringe a efetividade das ações e o diálogo com a diversidade sociocultural da população e pode representar uma fragilidade no sistema, pois a maior parcela dos indivíduos que adota práticas inadequadas de descarte está situada em faixas etárias com baixa escolaridade.

Proposição de ferramenta digital para à gestão de resíduos sólidos

A análise evidencia problemáticas centrais que comprometem a efetividade da gestão de resíduos sólidos em Petrolina, essas fragilidades ressaltam a necessidade de maior integração entre gestores, catadores, grandes geradores e população, bem como de estratégias que ampliem a participação social e a eficiência do sistema.

Diante do exposto, elaborou-se a proposição de uma ferramenta digital capaz de oferecer soluções simplificadas para as fragilidades identificadas. O esboço da ferramenta digital interativa pode ser observado na Figura 6.

Figura 6. Exemplos de layout para ferramenta digital
Fonte: Autores, 2025.

As ações e funcionalidades, apresentadas na metodologia, foram traduzidas em critérios de design, em que cada elemento da ferramenta (cores, ícones, contexto) fez referência direta à identidade visual de Petrolina, utilizando as cores da bandeira para o *layout* e ícones de descarte e coleta para as rotas e os EcoPontos. A aplicação dessas referências visuais e contextuais atuam para aumentar o engajamento e a relevância da plataforma, garantindo que

a tecnologia reflita a cultura local e melhore a identificação do usuário com o serviço de gestão de resíduos, conforme as melhores práticas de desenvolvimento digital.

A ferramenta proposta integra gestão pública, cooperativas e população, respaldando-se no Decreto nº 110/2025 e nos princípios dos artigos 3º, 5º e 6º, reforçando transparência, eficiência e sustentabilidade na gestão de resíduos. Diferenciando-se dos sistemas existentes, oferece acessibilidade e simplicidade, traduzindo normas em uma plataforma prática, permitindo à população acessar informações sobre o setor, atuando como elo direto entre a política pública e o cotidiano dos cidadãos.

Análise de resultados positivos a partir da implementação de ferramenta digital

Considerando a proposta de desenvolvimento de uma ferramenta digital para a gestão de resíduos sólidos apresentada neste artigo, espera-se alcançar resultados semelhantes aos observados nos municípios de Florianópolis e no Distrito Federal.

Em Florianópolis, a startup ZeroWasteX, credenciada em licitação de 2024, implementou um sistema de coleta inteligente baseado em IoT e inteligência artificial, otimizando rotas, reduzindo custos operacionais em 17% e o tempo de coleta em 31%, além de criar um aplicativo de engajamento cidadão e uma plataforma de economia circular conectando geradores de resíduos e recicladores (UDESC, 2025)

No Distrito Federal, o aplicativo SLU Coleta DF aproximou cidadãos aos serviços de limpeza urbana, permitindo consulta de cronogramas de coleta convencional e seletiva, rastreamento em tempo real dos caminhões, educação ambiental sobre separação de resíduos e canais para comunicações e denúncias de descarte irregular. O aplicativo se apresentou como uma solução estratégica para o desafio de gerenciar a coleta de resíduos. A complexidade operacional, com cronogramas e necessidades variadas para cada localidade, tornou uma ferramenta de informação centralizada e dinâmica como um aplicativo móvel (SLU DF, 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a implementação de um dispositivo digital integrado pode transformar a gestão de resíduos sólidos de Petrolina-PE, envolvendo as fragilidades na comunicação, engajamento da população e coordenação entre atores. Inspirada em experiências de outros municípios, a plataforma pode propiciar ganhos operacionais e financeiros, otimização de

rotas, estímulo à economia circular, maior adesão à coleta seletiva, educação ambiental e registro de denúncias de descarte irregular. E por fim, ao integrar gestores, cooperativas, grandes geradores e população, a solução fortalece a corresponsabilidade e a sustentabilidade na gestão municipal, servindo como modelo aplicável a contextos similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aplicativo SLU Coleta DF. Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal.July 16, 2025. https://www.slu.df.gov.br/aplicativo-slu-coleta-df

Carvalho, Bruno. *Digital design*. 2022. 1. ed. Curitiba. 126 p. ISBN 978-65-5821-140-2.

Decreto nº 110, de 30 de julho de 2025. Petrolina, Pernambuco. Diário Oficial do Município de Petrolina, Edição 4.257. 2025.

Startup fundada a partir de pesquisas na Udesc Faed cria solução para lixo zero nas cidades. UDESC.July11,2025. https://www.udesc.br/cav/noticia/startup_fundada_a_partir_de_pesquisas_na_udesc_faed_cria_solucao_para_lixo_zero_nas_cidades.

Petrolina é a 1º cidade de Pernambuco a utilizar o Sistema Digital para captação de resíduos sólidos. 2025. PGRS Digital. https://www.pgrsdigital.com.br/petrolina-e-a-1o-cidade-de-pernambuco-a-utilizar-o-sistema-digital-para-captacao-de-residuos-solidos/

Prefeitura Municipal de Petrolina. 2025. *Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS) de Petrolina*. Prefeitura Municipal de Petrolina. https://petrolina.pe.gov.br/plano-municipal-de-gerenciamento-de-residuos-solidos-pmgrs/

PwC e Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana (SELURB). 2022. *Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana – ISLU* | Edição 2022. São Paulo: PwC Brasil e SELURB. https://selur.org.br/wp-content/uploads/2022/10/ISLU-2022a.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. *Tabela SIDRA 9514: População residente, por sexo, idade e forma de declaração da idade*. https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9514.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. *Tabela SIDRA 10061: Pessoas de 18 anos ou mais de idade, por nível de instrução, segundo os grupos de idade, o sexo e a cor ou raça.* https://sidra.ibge.gov.br/tabela/10061.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. *Tabela SIDRA 9541: Moradores em domicílios particulares permanentes ocupados, por destino do lixo, segundo grupos de idade e cor ou raça*. https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9541.

Pedrosa, Taís Moraes Campos e Toutain, Lídia Brandão. *O Uso das cores como informação em interfaces digitais.* 2004. https://cinform-anteriores.ufba.br/vi_anais/docs/TaisPedrosaLidiaToutain.pdf

Guerra, Fabiana e Terce, Mirela. *Design digital: conceitos e aplicações para websites, animações, vídeos e webgames.* 2020. Ed Senac.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097462

PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA COMUNIDADES DE CARACTERÍSTICAS RURAIS COM BASE NAS OCUPAÇÕES ALTO DA CONQUISTA E MARIELLE FRANCO EM SIMÕES FILHO-BA

PROPUESTA DE TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA COMUNIDADES DE CARÁCTER RURAL BASADAS EN LAS OCUPACIONES ALTO DA CONQUISTA Y MARIELLE FRANCO EN SIMÕES FILHO-BA

PROPOSAL FOR SOLID WASTE MANAGEMENT TECHNOLOGIES FOR RURAL COMMUNITIES BASED ON THE ALTO DA CONQUISTA AND MARIELLE FRANCO SETTLEMENTS IN SIMÕES FILHO-BA

Thamiris Santos de Santana[1], Vítor Manoel Martins Barreto[2], Maria Laura Brito Reis Santos[3] e Francisco Ramon Alves do Nascimento[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, thamirisss@ufba.br, 0009-0007-0418-0511;
[2]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, vitorbarreto@ufba.br, 0009-0002-7098-129X;
[3]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, mlaura@ufba.br, 0009-0007-0583-1021;
[4]Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Caracterização de efluentes e monitoramento da eficiência do tratamento.

Eje temático 06 – Residuos sólidos
Caracterización de efluentes y monitoreo de la eficiencia del tratamiento.
.

RESUMO

Em áreas rurais, assim como em regiões de ocupação urbana, muitos desafios interferem na qualidade de vida, condições de acesso ao saneamento e outros serviços básicos, principalmente o tratamento de resíduos sólidos: materiais passíveis de aplicação tecnológica adequada às diferentes realidades. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, é possível contribuir significativamente com os danos ambientais a partir de um tratamento eficaz e planejado, no que se refere à gestão desses materiais. Dentre as possibilidades, é possível a aplicação de estratégias de gerenciamento somadas ao encaminhamento a pontos de entrega voluntária (PEVs), coleta seletiva e a mobilização de catadores, que viabilizam a implementação de tecnologias para o tratamento de resíduos como direcionamento de reciclagem, compostagem, biodigestores e redirecionamento a aterros do que não puder mais ser devidamente reaproveitado. A alta taxa de descarte de matéria orgânica, sugere uma cultura com fácil aplicação a adoção de compostagem no contexto rural e de ocupações como em Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho-BA, por ser uma estratégia

redutora do volume de resíduos destinados à disposição final, ao mesmo tempo em que gera insumos agrícolas como fertilizante orgânico, fortalecendo a agricultura de base local. O objetivo deste estudo foi identificar tecnologias de gerenciamento de resíduos com aplicação em ocupações e comunidades de características rurais. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura e indicadores do diagnóstico realizado na análise gravimétrica média nacional. Foram realizadas buscas em plataformas científicas, como o Portal Periódicos Capes, SciELO, Google Scholar e, os dados foram analisados de forma detalhada para identificar a viabilidade e métodos de aplicação de técnicas, conforme oferta de cada tipo de resíduo. Logo, essa abordagem possibilitou uma percepção geral e sensível às comunidades referidas na pesquisa. Os resultados reforçam a eficácia da implementação de tecnologias a curto e longo prazo, desde que haja investimento, conhecimento e sensibilização. Isto é, há uma relação íntima entre áreas precarizadas e demandas de recursos básicos para qualidade de vida. Assim, foi destacada a necessidade urgente de intervenções no tratamento de resíduos, sobretudo em locais marginalizados para efetivar o tratamento de resíduos com tecnologia e com qualidade.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos, Resíduos Sólidos, Tecnologias de gestão de resíduos, Políticas públicas, Ocupações, Comunidade Rural.

RESÚMEN

En las zonas rurales, al igual que en las regiones de ocupación urbana, muchos retos interfieren en la calidad de vida, las condiciones de acceso al saneamiento y otros servicios básicos, principalmente el tratamiento de residuos sólidos: materiales susceptibles de aplicación tecnológica adecuada a las diferentes realidades. Según la Política Nacional de Residuos Sólidos, es posible contribuir significativamente a la reducción del daño ambiental mediante un tratamiento eficaz y planificado en lo que respecta a la gestión de estos materiales. Entre las posibilidades, es posible aplicar estrategias de gestión sumadas al envío a puntos de entrega voluntaria (PEV), la recolección selectiva y la movilización de recolectores, que viabilizan la implementación de tecnologías para el tratamiento de residuos, como el reciclaje, el compostaje, los biodigestores y el redireccionamiento a vertederos de lo que ya no se puede reutilizar adecuadamente. La alta tasa de desecho de materia orgánica sugiere una cultura con fácil aplicación de la adopción del compostaje en el contexto rural y de ocupaciones como en Alto da Conquista y Marielle Franco en Simões Filho-BA, ya que es una estrategia que reduce el volumen de residuos destinados a la disposición final, al mismo tiempo que genera insumos agrícolas como fertilizantes orgánicos, fortaleciendo la agricultura de base local. El objetivo de este estudio fue identificar tecnologías de gestión de residuos aplicables en ocupaciones y comunidades de características rurales. La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura y los indicadores del diagnóstico realizado en el análisis gravimétrico medio nacional. Se realizaron búsquedas en plataformas científicas, como el Portal Periódicos Capes, SciELO, Google Scholar, y los datos se analizaron en detalle para identificar la viabilidad y los métodos de aplicación de las técnicas, según la oferta de cada tipo de residuo. Por lo tanto, este enfoque permitió obtener una percepción general y sensible de las comunidades mencionadas en la investigación. Los resultados refuerzan la eficacia de la implementación de tecnologías a corto y largo plazo, siempre que haya inversión, conocimiento y sensibilización. Es decir, existe una relación íntima entre las áreas precarias y las demandas de recursos básicos para la calidad de vida.

Así, se destacó la urgente necesidad de intervenciones en el tratamiento de residuos, especialmente en lugares marginados, para llevar a cabo el tratamiento de residuos con tecnología y calidad.

Palabras clave: Gestión de residuos, Residuos sólidos, Tecnologías de gestión de residuos, Políticas públicas, Ocupaciones, Comunidad rural.

ABSTRACT

In rural areas, as well as in urban areas, many challenges interfere with quality of life, access to sanitation, and other basic services, especially solid waste treatment: materials that can be treated using technology appropriate to different realities. According to the National Solid Waste Policy, it is possible to significantly reduce environmental damage through effective and planned treatment in relation to the management of these materials. Among the possibilities, it is possible to apply management strategies combined with referral to voluntary delivery points (PEVs), selective collection, and the mobilization of waste pickers, which enable the implementation of technologies for waste treatment such as recycling, composting, biodigesters, and redirection to landfills of what can no longer be properly reused. The high rate of organic waste disposal suggests a culture that is easily amenable to the adoption of composting in rural contexts and occupations such as Alto da Conquista and Marielle Franco in Simões Filho, Bahia, as it is a strategy that reduces the volume of waste destined for final disposal, while generating agricultural inputs such as organic fertilizer, strengthening local agriculture. The objective of this study was to identify waste management technologies applicable to rural occupations and communities. The methodology consisted of a systematic review of the literature and indicators from the diagnosis carried out in the national average gravimetric analysis. Searches were conducted on scientific platforms such as the Capes Periodicals Portal, SciELO, and Google Scholar, and the data were analyzed in detail to identify the feasibility and methods of application of techniques, according to the supply of each type of waste. This approach provided a general and sensitive perception of the communities referred to in the research. The results reinforce the effectiveness of implementing technologies in the short and long term, provided there is investment, knowledge, and awareness. That is, there is a close relationship between precarious areas and demands for basic resources for quality of life. Thus, the urgent need for interventions in waste treatment was highlighted, especially in marginalized areas, to implement waste treatment with technology and quality.

Keywords: Waste management, Solid waste, Waste management technologies, Public policies, Occupations, Rural community.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos representa um dos principais desafios socioambientais enfrentados por países em desenvolvimento, especialmente em regiões periféricas urbanas e localidades rurais. É verificado que os resíduos orgânicos compõem mais de 40% da massa total gerada em áreas urbanas brasileiras, discussão que pode ser ainda mais intensa em

cenários rurais ou informais (SINISA 2024). A crescente produção de resíduos domésticos adjunta à ausência de infraestrutura apropriada de gerenciamento de resíduos sólidos compromete a saúde pública e intensifica a pressão sobre o meio ambiente. Tal retrato reforça a urgência em implementar tecnologias sociais descentralizadas que priorizem compostagem, biodigestão e aproveitamento de recicláveis, alinhadas à realidade local e à justiça ambiental (OPerobal 2024).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), com base nos dados da quantidade de resíduos sólidos disposta no território brasileiro, a fração orgânica constitui a maior parcela dos resíduos sólidos domiciliares. Tal proporção é ainda mais acentuada em contextos rurais e assentamentos informais, em função de hábitos alimentares e de baixas tecnologias de reaproveitamento e encaminhamento à reciclagem (IPEA 2012). Esse cenário transparece a necessidade de soluções tecnológicas descentralizadas e de baixo custo, capazes de promover não apenas a redução dos resíduos dispostos de forma inadequada, mas também a geração de benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Esse cenário contraria as diretrizes estabelecidas na Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes para o acesso e a universalização aos serviços de coleta e tratamento de resíduos sólidos como parte integrante do saneamento (Brasil 2007). No Brasil, na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, as diretrizes aplicáveis à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos foram estabelecidas de acordo com a seguinte ordem de prioridade de ações: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, a destinação e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Sob essa ótica, a análise gravimétrica de resíduos é uma ferramenta crucial, pois tal conhecimento viabiliza o planejamento devido da gestão dos materiais, que permite a destinação ambientalmente adequada do resíduo.

Nesse sentido, urge a prioridade de soluções descentralizadas e de caráter comunitário como estratégias fundamentais para o desenvolvimento sustentável local, em ocupações e comunidades com características rurais (Brasil 2010).

Para isso, há a necessidade de adoção de soluções tecnológicas descentralizadas e de baixo custo, reduzindo a disposição inadequada de resíduos e gerando benefícios ambientais, sociais e econômicos para as comunidades atendidas. Neste contexto, ocupações urbanas e comunidades rurais têm enfrentado desafios para o gerenciamento adequado de resíduos sólidos. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar tecnologias de gerenciamento de resíduos com aplicação nas ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco, em Simões Filho-BA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi baseada em uma revisão bibliográfica com caráter descritivo exploratório, conforme descrito por Lakatos e Marconi (2003). Nesta pesquisa, três etapas metodológicas foram adotadas, que são: I - Descrição do local de estudo, II - Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos e III - Proposição de tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos.

Dessa forma, a investigação não se limitou a diagnosticar a composição dos resíduos, como também buscou propor modelos aplicáveis com gestão integrada, capazes de promoverem inclusão social, geração de renda, reaproveitamento de recursos e melhorias ambientais em comunidades vulneráveis.

I - Descrição do local de estudo

O estudo se baseou em ocupações periféricas, como em Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho-BA. O território está localizado no bairro do Parque Continental, com quase 300 famílias em luta por moradia. Os desafios enfrentados pelos moradores perpassam por questões estruturais, como acesso à serviços de saneamento urbano, educação, cultura e lazer. No que tange à questão dos resíduos, essas ocupações têm dificuldades pautadas nas logísticas de coleta e de limpeza urbana, uma vez que o sistema de coleta não possui rotas que contemplem todas as ruas do território. Contudo, as ocupações contam com catadores que realizam parte do trabalho de coleta e encaminham os materiais secos à reciclagem externamente, assim, cabe o fomento de consolidação do trabalho de coleta dentro do território das ocupações. Logo, o estudo se aplica ora para assentamentos informais ora para comunidades com características rurais, que se aproximam, quando a realidades de ambos contextos denotam relação de proximidade com ambientes naturais e traços urbanos, como a informalidade das ocupações e a precariedade dos serviços básicos. A percepção dessas interrelações permite compreender a complexidade socioespacial desses territórios híbridos e subsidiar a formulação de políticas públicas ideais às especificações de cada realidade (Carrilho e Trindade 2022).

II - Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos em comunidades rurais e ocupações urbanas com características rurais.

Conforme a definição de gerenciamento de resíduos sólidos da PNRS, as etapas de gerenciamento a serem diagnosticadas em ocupações são: coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada e disposição dos rejeitos. Para isso, dados de gerenciamento foram coletados via pesquisa documental, em documentos como o Censo Comunitário: redigido na 5ª edição da Residência em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia (RAU+E) - Especialização em Assistência Técnica, Habitação e Direito à Cidade, da UFBA, no período de agosto de 2023 a setembro de 2024 intitulado: "METODOLOGIA DAS MIUDEZAS: Assessoria Popular na construção de um Conhecimento Técnico-Político-Comunitário nas ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho/BA". Também foi utilizado como referencial teórico, o Relatório dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico SINISA, que indica um estudo gravimétrico geral do território.

III - Proposição de tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos

Com base no diagnóstico realizado, tecnologias apropriadas para o contexto das ocupações foram propostas a partir da pesquisa bibliográfica realizada nas bases de dados SciELO, Periódicos CAPES e Google Scholar. Para busca de artigos científicos, as palavras chaves utilizadas foram: "tecnologia apropriada para resíduos", "gerenciamento de resíduos sólidos", "comunidades rurais", "ocupações e resíduos". Os parâmetros de seleção se basearam na pertinência e referência ao tema e qualidade da fonte, com recorte em publicações entre 2003 e 2025 e levantamento bibliográfico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

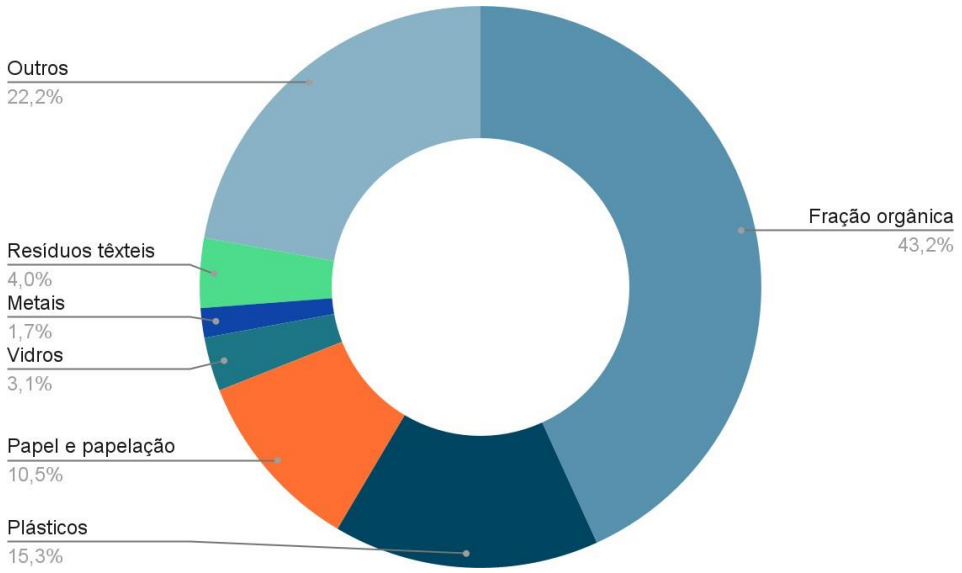
Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos

As ocupações populares analisadas apresentam condições similares às das comunidades com configurações rurais brasileiras, ainda que próximas ao ambiente urbano:

principalmente ausência de coleta regular, destinação inadequada de resíduos e ausência de lixeiras públicas para os moradores da localidade. Sendo assim, a aproximação de realidades evidencia que tecnologias sociais já aplicadas ao meio rural podem ser transferidas, com adaptações, para a realidade das periferias urbanas.

No que se refere ao tratamento de resíduos sólidos, orienta-se com a PNRS, a elaboração de um estudo gravimétrico, uma vez que se configura sobre o percentual da massa de cada componente em relação à massa total. Essa identificação embasa o adequado planejamento, e o estabelecimento de estratégias que garantam a destinação ambientalmente adequada dos resíduos. De acordo com os dados disponíveis no SINISA (2024), há um panorama geral brasileiro sobre os resíduos sólidos domiciliares, o qual ressalta que a fração orgânica (sobras de alimentos e folhagens) é a principal componente. A gravimetria nacional se deu com a média ponderada da geração total de resíduos sólidos urbanos, por faixa de renda de 484 municípios entre 2019 e 2024, considerando a população e geração per capita, de acordo com a representação gráfica abaixo (Figura 1).

Figura 1. Análise da composição gravimétrica brasileira no ano de 2024.



Fonte: SINISA (2024).

Os resultados indicam a predominância da fração orgânica, seguida por materiais recicláveis secos e rejeitos sanitários e outros resíduos não recicláveis. Neste viés, os dados fornecem subsídios para a seleção de tecnologias sociais de baixo custo, as quais possibilitem o aproveitamento de materiais, a inclusão social e a melhoria da qualidade ambiental.

Proposição de tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos

- Fração Orgânica: Compostagem e Biodigestão

Sendo predominante a fração orgânica, a implantação de compostagem comunitária e de biodigestão em pequena escala contribuem para a gestão adequada dos resíduos orgânicos. Destaca-se a compostagem, especialmente em regime comunitário, como ferramenta redutora em até 60% do volume de resíduos destinados à disposição final, ao passo que se gera

insumos agrícolas como o fertilizante orgânico, fortalecendo a agricultura de base local (Soares; Silva 2021). No contexto de comunidades periféricas urbanas, é comum a prática da população reutilizar os resíduos orgânicos para alimentação de animais, já que a produção alimentícia é atividade comum nesses ambientes, outra razão se dá, provavelmente por não terem renda suficiente para a manutenção da compra de ração animal (RAU+E 2024).

Ademais, a biodigestão, que se refere a um processo biológico natural de decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio, promove a produção de biogás (rico em metano) e biofertilizante (efluente tratado rico em nutrientes). Os biodigestores de baixo custo, normalmente feitos por lona encerada, canos de PVC, e materiais de construção comuns, já são utilizados em regiões do semiárido brasileiro. Essa técnica, além de colaborar para a aplicação adequada dos resíduos, reforça a segurança alimentar e energética em comunidades com aspectos rurais (Embrapa 2019). No contexto dessas comunidades, a adoção de biodigestores em escala comunitária ou domiciliar deve ser adaptada de acordo com a realidade, constituindo-se como alternativa viável e de baixo custo para promover a sustentabilidade socioambiental.

- Recicláveis Secos: PEVs e Inclusão de Catadores

A parcela de material seco com potencial reciclável revela a necessidade de implementação de infraestrutura simples para coleta seletiva, como Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), articulados em conjunto com os moradores sensibilizados e motivados a essa prática. Bringhenti e Günther (2021) ressaltam que a inclusão dos catadores no sistema formal de gestão de resíduos é central para viabilizar a logística reversa (retorno de valor agregado a um material) e ampliar os índices de reciclagem no Brasil, facilitando a adesão da atividade pela comunidade. Além da opção de reciclagem (reintrodução de resíduos na cadeia produtiva, transformando-os em novos produtos e diminuindo a demanda de novos recursos), há a compostagem para tratar os consideráveis resíduos orgânicos e impulsionar a formação de associação ou cooperativa local, com autonomia e geração de serviços e renda.

No contexto local, os PEVs funcionam como núcleos comunitários de recepção, reduzindo custos de transporte e fortalecendo a economia local. Isso é justificado, com o retorno de materiais recicláveis e produzidos artesanalmente, e em ambientes rurais, com disposição de recursos e matéria prima com baixo custo, com o fortalecimento local da economia e das opções de compra e venda de produtos exclusivos. Essa solução está em consonância com a PNRS, que reconhece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Brasil 2010). Por fim, os materiais de resíduos de banheiro como papel higiênico e fralda devem ser direcionados a aterros sanitários próximos às localidades, pois exige-se uma disposição final para rejeitos (Miranda; Mattos 2018).

Logo, a transmissão de conhecimento acerca de tecnologias, como compostagem, biodigestão, integração com prática de PEVs e direcionamento à reciclagem, constituem um arranjo tecnológico possível, com a implementação por parte da Prefeitura, subsidiando capacitação, infraestrutura e materiais necessários. Isso se confirma, pois para aplicação de técnicas de compostagem, há possibilidade de reúso de baldes ou galões de água; o direcionamento de materiais para coleta seletiva demanda um espaço comunitário com recipientes separados por cor; e para a biodigestão, um recipiente grande e fechado, como um barril ou caixa d'água, que possa ser vedado para criar um ambiente anaeróbico adequado. Essas tecnologias sociais de aplicação colaboram principalmente para:

1. Diminuição dos resíduos comumente destinados a lixões e aterros;
2. Geração de insumos agrícolas e energéticos;
3. Inclusão de catadores e fortalecimento da economia circular;
4. Melhoria da saúde pública e da qualidade ambiental.

Os resultados ratificam que é possível aplicar ferramentas estratégicas para orientar a escolha de tecnologias sociais de saneamento, sobretudo em zonas marginalizadas como ocupações urbanas e áreas rurais, uma vez que os desafios de acesso a serviços básicos são precários e defasados em ambas realidades. Assim, a proposição de tecnologias de aplicação, considerando a singularidade de cada espaço, contribui significativamente para o tratamento de resíduos sólidos (Quadro 1).

Quadro 1: Tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos em ocupações urbanas

Material	Tecnologia de aplicação para tratamento de resíduos	Potencialidades da proposição	Referências
Fração orgânica	Compostagem	Possível, já que o reaproveitamento orgânico é de fácil aplicação.	Soares e Silva, 2021
	Biodigestão	Depende de investimento e de conhecimento para otimização de processos a longo prazo.	Gaspar, 2003
Materiais secos	PEVs e coleta seletiva	PEVs e coleta seletiva dependem da manutenção e transporte, financiados pela administração pública.	Bringhenti e Günther, 2021
	Reciclagem	Coleta adequada e direcionamento dos materiais para locais que comercializam e realizam o processo de reciclagem.	Miranda e Mattos, 2018
Rejeitos	Aterro sanitário	Ideal para os resíduos sem retorno à cadeia produtiva.	Dagnino, 2010

Fonte: Autoria própria (2025).

Em suma, verificou-se que a fração orgânica deve ser tratada por compostagem e biodigestores, os recicláveis demandam a criação de PEVs comunitários e trabalho integrativo dos catadores. Assim, a implementação das tecnologias propostas gera ganhos ambientais, sociais e econômicos a longo prazo, em consonância com a PNRS e experiências pertinentes e registradas na literatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante o exposto, evidenciou-se que o diagnóstico gravimétrico é ideal em comunidades similares, para dar suporte à gestão dos resíduos. O perfil obtido é semelhante em comunidades rurais e assentamentos informais, uma vez que zonas rurais possuem atividades com matéria orgânica majoritariamente descartada, assim como visto nas periferias urbanas. Com base nesse cenário, verificou-se que tecnologias sociais de baixo custo, como

compostagem comunitária, biodigestores, demonstram elevado potencial de aplicação somado ao fomento de estratégias de gerenciamento como PEVs, coleta seletiva e mobilização de catadores, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Nesse prisma, a pesquisa consolidou que a proposição de tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos se apresenta com viabilidade técnica para ser alternativa de baixo custo com integração com a participação comunitária em contextos de ocupações urbanas, como Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho-BA, bem como aplicável em comunidades com características rurais.

Portanto, as alternativas identificadas apresentam potencial para reduzir a disposição inadequada de resíduos, gerar biofertilizantes, insumos agrícolas, estimular a economia circular e promover a inclusão de catadores, fortalecendo a saúde pública e a sustentabilidade local. Entretanto, a efetiva adoção das tecnologias requer engajamento social, investimentos e políticas públicas que validem também os saberes populares, assegurando apropriação comunitária e viabilidade a longo prazo. Torna-se recomendável a ampliação de estudos que avaliem a eficiência operacional dessas tecnologias em distintos contextos socioeconômicos, com base em indicadores ambientais, econômicos e sociais, além do fomento à integração entre universidade, gestão pública e sociedade civil para consolidar estratégias de saneamento mais inclusivas e replicáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os membros do PET ESA que contribuíram para a realização desse trabalho, ao FNDE/MEC pela concessão das bolsas ao grupo e ao Projeto Periferia Viva pelo trabalho realizado que subsidiou dados para a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bringhenti, Jacqueline R., e Wanda M. Risso Günther. 2011. "Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos." Engenharia Sanitária e Ambiental 16, no. 4 (dezembro): 421–30. https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000400014.

Brasil. 2007. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm.

Brasil. 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

Carrilho, João, e Jorge Trindade. 2022. "Sustainability in Peri-Urban Informal Settlements: A Review." Sustainability 14 (13): 7591. https://doi.org/10.3390/su14137591.

Dagnino, Renato, organizador. 2010. Tecnologia Social: Ferramenta para Construir Outra Sociedade. 2. ed. revista e ampliada. Campinas, SP: Komedi. ISBN 978-85-7582-564-8. Disponível em: https://cdt.unb.br/images/CEDES/2010_FERRAMENTA_TEC_SOCIAL_LIVRO.pdf

Embrapa. 2019. "Projeto Envolve Segurança Alimentar, Hídrica e Energética." Embrapa, 26 de abril de 2019. https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42915658/projeto-envolve-segura

nca-alimentar-hidrica-e-energetica.

Gaspar, Rita Maria Bedran Leme. 2003. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). 2012. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos: Relatório de Pesquisa. Brasília: Ipea. https://repositorio.ipea.gov.br/bitstreams/619b9106-70f9-4fba-b9a0-a9201364f496/download.

Lakatos, Eva Maria, e Marina de Andrade Marconi. 2003. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas.

Miranda, Nathália Mercedes, e Ubirajara Mattos. 2018. "Revisão dos modelos e metodologias de coleta seletiva no Brasil." Sociedade & Natureza 30, no. 2: 1–22. https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-1.

OPerobal. 2024. "Menos de 0,1% dos resíduos sólidos orgânicos de Londrina vão para compostagem, diz relatório inédito." OperoBal – Universidade Estadual de Londrina, julho 1, 2024. https://operobal.uel.br/pesquisas/2024/07/01/menos-de-01-dos-residuos-solidos-organicos-de-londrina-vao-para-compostagem-diz-relatorio-inedito/.

Residência em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia (RAU+E), UFBA. 2024. Censo comunitário: Metodologia das Miudezas – Assessoria Popular na construção de um Conhecimento Técnico-Político-Comunitário nas ocupações Alto da Conquista e Marielle Franco em Simões Filho/BA. Salvador: Universidade Federal da Bahia.

SINISA. 2024. Relatório SINISA – Resíduos Sólidos 2024. Brasília: Governo Federal. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_RESIDUOS_SOLIDOS_2024.pdf.

Soares, V. B., e J. A. F. da Silva. 2021. "Resíduos orgânicos no Brasil: métodos de compostagem para pequenas comunidades rurais." Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento 6, no. 6 (junho): 156–95. https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodosde-compostagem.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097479

RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: UM DIAGNÓSTICO DA DESTINAÇÃO NA PERCEPÇÃO DOS COMERCIANTES NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB

RESIDUOS ELECTROELECTRÓNICOS: UN DIAGNÓSTICO DE DESTINO EN LA PERCEPCIÓN DE LOS COMERCIANTES DEL MUNICIPIO DE POMBAL-PB

ELECTRO-ELECTRONIC WASTE: A DIAGNOSIS OF DESTINATION IN THE PERCEPTION OF TRADERS IN THE MUNICIPALITY OF POMBAL-PB

Deborah Margarida Pereira Januário[1], Thais Ribeiro Luna de Melo[2], Eryck Allan Alves Fernandes[3], Alfredina dos Santos Araújo[4].

[1]Graduação, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, deborah.margarida.januario@gmail.com, 0009-0008-5819-254X;
[2]Graduação, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, thais-luuna@hotmail.com, 0009-0004-6701-8851;
[3]Mestrando em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Gande, Pombal, Brasil, eryckallan21@gmail.com, 0000-0002-4295-430X;
[4]Doutora, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, alfredina@ccta.ufcg.edu.br, 0000-0002-9336-7308.

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Modelos de coleta, transporte e destinação adequada de resíduos sólidos em comunidades rurais.

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Modelos de recolección, transporte y disposición adecuada de residuos sólidos en comunidades rurales.

Thematic Axis 06 – Solid Waste
Models of collection, transportation and adequate disposal of solid waste in rural communities.
.

RESUMO

A Revolução Técnico-Científica e Informativa foi uma das grandes responsáveis pelo desenvolvimento e consumo de diversos equipamentos eletroeletrônicos que revolucionaram a comunicação com o mundo. Como consequência há uma geração acentuada de resíduos eletroeletrônicos com destaque para celulares, televisões, rádios, lâmpadas, eletrodomésticos, equipamentos de microinformática, pilhas e baterias entre outros produtos que faz parte do dia a dia da sociedade moderna. O consumo desordenado e a destinação inadequada desses resíduos, vem impulsionando as discussões referente as questões ambientais, pois a grande maioria dos mesmos são descartados de maneira incorreta junto aos resíduos domiciliares, sem dimensão dos graves problemas que podem ocasionar ao meio ambiente, uma vez que estes materiais possuem componentes altamente tóxicos como mercúrio, cadmio, arsênio, cobre, chumbo e alumínio. O descarte inadequado desses resíduos pode acarretar a contaminação do solo, reduzindo a sua fertilidade, polui os lençóis freáticos, afetando a saúde das pessoas e dos animais. Em áreas rurais, onde tem menor o acesso a serviço básico de saúde, saneamento e

coleta de resíduos sólidos essa problemática se intensifica, prejudicando assim a saúde da comunidade. Dessa forma, o presente trabalho objetivou compreender como a dos Resíduos Eletroeletrônicos (REE) tem sido abordada no perímetro urbano e rural do município de Pombal – PB junto aos comerciantes locais. Foram realizadas pesquisas bibliográficas em artigos científicos publicados em periódicos, anais de congresso, dissertações e livros que estruturou o conhecimento sobre o tema investigado. Posteriormente, foram realizadas entrevistas nas maiores lojas de eletroeletrônicos do município, que atendem tanto a comunidade do campo como a urbana, com o intuito de compreender como os mesmos avaliam a questão dos resíduos eletrônicos, se possuem coletores específicos para esse tipo de resíduo e qual é o destino principal desses resíduos. A partir dos dados coletados, foi possível constatar que a maioria dos empreendimentos de lojas e empresas que trabalham com eletroeletrônicos no município de Pombal – PB possuem conhecimento sobre o descarte adequado dos resíduos eletrônicos, todavia, não há sequer recebimento desses resíduos como integrantes da logística reversa por parte das empresas. Assim, o descarte inadequado dos resíduos eletrônicos predomina, contribuindo para uma série de impactos ambientais negativos.

Palavras-chave: Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, Impactos Ambientais, Logística Reversa, Saneamento básico, Políticas públicas

RESÚMEN

La Revolución Técnico-Científica e Informática fue, en gran medida, responsable del desarrollo y consumo de diversos dispositivos electrónicos que revolucionaron la comunicación global. Como resultado, se ha generado una cantidad significativa de residuos electrónicos, en particular teléfonos celulares, televisores, radios, bombillas, electrodomésticos, equipos microinformáticos, baterías y otros productos que forman parte de la vida cotidiana de la sociedad moderna. El consumo desordenado y la eliminación inadecuada de estos residuos han alimentado el debate sobre cuestiones ambientales, ya que la gran mayoría de estos residuos se eliminan incorrectamente junto con la basura doméstica, sin percatarse de los graves problemas ambientales que pueden causar, dado que estos materiales contienen componentes altamente tóxicos como mercurio, cadmio, arsénico, cobre, plomo y aluminio. La eliminación inadecuada de estos residuos puede provocar la contaminación del suelo, reduciendo su fertilidad, contaminando las aguas subterráneas y afectando la salud de las personas y los animales. En las zonas rurales, donde hay menos acceso a servicios básicos de salud, saneamiento y recolección de residuos sólidos, este problema se intensifica, perjudicando la salud de la comunidad. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo comprender cómo el problema de los residuos electrónicos (REE) ha sido abordado por las empresas locales en las áreas urbanas y rurales del municipio de Pombal, Paraíba. Se realizó una investigación bibliográfica en artículos científicos publicados en revistas, actas de congresos, disertaciones y libros, que estructuraron el conocimiento sobre el tema en investigación. Posteriormente, se realizaron entrevistas en las tiendas de electrónica más grandes del municipio, que atienden tanto a comunidades rurales como urbanas, para comprender su visión del problema de los residuos electrónicos, si cuentan con recolectores específicos para este tipo de residuos y cuál es el destino principal de estos residuos. Con base en los datos recopilados, fue posible determinar que la mayoría de las tiendas y empresas que trabajan con electrónicos en el municipio de Pombal, Paraíba, tienen conocimiento sobre la disposición adecuada de los residuos electrónicos. Sin embargo, estas empresas ni siquiera

aceptan estos residuos como parte de sus procesos de logística inversa. Por lo tanto, la disposición inadecuada de los residuos electrónicos es frecuente, lo que contribuye a una serie de impactos ambientales negativos.

Palabras clave: Equipos Eléctricos y Electrónicos, Impactos Ambientales, Logística Inversa, Saneamiento Básico, Políticas Públicas

ABSTRACT

The Technical-Scientific and Information Revolution was largely responsible for the development and consumption of various electronic devices that revolutionized global communication. As a result, there has been a significant generation of electronic waste, particularly cell phones, televisions, radios, light bulbs, appliances, microcomputer equipment, batteries, and other products that are part of everyday life in modern society. The disorderly consumption and improper disposal of this waste have fueled discussions on environmental issues, as the vast majority of this waste is improperly disposed of along with household waste, without realizing the serious environmental problems it can cause, given that these materials contain highly toxic components such as mercury, cadmium, arsenic, copper, lead, and aluminum. Improper disposal of this waste can lead to soil contamination, reducing soil fertility, polluting groundwater, and affecting the health of people and animals. In rural areas, where there is less access to basic health services, sanitation, and solid waste collection, this problem intensifies, harming the community's health. Therefore, this study aimed to understand how the issue of electronic waste (EWE) has been addressed by local businesses in the urban and rural areas of the municipality of Pombal, Paraíba. Bibliographic research was conducted on scientific articles published in journals, conference proceedings, dissertations, and books, which structured the knowledge on the topic under investigation. Subsequently, interviews were conducted in the municipality's largest electronics stores, which serve both rural and urban communities, to understand how they view the issue of electronic waste, whether they have specific collectors for this type of waste, and what the primary destination of this waste is. Based on the data collected, it was possible to determine that most stores and companies that work with electronics in the municipality of Pombal, Paraíba, are knowledgeable about proper disposal of electronic waste. However, these companies do not even accept this waste as part of their reverse logistics processes. Thus, improper disposal of electronic waste is prevalent, contributing to a series of negative environmental impacts.

Keywords: Electrical and Electronic Equipment, Environmental Impacts, Reverse Logistics, Basic Sanitation, Public Policies

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico contribuiu consideravelmente para melhoria da qualidade de vida da humanidade, contudo, o aumento desenfreado do consumo de eletrônicos trouxeram consigo efeitos colaterais, como o aumento exponencial da geração de resíduos que conduzem a degradação ambiental (Duarte *et al*., 2020). Segundo os autores, os Resíduos de

Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), também chamados de lixo eletrônico (e-lixo) e lixo tecnológico, são resíduos de equipamentos eletrônicos obsoletos como os celulares, televisões, rádios, lâmpadas, pilhas, baterias, entre outros produtos que fazem parte do dia a dia da sociedade moderna. A maior parte destes resíduos são descartados de maneira incorreta junto aos resíduos orgânicos das residências, especialmente na zona rural do município, tornando-se um grande problema para a sociedade, uma vez que, dispõe de componentes altamente tóxicos como o mercúrio que é encontrado em baterias e interruptores; cádmio e arsênio que são encontrados em cabos e placas de circuito; e chumbo encontrado em monitores e televisões.

O descarte inadequado dos resíduos eletroeletrônicos afeta diretamente a água e o solo. Ao serem expostos a mudanças do tempo e degastes natural, eles liberam substancias toxicas que contamina o solo, a água e o ar, quando descartados de maneira incorreta, o solo pode sofre com modificações em suas características físicas, como textura, cor, densidade e porosidade, ele também sofre alterações químicas, como a variação do pH, capacidades de troca de cátions, teores de matéria orgânica e marco e micronutrientes, afetando assim tanto a agricultura familiar como também a agropecuária. (Jornal da USP, 2024).

O Brasil, é um país que não possui métodos eficientes e adequados para a coleta ou tratamento dos resíduos eletrônicos, mas é considerado como o país que mais gera resíduos tecnológicos e eletrônicos na América Latina, com aproximadamente 1,5 milhão de toneladas, ficando em 7° lugar junto com a França na colocação mundial (Inovar Ambiental, 2025).

A Lei 12.305/10 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), determinou a logística reversa como ferramenta de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos e outros resíduos sólidos, cujos fabricantes, importadores, distribuidores e comercializadores precisam implantar e estruturar o sistema de logística reversa (Brasil, 2010). Contudo com a carência de fiscalização, a falta de incentivo para atividades de reciclagem de eletronicos, o alto custo para imprementação da logistica reversa fazem com que a lei em prática seja ineficaz (Silva, 2023).

Segundo o Art. 3° Inciso XVII da Lei 12.305/2010 , responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos são conjuntos de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar seu volume e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à

qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos (Brasil, 2010).

Na Paraíba, considerando os setores de políticas públicas, a preocupação com o descarte inadequado de resíduos tecnológicos fez progressos desde 28 de maio de 2010, quando o Governo da Paraíba aprovou a Lei nº 9.129/2010, que cita no artigo quinto que é responsabilidade da empresa que fabrica, realiza importação ou comercializa produtos tecnológicos e eletroeletrônicos disponibilizar pontos de coleta para receber os resíduos descartados pelos consumidores (Paraiba, 2010).

Diante desta problematica, o presente trabalho possui o objetivo de avaliar como são realizados os descartes dos resíduos eletroeletrônicos no perímetro urbano e rural do município de Pombal – PB.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa deste estudo foi a realização de uma pesquisa bibliográfica, com revisão da literatura, através de artigos científicos publicados em periódicos, anais de congresso, dissertações e livros. De acordo com Gil (2002) essa etapa proporciona um maior conhecimento sobre o tema a ser investigado e tornando-se mais explícita a construção de hipóteses.

A segunda etapa consistiu em uma pesquisa de campo, realizando entrevista nas maiores lojas de eletroeletrônico do município de Pombal – PB, com o intuito de compreender como os mesmos avaliam a questão dos resíduos eletrônicos, se possuem coletores específicos para esse tipo de resíduo e qual é o destino principal desses resíduos. Segundo Marconi e Lakatos (2017), as pesquisas de campo dividem-se em três grandes grupos: quantitativo-descritivos, exploratórios e experimentais. Dessa forma, a presente pesquisa é classificada com exploratória, uma vez que possui caráter investigativo cujo objetivo é a formulações de questões ou de um problema, com tripla finalidade: desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou modificar e clarificar conceitos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de compreender a política ambiental de lojas que comercializam eletroeletrônicos no município de Pombal – PB, foram aplicados seis questionários nas mais expressivas empresas do ramo de eletroeletrônicos. Como pode ser visualizado na Figura 1,

cem por cento das respostas obtidas através dos questionários informaram que possuíam o conhecimento adequado para os resíduos eletrônicos.

Figura 1. Possui conhecimento sobre o destino ambientalmente correto para os resíduos eletrônicos.
Fonte: Autora, 2025.

A segunda pergunta realizada foi sobre o conhecimento que a empresa na pessoa do seu gerente possui acerca da responsabilidade compartilhada. Através da Figura 2, pode-se visualizar que 63,3%das empresas responderam que possuíam o conhecimento desse instrumento, enquanto apenas 16,7 responderam que não tem conhecimento.

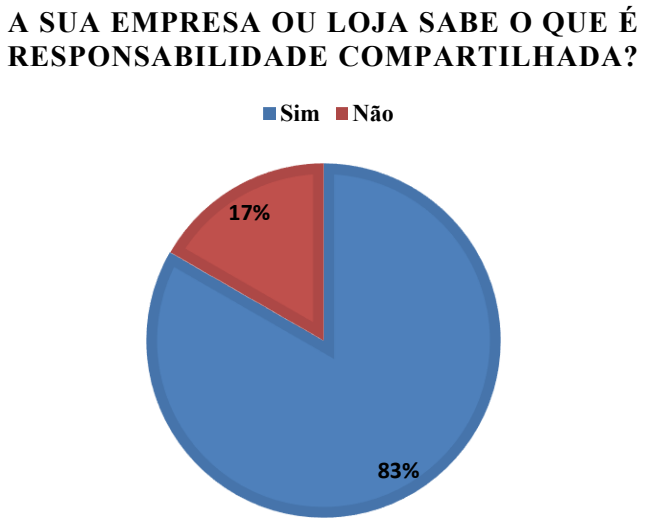


Figura 2. Conhecimento sobre Responsabilidade Compartilhada.
Fonte: Autora, 2025.

A implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, deve ser efetivada a partir de acordos setoriais de natureza contratual, firmado entre o poder público, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. Na Figura 3, foi perguntado se a empresa possuía o conhecimento sobre o termo logística reversa, 67% responderam que possuía esse conhecimento e 33% responderam que não tinha conhecimento.

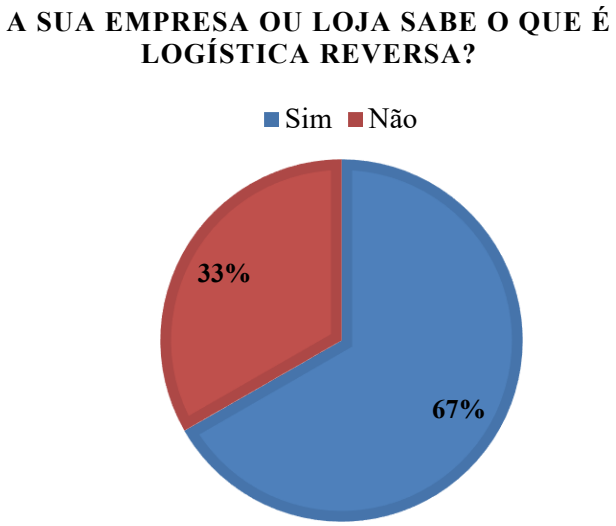


Figura 3. Conhece o que significa o termo Logística Reversa.
Fonte: Autora, 2025.

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social da PNRS, regulamentada pela Lei 12.305/2010, e mesmo após quinze anos dessa lei, muitos ainda não possuem conhecimento sobre a logística reversa. Na Figura 4, está apresentado o percentual de empresas que coleta os resíduos eletroeletrônicos após o seu uso.

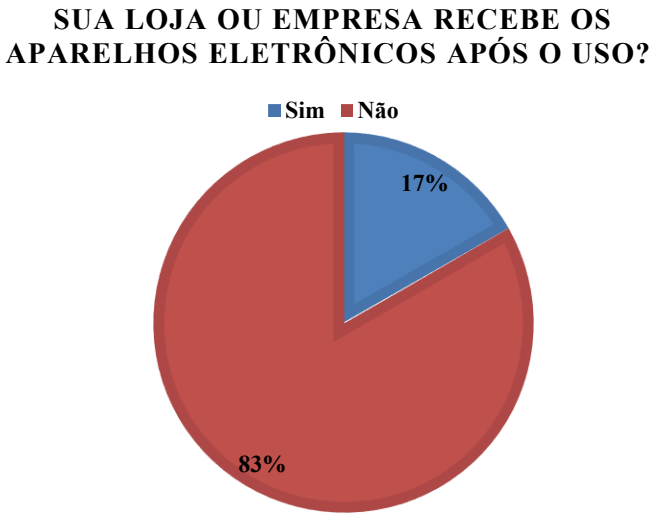


Figura 4. Porcentagem de empresas que coleta os resíduos eletroeletrônicos após o seu uso.
Fonte: Autora, 2025.

Verificamos que mesmo com o conhecimento de várias informações por parte das empresas, essas não possuem uma preocupação com a coleta e destinação ambientalmente correta dos resíduos eletroeletrônicos, causando diversos impactos ambientais a saúde da população da cidade e da população rural, aos serem dispostos em locais inadequados, como em lixões, terrenos baldios entre outros. Com essa porcentagem pode-se dizer que na cidade de Pombal grande parte desses resíduos são rejeitados junto com os resíduos domésticos, e direcionados para os lixões causando um impacto ambiental gravíssimo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dessa pesquisa, foi possível constatar que a maioria dos empreendimentos de lojas e empresas que trabalham com eletroeletrônicos no município de Pombal – PB possuem conhecimento sobre o descarte adequado dos resíduos eletrônicos, todavia, não há sequer recebimento desses resíduos como integrantes da logística reversa por parte das empresas. Assim, o descarte inadequado dos resíduos eletrônicos predomina, contribuindo para uma série de impactos ambientais negativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Casotti, A. C. Descarte inadequado de resíduos eletrônicos afeta meio ambiente e saúde da população. Jornal da USP. 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/descarte-inadequado-de-residuos-eletronicos-afeta-meio-ambiente-e-saude-da populacao/ Acessado em: 27/08/2025.

Duarte, V. B.; Dusek, P. M.; Friede, R.; Miranda, G. M.; Avelar, K. E. S. 2020. "Responsabilidade compartilhada: o papel do consumidor no descarte do lixo eletrônico." *Rev. Augustus* 25 (50) 111-129.

Gil, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. Vol. 4. São Paulo: Atlas, 2002.

Inovar Ambiental. Os riscos do descarte irregular de lixo eletrônico. Disponível em: https://inovarambiental.com.br/2019/02/12/perigo-do-descarte-irregular-de-lixo-eletronico/ Acessado em: 27/08/2025.

Marconi, M. A.; Lakatos, E. M. "*Fundamentos de metodologia cientifica*. 8 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2017.

Silva, D. C. 2023. *Percepção ambiental sobre resíduos eletrônicos na comunidade acadêmica da Universidade Federal do Maranhão/CCC.* (Monografia) - Ciências Naturais, Universidade Federal do Maranhão, Codó – MA.

PARAIBA LEGISWEB. Lei nº 9.129 de 27/05/2010. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=146164 Acessado em: 20/11/2021.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097492

RESÍDUOS SÓLIDOS NAS ROMARIAS DE JUAZEIRO DO NORTE-CE E SEUS IMPACTOS EM ÁREAS RURAIS

RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS ROMERÍAS DE JUAZEIRO DO NORTE-CE Y SUS IMPACTOS EN ÁREAS RURALES

SOLID WASTE IN THE PILGRIMAGES OF JUAZEIRO DO NORTE-CE AND THEIR IMPACTS ON RURAL AREAS

Cícera Vanessa Lins Ferreira [1], Luis Claudio Santos de Santana [2], Ronizia Ramalho Almeida[3] e Mira Raya Paula de Lima [4].

[1] Mestranda em Meio Ambiente,IFCE-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Juazeiro do Norte-Ceará, Brasil. Bolsista Funcap-Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, vanessa.cicera07@aluno.ifce.edu.br, https://orcid.org/0009-0003-2329-0848;
[2] Mestrando em Meio Ambiente, IFCE-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Juazeiro do Norte-Ceará, Brasil, luissantospedf@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-8818-0500;
[3] Mestranda em Meio Ambiente, IFCE-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Juazeiro do Norte-Ceará, Brasil, ronizia.ramalho.almeida99@aluno.ifce.edu.br, https://orcid.org/0009-0000-4011-7607;
[4] Doutora em Química Biológica pela URCA- Universidade Regional do Cariri e professora no IFCE-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Juazeiro do Norte-Ceará, Brasil, mira.raya@ifce.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-1736-7488;

Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos
Reduzir, Reciclar e Reutilizar.

Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Reducir, Reciclar y Reutilizar.

RESUMO

As romarias que ocorrem em Juazeiro do Norte-CE são conhecidas no Brasil por sua identidade de fé, religiosidade e cultura. As romarias atraem milhares de pessoas anualmente devido a devoção ao Padre Cícero Romão Batista e seu contexto religioso influente sobre o município. Esse aumento gradativo do número de pessoas pode ocasionar impactos ambientais relevantes, principalmente no que concerne ao manuseio e geração de resíduos sólidos. O presente estudo tem como objetivo compreender como os resíduos sólidos ocasionados pelas romarias de Juazeiro do Norte podem impactar em áreas rurais. Outro ponto importante que deve ser mencionado é a análise das possíveis ações utilizadas para reduzir, reciclar e reutilizar os resíduos sólidos gerados no município. O estudo voltado à aplicação dos questionários foi realizado nos dias 17 a 19 de Julho de 2025 durante a Romaria em Memória da Morte do Padre Cícero, que finalizou em 20 de Julho de 2025; E nos dias 10 a 12 de Setembro de 2025, durante a Romaria de Nossa Senhora das Dores, que finalizou em 15 de Setembro de 2025. A metodologia da pesquisa incluiu levantamento bibliográfico e documental, aplicação de questionários ao público local e visitante de Juazeiro do Norte (homens e mulheres, acima de 18 anos). Foi realizada a análise dos dados coletados e nos resultados preliminares do estudo apontam que há desafios a serem enfrentados voltados a políticas públicas de coleta seletiva.

Portanto, a discussão ressalta, sobre a necessidade de políticas públicas mais direcionadas e eficazes para gestão integrada de resíduos sólidos, considerando as práticas voltadas à educação ambiental, sustentabilidade, parcerias com moradores, visitantes, autoridades locais, instituições governamentais, catadores, acerca da implantação de sistemas eficientes de coleta seletiva fazendo jus à sustentabilidade em seus três pilares (social, econômico e ambiental) estes que devem se fazer presente nas Romarias de Juazeiro do Norte-CE.

Palavras-chave: Romarias, Meio Ambiente, Resíduos Sólidos

RESÚMEN

Las romerías que tienen lugar en Juazeiro do Norte-CE son conocidas en Brasil por su identidad de fe, religiosidad y cultura. Estas celebraciones atraen a miles de personas anualmente debido a la devoción al Padre Cícero Romão Batista y a su contexto religioso influyente en el municipio. Este aumento gradual en el número de participantes puede generar impactos ambientales relevantes, principalmente en lo que respecta al manejo y la generación de residuos sólidos. El presente estudio tiene como objetivo comprender cómo los residuos sólidos ocasionados por las romerías de Juazeiro do Norte pueden impactar en las zonas rurales. Otro punto importante que debe mencionarse es el análisis de las posibles acciones empleadas para reducir, reciclar y reutilizar los residuos sólidos generados en el municipio. El estudio, orientado a la aplicación de cuestionarios, se llevó a cabo del 17 al 19 de julio de 2025 durante la Romería en Memoria de la Muerte del Padre Cícero, que finalizó el 20 de julio de 2025; y del 10 al 12 de septiembre de 2025, durante la Romería de Nuestra Señora de los Dolores, que concluyó el 15 de septiembre de 2025. La metodología de la investigación incluyó revisión bibliográfica y documental, aplicación de cuestionarios al público local y a los visitantes de Juazeiro do Norte (hombres y mujeres mayores de 18 años). Se realizó el análisis de los datos recopilados y los resultados preliminares del estudio indican que existen desafíos relacionados con las políticas públicas de recolección selectiva. Por lo tanto, la discusión resalta la necesidad de políticas públicas más específicas y eficaces para la gestión integrada de residuos sólidos, considerando las prácticas orientadas a la educación ambiental, la sostenibilidad y las asociaciones con residentes, visitantes, autoridades locales, instituciones gubernamentales y recicladores, en torno a la implementación de sistemas eficientes de recolección selectiva que promuevan la sostenibilidad en sus tres pilares: social, económico y ambiental, los cuales deben estar presentes en las romerías de Juazeiro do Norte-CE.

Palabras clave: Romerías, Medio Ambiente, Residuos Sólidos

ABSTRACT

The pilgrimages that take place in Juazeiro do Norte-CE are known throughout Brazil for their identity of faith, religiosity, and culture. These events attract thousands of people annually due to the devotion to Father Cícero Romão Batista and his influential religious context within the municipality. This gradual increase in the number of participants can cause significant environmental impacts, particularly concerning the handling and generation of solid waste. The present study aims to understand how the solid waste produced during the pilgrimages of Juazeiro do Norte can affect rural areas. Another important point to highlight is the analysis of possible actions implemented to reduce, recycle and reuse the solid waste generated in the

municipality. The research focused on the application of questionnaires conducted from July 17 to 19, 2025, during the Pilgrimage in Memory of the Death of Father Cícero, which concluded on July 20, 2025; and from September 10 to 12, 2025, during the Pilgrimage of Our Lady of Sorrows, which ended on September 15, 2025. The research methodology included bibliographic and documentary review, as well as the application of questionnaires to both local residents and visitors of Juazeiro do Norte (men and women over 18 years old). Data analysis was performed, and the preliminary results indicate challenges related to public policies on selective waste collection. Therefore, the discussion emphasizes the need for more targeted and effective public policies for integrated solid waste management, considering practices aimed at environmental education, sustainability, and partnerships with residents, visitors, local authorities, governmental institutions, and waste pickers, regarding the implementation of efficient selective collection systems that promote sustainability in its three pillars (social, economic and environmenta) which should be present during the pilgrimages of Juazeiro do Norte-CE.

Keywords: Pilgrimages, Environment, Solid Waste

INTRODUÇÃO

Juazeiro do Norte é um município da região Nordeste do Brasil, localizado no estado do Ceará e possui em torno de 286.120 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.IBGE 2022). Segundo Braga (2007) a devoção ao Padre Cícero torna a cidade de Juazeiro do Norte uma referência religiosa através das romarias que ocorrem anualmente. Neste sentido, Juazeiro do Norte acaba atraindo milhares de visitantes (Ceará. Governo do Estado do Ceará 2023).

Ante o exposto, o aumento gradativo de pessoas em decorrência ao fenômeno da romaria apresenta características importantes, dentre elas a geração de resíduos sólidos (Pereira 2005). De acordo com esta informação, deve-se ressaltar que é imprescindível que a gestão de resíduos sólidos seja realizada de forma adequada, pois se esta for feita de forma incorreta pode ocasionar a poluição do meio ambiente, incluindo o ar, o solo e a água, fatores inerentes à saúde pública (Pereira and Curi 2013).

Neste sentido, foi realizado um estudo no município de Juazeiro do Norte-CE, com os objetivos de compreender como os resíduos sólidos ocasionados pelas romarias de Juazeiro do Norte podem impactar em áreas rurais, e analisar as possíveis ações utilizadas para reduzir, reciclar e reutilizar os resíduos sólidos gerados no município.

O estudo teve início em Julho de 2025 e Setembro de 2025, meses que ocorreram duas, das principais romarias do município, sendo a Romaria em Memória da Morte do Padre Cícero

e a Romaria de Nossa Senhora das Dores, a pesquisa foi realizada junto ao público local e visitante de Juazeiro do Norte, abordando pontos voltados a resíduos sólidos, fatores ambientais, entre outros tópicos relevantes, destacando a importância socioambiental da pesquisa para a área temática, da qual, se encontra inserida, em prol do desenvolvimento sustentável da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico de autores e obras relevantes ao tema, através das bases de dados da Scielo, Google Acadêmico, Periódicos da Capes, entre outros sites confiáveis, com a utilização dos descritores: "romarias", "resíduos sólidos" e "meio ambiente", e de levantamentos documentais. Esta busca possibilitou a localização de arquivos que contribuíram para a realização da pesquisa, e auxiliando na identificação de possíveis ações utilizadas para reduzir, reciclar e reutilizar os resíduos sólidos gerados no município, minimizando desta forma os impactos ambientalmente negativos em áreas rurais.

Outro método utilizado foi a aplicação de questionários (todos acompanhados do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido-TCLE) ao público local e visitante de Juazeiro do Norte (homens e mulheres, acima de 18 anos), correspondendo a um total de 60 entrevistados, sendo distribuídos em duas das principais romarias do município, conforme se encontram demonstrados na tabela 1.

Os questionários em questão, abordaram temas voltados a sustentabilidade, no que concerne a resíduos sólidos, impactos ambientais, entre outros. Para aplicação dos mesmos, precisou-se da avaliação do Comitê de Ética, mediante aprovação, os mesmos puderam ser aplicados respeitando e prestando assistência a todos os participantes.

Tabela 1. População entrevistada nas romarias, 2025

Romarias	Mês que ocorreu a Romaria	Quantitativo de pessoas entrevistadas (local e visitantes)
Memória da Morte do Padre Cícero	Julho de 2025	30
Nossa Senhora das Dores	Setembro de 2025	30

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A área de estudo escolhida é composta por cinco bairros da cidade de Juazeiro do Norte (Horto, Salgadinho, Franciscanos, Socorro, Centro) como podem ser visualizados na figura 1.

A definição dos bairros em questão ocorreu devido estes serem uns dos bairros que possuem maior circulação de pessoas durante as romarias, outro motivo seria que os mesmos em suas redondezas possuem alguns sítios que compõem a Zona Rural do município, como por exemplo: Sítio Leite, Sítio Popôs, Sítio Chã, Sítio Catolé do Horto, Sítio Logradouro, Sítio Vila Santo Antônio,Várzea do Umari, entre outros.

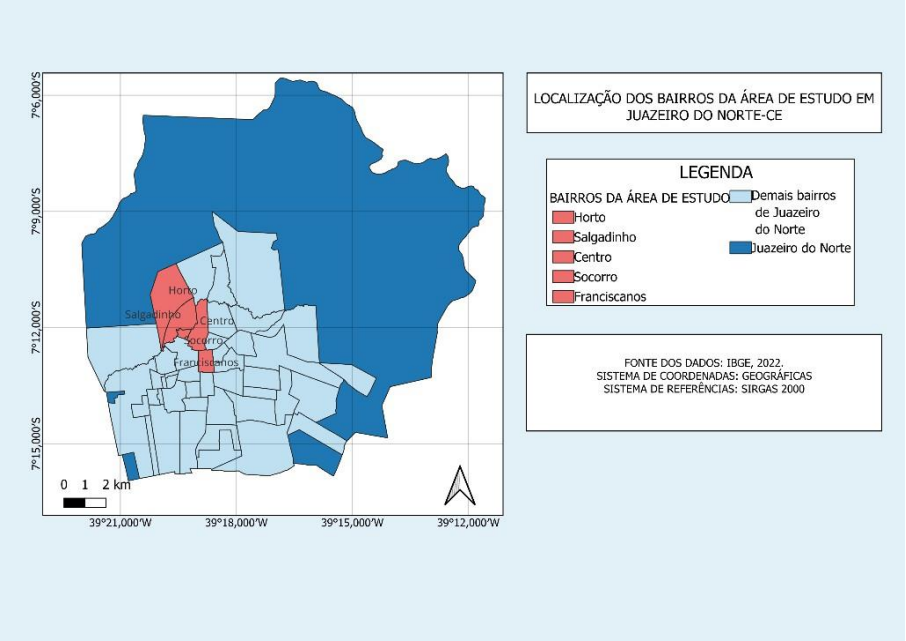


Figura 1. Mapa de localização dos bairros da área de estudo de Juazeiro do Norte-CE
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Para além das questões apontadas, ressalta-se que o estudo se encontra em fase de desenvolvimento, razão pela qual, reconhece-se que até o presente momento, não há registros conclusivos sobre os impactos ambientais específicos e o descarte inadequado de resíduos sólidos nas áreas rurais, bem como, todas as ações sustentáveis realizadas. Contudo, alguns resultados preliminares obtidos, e que se encontram neste trabalho, contribuíram para a construção e o delineamento do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise dos dados coletados por meio dos questionários pode-se identificar que a maioria dos participantes da pesquisa utilizaram o meio de transporte coletivo (ônibus) para chegarem nas romarias, conforme figura 2.

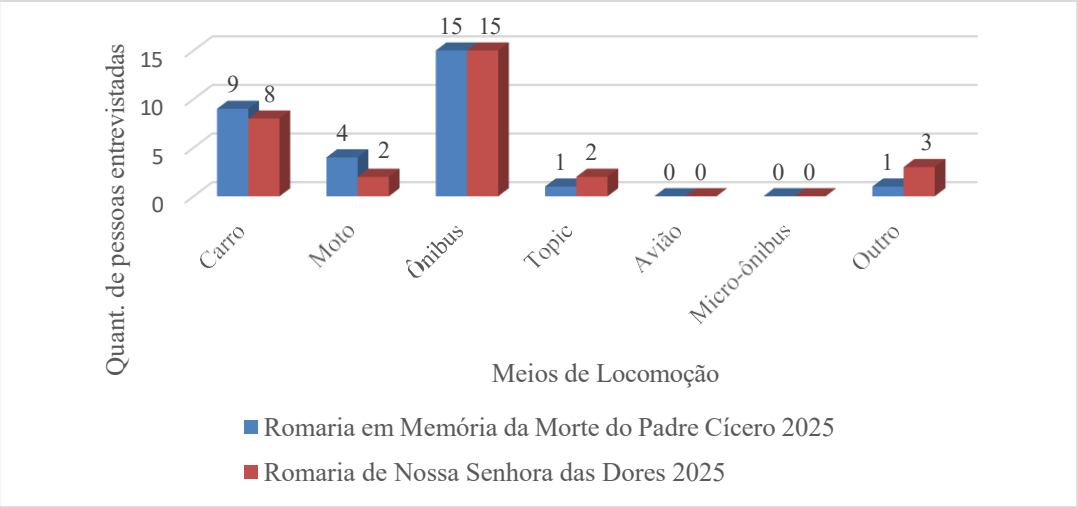


Figura 2. Meios de Locomoção mais utilizados para chegar nas romarias
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Neste viés, o uso do transporte coletivo geralmente foi utilizado pelas pessoas que vinham de outros estados, como foi o caso dos participantes de Alagoas e Pernambuco, que se deslocaram das suas cidades até chegarem em Juazeiro do Norte. Esse cenário pode abordar também áreas rurais situadas nas rotas de acesso, ou em localidades periféricas onde alguns desses ônibus podem estacionar. Neste sentido, deslocando o impacto ambiental para além das áreas urbanizadas, a chegada de romeiros em ônibus pode propiciar um maior consumo de bebidas, alimentos e embalagens descartáveis, e em pontos de parada ao longo das estradas e comunidades rurais vizinhas realizam seus descartes.

Além, desdes fatores apontados, vale mencionar a questão da pegada de carbono que está vinculada a esses deslocamentos. O uso do transporte coletivo (ônibus), principalmente quando utilizado para mobilidade em longas distâncias, acaba contribuindo consideravelmente para a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEEs), como o CO2, pois o principal meio de combustíveis desses transportes, são combustíveis fósseis, como o Diesel, por exemplo. Essa circunstância pode acarretar em mudanças climáticas significativas. No entanto, o uso do transporte coletivo acaba sendo ainda mais eficiente comparado ao uso do transporte individual, isto é, levando em consideração o quantitativo de pessoas transportadas em relação ao tipo de combustível utilizado (C.Yaman 2024; Qinlei Jing et.al 2022).

Outra questão voltada aos participantes, foi de como eles realizaram o descarte de resíduos sólidos(papel, metal, plástico, vidro) durante as romarias, a maioria respondeu que utilizou na maioria das vezes o lixeiro comum, conforme representado pela figura 3.

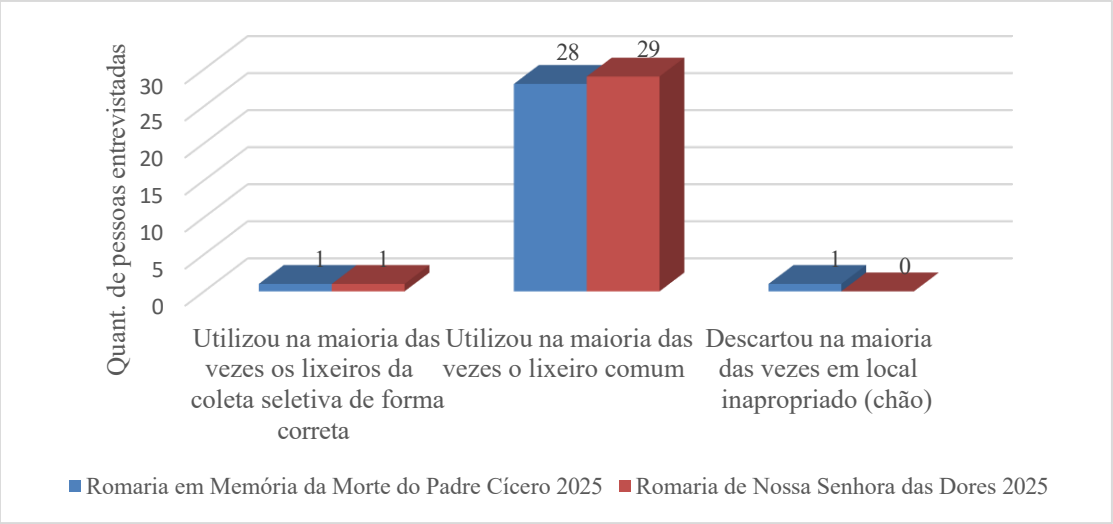


Figura 3. Como foi realizado o descarte de materiais consumidos durante a romaria.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Sabe-se que de acordo com a Lei N° 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os processos de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos contribuem para minimizar os impactos ambientalmente negativos (Brasil 2010). E conforme lecionam Pereira e Curi (2013), o inadequado descarte de resíduos pode acarretar a contaminação do solo, da água, do ar. Estes fatores não se restringem somente a população das áreas urbanas, mas incluem também as populações das áreas rurais.

Como pode-se observar na figura 3. a maioria das pessoas descartaram os resíduos em lixeiro comum, o que por diante dificulta o processo de separação e reciclagem dos mesmos. A forma como as pessoas descartaram os resíduos sólidos podem estar ligados a fatores como infraestrutura do local, isto é, será se naquele bairro específico foi ofertado lixeiro da coleta seletiva, como por exemplo, no bairro Horto, especificamente na Colina do Horto, onde se encontra a estátua do Padre Cícero, da qual tem como gestão os Salesianos, são ofertados tanto lixeiros comuns como lixeiro da coleta seletiva. Já na Praça Padre Cícero, que se encontra no centro do município, foram identificados apenas lixeiros comuns.

Contudo, segundo dados documentais levantados diretamente da Autarquia Municipal de Meio Ambiente de Juazeiro do Norte- CE -AMAJU, o município de Juazeiro do Norte realiza ações sustentáveis no que concerne a coleta de resíduos recicláveis em épocas de romaria, através das contribuições significativas das Associações de Catadores que compõem a cidade atendendo a demanda de alguns bairros.

Diante do exposto esta atividade não só impacta à zona urbana como também à zona rural, nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais, por meio da redução de materiais destinados ao aterro controlado através da reutilização e reciclagem de resíduos. Este último, é o procedimento mais adotado pelas Associações de Catadores.

No bairro Horto onde está localizado a estátua do Padre Cícero, embora apresente pontos característicos de uma zona rural, como vegetação, recursos hídricos, qualidade do solo e do ar, o local não é tido como zona rural, mas sim considerado uma Área de Proteção Ambiental-APA desde de 2022. A APA requer uma série de cuidados, assim como, os sítios da zona rural, dentre eles a preservação da fauna e da flora. Milhares de pessoas visitam o município de Juazeiro, e o Horto do Padre Cícero é um dos principais pontos turísticos. A Área de Proteção Ambiental, Horto do Padre Cícero, é assegurada pelo Decreto Estadual de

N°34.608 de 29 de março de 2022 (Ceará. Governo do Estado do Ceará 2022).

Durante a aplicação dos questionários, pode-se observar o cuidado por parte da população e dos visitantes, referente ao descarte de resíduos sólidos no Horto do Padre Cícero. Uma das características que chamam atenção é que por mais que os descartes de materiais fossem realizados em sua maioria em lixeiros comuns, o local também oferta lixeiros da coleta seletiva, o ambiente é sempre limpo e organizado. Nos outros bairros da área de estudo também teve essa preocupação, do descarte de resíduos sólidos em lixeiros, por parte dos visitantes e moradores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, de acordo com os resultados apresentados conclui-se que a gestão de resíduos sólidos durante as romarias de Juazeiro do Norte-CE apresenta desafios, dentre eles à educação ambiental e políticas públicas municipais voltadas à coleta seletiva. A coleta seletiva proporciona melhorias nos três pilares da sustentabilidade: No econômico (gerando fonte de renda); no social (valorização das comunidades que a aderem) e no ambiental (reduzindo, reutilizando e reciclando em prol da preservação ambiental e pensando nas gerações futuras). Com a implantação de mais políticas públicas voltadas à coleta seletiva tanto a zona urbana ganha, assim como as áreas rurais também.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-*Campus* Juazeiro do Norte ; À Funcap pelo apoio à realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braga, Antônio Mendes da Costa. 2007. “Padre Cícero: Sociologia de Um Padre: Antropologia de Um Santo.” Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Antropologia social. https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10795.

Brasil. 2010. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

Ceará. Governo do Estado do Ceará. 2023. “Juazeiro Do Norte Deve Receber Cerca de 150 Mil Fiéis Na Semana Santa.” Preprint, ASCOM SETUR. https://www.ceara.gov.br/2023/03/30/juazeiro-do-norte-deve-receber-cerca-de-150-mil-fieis-na-semana-santa/.

Ceará. Governo do Estado do Ceará. 2022. DECRETO No34.608, de 29 de Março de 2022. Dispõe Sobre a Criação Da Unidade de Conservação Estadual De Uso Sustentável Da Categoria de Área De Proteção Ambiental (APA) Denominada Horto Do Padre Cícero No Município de Juazeiro Do Norte e Dá Outras Providências. Sema. https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2023/01/Decreto-Estadual-no-34.608-Criacao-UC-APA-Padre-Cicero.pdf.pdf.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.IBGE. 2022. “Cidades e Estados: Juazeiro Do Norte.” https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/juazeiro-do-norte.html.

Pereira, Cieusa Maria Calou e. 2005. “Análise Da Problemática Do Lixo Nas Romarias Em Juazeiro Do Norte-Ce.” Tese, UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ-UFC. Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16461/1/2005_dis_cmcpereira.pdf.

Pereira, Suellen Silva, and Rosires Catão Curi. 2013. “Modelos de Gestão Integrada Dos Resíduos Sólidos Urbanos: A Importância Dos Catadores de Materiais Recicláveis No Processo de Gestão Ambiental.” In *Gestão Sustentável Dos Recursos Naturais: Uma Abordagem Participativa*, edited by Waleska Silveira Lira and Gesinaldo Ataíde Cândido. no. Campina Grande: EDUEPB,. EDUEPB. http://biblioteca.unisced.edu.mz/handle/123456789/1433.

Jing, Qinlei, Liu, Hanzhen, Yu, Weiqing, and He, Xu. 2022. "The Impact of Public Transportation on Carbon EmissionsFrom the Perspective of Energy Consumption". Multidisciplinary Digital Publishing Institute. https://doi.org/10.3390/su14106248

Yaman, C.. 2024. "A Review on the Process of Greenhouse Gas Inventory Preparation and Proposed Mitigation Measures for Reducing Carbon Footprint". Gases. https://doi.org/10.3390/gases4010002

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097539

TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM COMBUSTÍVEIS VIA PIRÓLISE: POTENCIAL AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO

Valdoester leandro Duarte Filho[1]
[1]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE Campus Juazeiro do Norte

RESUMO

O presente trabalho investiga o potencial da pirólise como tecnologia para a transformação de resíduos plásticos em combustíveis líquidos, gasosos e sólidos, analisando seus impactos ambientais, sociais e econômicos. A crescente geração de resíduos plásticos, associada às dificuldades de reciclagem mecânica e à poluição ambiental, exige soluções inovadoras e sustentáveis. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e análise crítica de estudos recentes, com foco em técnicas de pirólise aplicadas a diferentes tipos de plásticos, condições de operação, uso de catalisadores e eficiência energética dos processos. Os resultados apontam que a pirólise apresenta elevado potencial para reduzir o volume de resíduos plásticos, diminuir a dependência de combustíveis fósseis convencionais e gerar produtos com valor energético significativo, como óleo pirolítico e gás combustível. Além disso, destaca-se a possibilidade de aplicação em escala descentralizada com reatores modulares, favorecendo comunidades e municípios do semiárido brasileiro. Do ponto de vista social e econômico, a tecnologia pode gerar emprego, renda e inclusão social, além de contribuir para a economia circular. Contudo, desafios relacionados ao custo de implementação, à eficiência dos reatores e ao controle de emissões ainda precisam ser superados. Conclui-se que a pirólise é uma alternativa promissora e viável para o gerenciamento sustentável de resíduos plásticos, desde que acompanhada de políticas públicas, incentivo à pesquisa e investimentos em tecnologias acessíveis.

Palavras-chave: Pirólise, Resíduos plásticos, Combustíveis alternativos, Economia circular, Sustentabilidade

ABSTRACT

This study investigates the potential of pyrolysis as a technology for transforming plastic waste into liquid, gaseous, and solid fuels, analyzing its environmental, social, and economic impacts.

The increasing generation of plastic waste, combined with the limitations of mechanical recycling and environmental pollution, requires innovative and sustainable solutions. The research was based on bibliographic review and critical analysis of recent studies, focusing on pyrolysis techniques applied to different types of plastics, operating conditions, catalysts, and energy efficiency. Results indicate that pyrolysis has high potential to reduce plastic waste volume, decrease dependence on conventional fossil fuels, and generate valuable energy products such as pyrolytic oil and gas. The possibility of decentralized application with modular reactors, especially in semi-arid regions of Brazil, is highlighted. From a social and economic perspective, the technology can create jobs, income, and social inclusion, while contributing to the circular economy. However, challenges related to implementation costs, reactor efficiency, and emission control must be addressed. In conclusion, pyrolysis represents a promising and feasible alternative for the sustainable management of plastic waste, provided it is supported by public policies, research incentives, and investments in accessible technologies.
Keywords: Pyrolysis, Plastic waste, Alternative fuels, Circular economy, Sustainability

RESUMEN

Este trabajo investiga el potencial de la pirólisis como tecnología para la transformación de residuos plásticos en combustibles líquidos, gaseosos y sólidos, analizando sus impactos ambientales, sociales y económicos. El creciente volumen de residuos plásticos, asociado a las limitaciones del reciclaje mecánico y la contaminación ambiental, exige soluciones innovadoras y sostenibles. La investigación se desarrolló mediante revisión bibliográfica y análisis crítico de estudios recientes, con énfasis en técnicas de pirólisis aplicadas a diferentes tipos de plásticos, condiciones de operación, uso de catalizadores y eficiencia energética. Los resultados muestran que la pirólisis tiene un alto potencial para reducir el volumen de plásticos, disminuir la dependencia de combustibles fósiles convencionales y generar productos de valor energético, como el aceite pirolítico y el gas combustible. También se destaca la posibilidad de aplicación descentralizada con reactores modulares, especialmente en comunidades del semiárido brasileño. Desde el punto de vista social y económico, la tecnología puede generar empleo, ingresos e inclusión social, además de contribuir a la economía circular. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con los costos de implementación, la eficiencia de los reactores y el control de emisiones. En conclusión, la pirólisis constituye una alternativa prometedora y viable para la gestión sostenible de residuos plásticos, siempre que esté acompañada de políticas públicas, incentivos a la investigación e inversiones en tecnologías accesibles.
Palabras clave: Pirólisis, Residuos plásticos, Combustibles alternativos, Economía circular, Sostenibilidad

INTRODUÇÃO

A crise global dos plásticos configura-se como um dos maiores desafios ambientais do século XXI, com implicações profundas para ecossistemas, saúde pública e economia. Dados recentes revelam que mais de 380 milhões de toneladas de plásticos são produzidas anualmente em todo o mundo, das quais apenas 9% são efetivamente recicladas, enquanto aproximadamente 79% têm como destino final aterros sanitários ou o ambiente natural. No contexto brasileiro, a situação é particularmente alarmante: o país gera aproximadamente 11,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos por ano, com uma taxa de reciclagem que não ultrapassa 4%, significativamente abaixo da média global. Estes materiais, que podem levar de 100 a 600 anos para se decompor completamente, acumulam-se em aterros, contaminam oceanos - onde formam verdadeiras ilhas de luto - e fragmentam-se em microplásticos que ingressam na cadeia alimentar, representando riscos ecotoxicológicos ainda não completamente dimensionados. A reciclagem mecânica convencional, embora importante, apresenta limitações intrínsecas, sendo eficaz apenas para plásticos limpos, separados por tipo e não degradados, o que representa uma fração minoritária dos resíduos gerados.

Neste cenário desafiador, as tecnologias de conversão termoquímica emergem como alternativas promissoras para o tratamento de resíduos plásticos mistos, contaminados ou degradados, que normalmente seriam destinados a aterros sanitários. Dentre estas tecnologias, a pirólise - processo de decomposição térmica na ausência de oxigênio - destaca-se pela capacidade de transformar resíduos plásticos em combustíveis líquidos, gasosos e sólidos de alto valor agregado, simultaneamente reduzindo o volume de resíduos em até 90% e recuperando parte significativa da energia incorporada nestes materiais durante sua produção.

Este trabalho, denominado **TERPLAST - Tecnologias Emergentes para Recuperação de Plásticos em Alternativas Sustentáveis Termoquímicas**, propõe o desenvolvimento e avaliação de um sistema experimental para conversão termoquímica de resíduos plásticos em combustíveis, com foco especial na realidade brasileira. A abordagem adotada considera não apenas aspectos técnicos dos processos de pirólise, gaseificação, hidrogenação e despolimerização, mas também suas dimensões ambientais, econômicas e sociais, particularmente no que concerne à potencial aplicação em cooperativas de catadores e comunidades de baixa renda.

Através do projeto, construção e caracterização de um reator modular de pequena escala, busca-se contribuir para o avanço do conhecimento científico nesta área estratégica, ao mesmo tempo em que se desenvolve uma solução tecnológica com potencial impacto real na gestão de resíduos plásticos e na geração descentralizada de energia no Brasil, alinhando-se com os princípios da economia circular e com os objetivos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

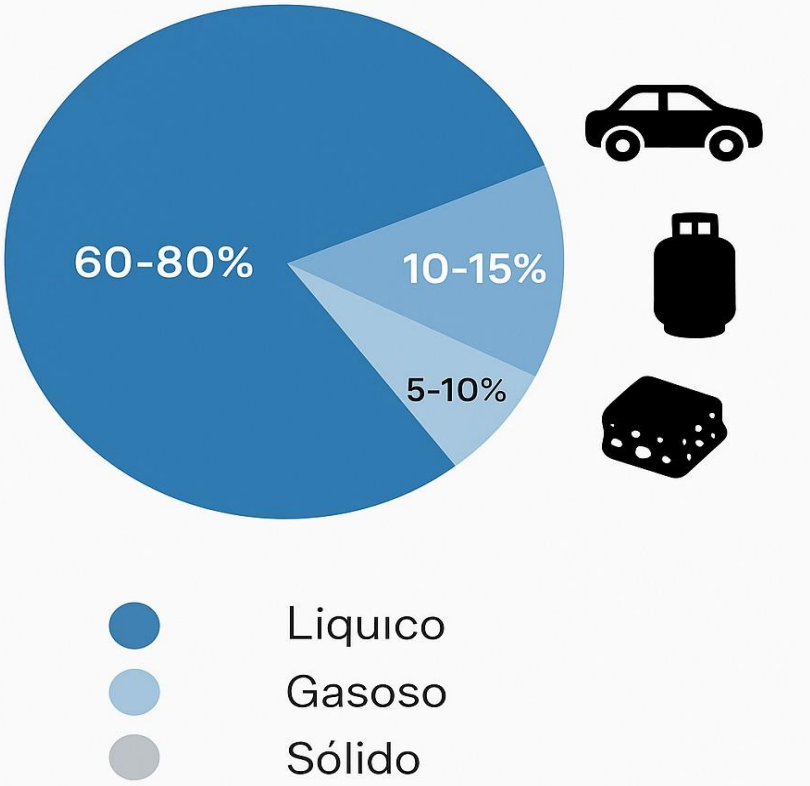
A fundamentação teórica foi construída a partir de uma revisão bibliográfica sistemática de artigos científicos, patentes e relatórios técnicos publicados entre 2015 e 2024, em bases especializadas em engenharia química e gestão de resíduos. Foram priorizados estudos seminais e revisões recentes, destacando-se Sharuddin et al. (2016; 2018), que abordam a pirólise e a recuperação energética de plásticos; Miandad et al. (2016), com ênfase na pirólise catalítica; além de relatórios de mercado atualizados, como o da Data Bridge Market Research (2023).

Para o dimensionamento do sistema, caracterizaram-se os principais tipos de plásticos pós-consumo (PE, PP, PS, PET, PVC) quanto às suas propriedades físico-químicas e rendimentos esperados em processos termoquímicos. O projeto do reator modular considerou parâmetros operacionais críticos — temperatura (400–600 °C para pirólise), tempo de residência (20–60 minutos), pressão atmosférica e uso de catalisadores de baixo custo (zeólitas naturais, argilas modificadas). A definição desses parâmetros foi fundamentada em análise crítica da literatura, visando otimizar o rendimento em óleo pirolítico sem comprometer a viabilidade econômica e operacional em pequena escala.”

A concepção do sistema integrou quatro subsistemas principais: reator de leito fixo, condensação multiestágio, tratamento de gases e controle automatizado, com especificações técnicas detalhadas para materiais construtivos (aço inox AISI 316/310), capacidades (1-5 kg/h) e sistemas de segurança.

A análise de viabilidade técnico-econômico-ambiental considerou diferentes contextos de aplicação, desde cooperativas de catadores até pequenas indústrias, utilizando metodologias de cálculo de custos, payback e avaliação de ciclo de vida simplificada.

Figura 1. Uso potencial do combustível depois de tratado



Propriedades	Pooduts
Poder calorifico	42–45 MJ/kg
Densidade	0,75–0,85 g/cm^3
Viscosidade	2–5 cSt
Número de cetano	40–55
Teor de enxofre	<0,1%

Fonte: Autor (2025).

CONFORMIDADE COM ESPECIFICAÇÕES DA ANP

A caracterização dos combustíveis derivados da pirólise indicou que o óleo produzido não atende integralmente às especificações atuais da ANP para diesel comercial, principalmente em relação ao teor de enxofre, que se mostrou superior aos limites estabelecidos. Para adequação aos padrões regulatórios, torna-se necessária a implementação de etapas de refino adicional e tratamentos específicos de dessulfurização, visando alcançar teores inferiores a 0,001% (S10) ou 0,05% (S500), conforme a categoria de diesel almejada. Esta adaptação é fundamental para viabilizar a comercialização formal do combustível, embora aplicações internas em processos industriais ou em maquinário de uso restrito possam ser consideradas como alternativa imediata, desde que observadas as devidas precauções técnicas e ambientais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a pirólise catalítica de poliolefinas (PE e PP) alcança conversões de 75-85% em óleo pirolítico, com poder calorífico superior (42-45 MJ/kg) comparável aos combustíveis fósseis. A caracterização dos combustíveis revelou propriedades físicas adequadas - densidade (0,75-0,85 g/cm³), viscosidade (2-5 cSt) e ponto de fulgor (40-70°C) - compatíveis com especificações da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) para aplicação como substituto de diesel e gasolina após refino adicional.

O balanço energético positivo (EROI 3:1 a 5:1) Energy Return on Investment confirma a viabilidade técnica, com a fração gasosa (10-15% do produto) sendo aproveitada para alimentação térmica do processo, reduzindo o consumo energético externo. Economicamente, o investimento inicial para pequena escala (R$ 150-500 mil) apresenta payback de 3-5 anos e TIR (Taxa Interna de Retorno) de 15-25%, tornando-se competitivo para aplicações em cooperativas e pequenas indústrias.

A análise ambiental indica redução de 50-80% na pegada de carbono em comparação com aterramento e produção convencional de combustíveis. O sistema modular proposto mostrou-se adaptável a diferentes realidades brasileiras, com potencial para processar 3,6 toneladas/ano de plásticos em unidades comunitárias, gerando receita bruta estimada em R$ 12.600/ano.

Os principais desafios identificados incluem a necessidade de tratamento de efluentes gasosos, especialmente para plásticos contendo cloro (PVC), e a otimização de catalisadores de baixo custo para melhorar a seletividade dos produtos. A integração com energias renováveis, particularmente solar térmica, mostrou potencial para reduzir em 30-50% o consumo energético convencional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho atingiu seu objetivo geral ao desenvolver e avaliar um sistema de conversão termoquímica para resíduos plásticos, demonstrando sua adaptabilidade à realidade brasileira. Em resposta aos objetivos específicos, constatou-se que: **i)** poliolefinas (PE e PP) são as matérias-primas mais adequadas, com rendimentos de 75-85% em óleo; **ii)** o reator modular projetado é viável para escala 1-5 kg/h; **iii)** os combustíveis produzidos possuem alto poder calorífico (42-45 MJ/kg) mas requerem refino para adequação à ANP; e **iv)** a análise de viabilidade apontou payback de 3-5 anos e TIR de 15-25%, com aplicabilidade promissora em cooperativas.

Os principais questionamentos residem na escalabilidade do processo e na conformidade regulatória dos combustíveis, particularmente quanto ao teor de enxofre. Como soluções e intervenções, propõe-se: **i)** a integração com energia solar térmica para melhorar o EROI; **ii)** o desenvolvimento de catalisadores de baixo custo para dessulfurização; e **iii)** a criação de modelos de negócio simplificados para cooperativas.

Para continuidade dos estudos, sugere-se: **i)** a construção e testes de um protótipo piloto; **ii)** a realização de Análise de Ciclo de Vida completa; **iii)** o aprofundamento em tratamentos de purificação de combustíveis; e **iv)** a elaboração de propostas de políticas públicas para regulamentação específica. Conclui-se que a tecnologia, embora com desafios a superar, apresenta-se como uma solução complementar vital para a crise dos plásticos e a transição energética no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUAR SHARUDDIN, S. D.; ABNISA, F.; WAN DAUD, W. M. A.; AROUA, M. K. Energy recovery from pyrolysis of plastic waste: Study on non-recycled plastics (NRP) data as the real measure of plastic waste. Energy Conversion and Management, v. 148, p. 925–934, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.046.

DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. Global Plastic Waste Management Market Report. 2023. Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-plastic-waste-management-market>. Acesso em: 15 out. 2023.

DURÃO, V. M. Valorização de resíduos plásticos por processos termoquímicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, 2020.

MASCOLO, G. Pyrolysis of plastic wastes: A review on products distribution and characterization. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 152, p. 104950, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104950.

MIANDAD, R.; BARAKAT, M. A.; ABURIAZAIZA, A. S.; REHAN, M.; NIZAMI, A. S. Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review. Process Safety and Environmental Protection, v. 102, p. 822–838, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.022. RAMIREZ, J. A. Gasification of plastic wastes for energy recovery: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 115, p. 109395, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109395.

SHARUDDIN, S. D. A.; ABNISA, F.; WAN DAUD, W. M. A.; AROUA, M. K. A review on pyrolysis of plastic wastes. Energy Conversion and Management, v. 115, p. 308–326, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037.

ZANARDINI, M. H. Estudo da pirólise de resíduos plásticos em reator de leito fixo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097546

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE TINTA DE SOLO E RESTAURAÇÃO DE PEÇAS DO ARTESANATO DE BARRO

Uso de Residuos Mineros para la Producción de Pintura de Suelo y Restauración de Piezas de Artesanía de Barro

Use of Mining Waste for the Production of Soil-Based Paint and Restoration of Clay Handicraft Pieces

Joycy Silva[1], Ivson de Sousa Barbosa[2] e Adriana de Fátima Meira Vital[3].
[1]Granduanda em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, joycysamiras@gmail.com, 0009-0005-8170-1347;
[2]Pós Granduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, Brasil, ivsonssousa33@gmail.com, 0000-0002-9411-6025;
[3]Docente, UFCG, Sumé, Brasil, Adriana.fatima@professor.ufcg.edu.br, 0000-0001-9936-8347.

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestação e outras.

Espanhol:
Eje Temático 06 – Residuos Sólidos
Tecnologías de Tratamiento y Reutilización: Compostaje, Biodigestión y Otras.
.

RESUMO

A exploração mineral de caulim e da vermiculita é bem presente no Sertão da Paraíba, no entanto o rejeito gerado pela atividade causa danos ambientais e paisagístico. Considerando a necessidade de buscar alternativas sustentáveis para otimizar o uso desse material que é jogado às margens das estradas e a relevância da produção aresanal das peças de barro, arte que enaltece as mulheres em suas criações, esse trabalho objetivou otimizar a produção da tinta de solo (geotinta), fazendo uso dos resíduos de caulim e vermiculita como aditivos para incentivar a valorização do solo e o reaproveitamento desses resíduos na restauração de peças de barro que apresentam manchas após a queima. Os tratamentos consistiram em três solos, dois resíduos de mineração em três repetições, totalizando 18 corpos de prova (peças de barro). A tinta de solo, ou geotinta, foi preparada com água, solo e cola branca. Foram realizadas 3 demãos usando-se apenas o sobrenadante. Foram avaliadas as seguintes variáveis qualitativas: alteração na cor, capacidade de cobertura, aderência, durabilidade, desbotamento, fendilhamento e descascamento. Por fim, as peças foram apresentadas à louceira para verificação e avaliação do produto desenvolvido. A geotinta com caulim e vermiculita como

aditivos, embora tenham alterado a cor do solo, apresentaram um bom desempenho na capacidade de cobertura e na resistência ao intemperismo, sem danos. Os dados sugerem que o uso dos resíduos de mineração na formulação da geotinta foi eficaz no acabamento e no processo de restauração das peças de barro com manchas da queima. Para a louceira a geotinta produzida e aplicada sobre as peças de barro manchadas melhorou o aspecto visual da peça e nas demais mostrou-se como inovação para usar na sua produção, agregando valor e renda.

Palavras-chave: Semiárido, Geotinta, Resíduos minerais, Artesanato com barro e Restauração

RESÚMEN

La explotación mineral de caolín y vermiculita está bastante presente en el Sertão de Paraíba; sin embargo, los desechos generados por esta actividad causan daños ambientales y paisajísticos. Considerando la necesidad de buscar alternativas sostenibles para optimizar el uso de este material, que suele ser arrojado a los márgenes de las carreteras, y la relevancia de la producción artesanal de piezas de barro —arte que enaltece a las mujeres en sus creaciones—, este trabajo tuvo como objetivo optimizar la producción de pintura de suelo (geopintura) mediante el uso de residuos de caolín y vermiculita como aditivos para fomentar la valorización del suelo y la reutilización de estos residuos en la restauración de piezas de barro que presentan manchas tras la quema. Los tratamientos consistieron en tres suelos y dos residuos mineros en tres repeticiones, totalizando 18 piezas de prueba (piezas de barro). La pintura de suelo, o geopintura, se preparó con agua, suelo y cola blanca. Se aplicaron 3 capas utilizando únicamente el sobrenadante. Se evaluaron las siguientes variables cualitativas: alteración del color, capacidad de cobertura, adherencia, durabilidad, desteñido, agrietamiento y descamación. Finalmente, las piezas fueron presentadas a la artesana para su verificación y evaluación del producto desarrollado. La geopintura con caolín y vermiculita como aditivos, aunque alteraron el color del suelo, mostraron un buen desempeño en la capacidad de cobertura y resistencia a la intemperie, sin daños. Los datos sugieren que el uso de residuos mineros en la formulación de la geopintura fue eficaz en el acabado y en el proceso de restauración de piezas de barro manchadas por la quema. Para la artesana, la geopintura producida y aplicada sobre las piezas de barro manchadas mejoró el aspecto visual de la pieza y, en las demás, se mostró como una innovación para utilizar en su producción, agregando valor e ingresos.

Palabras clave: Semiárido, Geopintura, Residuos minerales, Artesanía en barro, Restauración.

ABSTRACT

The mineral exploitation of kaolin and vermiculite is quite present in the semi-arid region of Paraíba; however, the waste generated by this activity causes environmental and landscape damage. Considering the need to seek sustainable alternatives to optimize the use of this material, which is often discarded along roadsides, and the relevance of artisanal clay piece production—an art that highlights women in their creations—this study aimed to optimize the production of soil-based paint (geopaint) by using kaolin and vermiculite residues as additives to promote soil appreciation and the reuse of these residues in the restoration of clay pieces that present stains after firing. The treatments consisted of three soils and two mining residues in three replicates, totaling 18 clay test pieces. The soil-based paint, or geopaint, was prepared with water, soil, and white glue. Three coats were applied using only the supernatant. The following qualitative variables were evaluated: color change, covering capacity, adhesion, durability, fading, cracking, and peeling. Finally, the pieces were presented to the craftswoman for verification and evaluation of the developed product. The geopaint with kaolin and vermiculite as additives, although they altered the soil color, showed good performance in covering capacity and weather resistance without damage. The data suggest that the use of mining residues in geopaint formulation was effective in finishing and restoring clay pieces stained by firing. For the craftswoman, the geopaint produced and applied to stained clay pieces improved their visual appearance and, for other pieces, proved to be an innovation for her production, adding value and income.

Keywords: Semi-arid, Geopaint, Mineral residues, Clay handicraft, Restoration.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de soluções de baixo custo e mínimo impacto ambiental para a reutilização e valorização de resíduos industriais é um tema central na pesquisa por sustentabilidade e está intrinsecamente alinhado ao Eixo Temático 06 – Resíduos Sólidos: Tecnologias de tratamento e reutilização.

Neste contexto, o presente trabalho aborda o reaproveitamento de resíduos de caulim e vermiculita, cuja exploração compõe o cenário econômico de municípios do Seridó e Sertão

da Paraíba. A mineração, que frequentemente utiliza o método de lavra a céu aberto, gera um grande volume de rejeitos que não são comercializados e acabam dispostos no ambiente (Luz et al., 2008; Silva e Soares, 2021). O reaproveitamento desses resíduos como aditivos em tintas é um diferencial a ser considerado, reduzindo o dano ambiental e paisagístico que afeta a fauna, a flora e os cursos fluviais da região.

Especificamente, o caulim é um mineral de ampla aplicação industrial (cimento, cerâmica, tintas), cujos rejeitos ficam amontoados nas proximidades das mineradoras (Luz et al., 2008; Silva e Soares, 2021). Da mesma maneira, a vermiculita, usada na agricultura e construção civil, gera um grande volume de resíduos no entorno das mineradoras (Leite et al., 2016; Malandrino et al., 2006; França et al., 2016). Encontrar usos alternativos para esses rejeitos de mineração é uma busca de grande relevância, considerando os impactos aos ecossistemas.

Em paralelo, o estudo visa a preservação cultural e o apoio à economia da comunidade rural de Louceiras de Ligeiro de Baixo, em Serra Branca, na região do Cariri. Embora essas mulheres modelem o barro com base nos conhecimentos de seus antepassados (Vital e Santos, 2017), o processo de queima das peças frequentemente resulta em manchas escuras, levando à perda do valor de mercado e ao prejuízo, afetando diretamente a sua renda.

Neste cenário de desafio econômico e ambiental, surge a geotinta (tinta de solo) como uma solução promissora. Neste cenário, a geotinta — tinta de solo — é apresentada como uma ecotecnologia social de elevado apelo ambiental, sem emissões tóxicas e com baixo consumo de energia, e por isso tem sido largamente utilizada dentro dos princípios da bioarquitetura e bioconstrução e como ferramenta pedagógica utilizada no incentivo da aprendizagem significativa do solo, de acordo com os princípios da Educação em Solos (Silva, 2015; Azevedo e Vital, 2018; Holzer et al., 2021).

A qualidade da geotinta depende de fatores como a textura do solo e a dispersão dos pigmentos (Cardoso, 2014). Nesse aspecto, os aditivos minerais são cruciais para otimizar suas propriedades, conferindo maior proteção e resistência à aplicação. O caulim e a vermiculita destacam-se nesse cenário.

Nesse contexto, o presente projeto buscou aprimorar a produção de geotinta, fazendo o aproveitamento dos resíduos de mineração de caulim e da vermiculita obtidos na mineradora, com o objetivo de desenvolver um produto eficiente e sustentável com diferentes tonalidades, e que possibilite restaurar as peças de barro das louceiras do Cariri, agregando valor e

mitigando o prejuízo econômico.

A pesquisa foi conduzida no Laboratório do Ateliê da Geotinta do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Sumé, Paraíba. O estudo, foi realizado entre setembro (2024) e fevereiro de 2025.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa as amostras de solo foram provenientes do banco de cores de solo do Ateliê da Geotinta (CDSA/UFCG, compondo de três tonalidades: amarelo (proveniente de um Argissolo, coletado em Capim-PB), rosa (proveniente de um Plintossolo, coletado em Goiana-PE) e vermelho (proveniente de um Latossolo, coletado em Alagoa Nova-PB). O resíduo do caulim foi coletado nas margens da BR 230, no município de Junco do Seridó (6°59' 46" Sul e 36°42'45" Oeste) e o resíduo de vermiculita na mineradora Pedra Lavrada localizada no município de Santa Luzia-PB (6°52’19’’ Sul e 36°55’ 24’’ Oeste).

Após limpos e peneirados em malha de 2,0 mm para homogeneização da granulometria e eliminação de materiais minerais ou orgânicos grosseiros misturados aos resíduos, o material foi encaminhado aos laboratório de solo do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA-UFCG); Laboratório de Física e Morfologia do Solo, para identificação da cor. A identificação da cor do solo foi feita com o uso da Carta de Cores Munsell, considerando-se o *matiz* (proporções de amarelo (Y) e vermelho (R), a intensidade da cor (valor) e a luminosidade (croma) (Prado, 2011).

A produção da geotinta seguiu o seguinte delineamento experimental (tratamentos) três tipos de solo (ou 3 tons de cor), dois tipos de resíduos de mineração (caulim e vermiculita) e três repetições, totalizando 18 corpos de prova (peças de barro), produzidas pela louceira Maria José do Quilombo Ligeiro de Baixo, município de Serra Branca-PB (7°32’ 03’’ Sul e 36°37’59’’ Oeste).

Com as amostras de solos secas ao ar, destorroadas e peneiradas no *Yodder*, em malha de 2,0 mm procedeu-se o preparo da geotinta. Usando 10 mL de água, 15 mL de cola de branca (PVA) e 16 g de solo. Para as amostras com os resíduos usou-se a proporção 8 g de solo e 8 g dos resíduos (caulim ou vermiculita). Essas proporções foram modificadas a partir das estabelecidas por Carvalho *et al.,* (2007). Após o preparo, o material foi deixado por 30 minutos para decantação do solo e posteriormente fez o uso do material em suspensão (sobrenadante),

com 3 demãos em cada corpo de prova.

A geotinta foi então aplicada nas peças de barro que foram postas para secar ao foi por quinze dias para serem avaliadas a alteração na cor e restauração de peças.

Por fim, as peças foram apresentadas à louceira para verificação e avaliação do produto desenvolvido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição dos resíduos do caulim e da vermiculita na geotinta promoveu alteração no matiz do solo. É possível observar, que a geotinta pura apresentou uma tonalidade mais escura quando comparada com as demais. Para as geotintas com a adição do caulim foi apresentado tons mais claros, em destaque o amarelo (solo 1) e o vermelho (solo 3), em que se nota as cores com a tonalidade bem mais clara que a sua cor na tonalidade pura, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Nomenclatura das cores da geotinta antes e após a adição de resíduos minerais aplicados em peças de barro usando a Carta de Cores Munsell.

Amostras	Nomenclatura			
	Antes da aplicação	Depois da aplicação		
	Cor do solo seca	Solo Puro	Solo com vermiculita	Solo com Caulim
Solo 1	10 YR 8/4	10 YR 8/3	2.5 YR 6/3	2.5 Y 7/2
Solo 2	10 R 5/4	10 R 5/4	2.5 YR 4/4	2.5 YR 5/6
Solo 3	2.5 YR 4/4	2.5 YR 4/4		2.5 YR 4/4

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na Tabela 2, está escrito a identificação dessas cores antes e depois da aplicação da geotinta em peça de barro. Dessa forma, é possível visualizar que a aplicação da geotinta em peças de barro promoveu mudanças na tonalidade das cores.

Tabela 2. Identificação das cores da geotinta antes e após a adição de resíduos minerais aplicados em peças de barro.

Amostras	Identificação	
	Antes da aplicação	Depois da aplicação

	Cor do solo seca	Solo Puro	Solo com vermiculita	Solo com Caulim
Solo 1	Bruno muito claro – acinzentado	Bruno muito claro - acinzentado	Olivia –claro– acinzentado	Cinzento – Claro
Solo 2	Vermelho acinzentado	Vermelho-acinzentado	Bruno - avermelhado	Vermelho amarelado
Solo 3	Bruno-avermelhado	Bruno - avermelhado		Bruno - avermelhado

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Complementando as Tabelas anteriores, a Figura 2, destaca a aplicação das geotintas e suas infuências nas peças de barro. De forma geral, adição de vermiculita apresentou um coloração esverdeado e fragmentos brilhosos nas amostras com a adição e tons mais claros para as amostras com a adição do caulim nas peças de barro.

A geotinta no solo 1 puro (Figura 1.A) deixou a peça mais esbranquiçada, comparada com o matiz da amostra de solo seco (amarelo). A adição da vermiculita nesse solo (Figura 1.B) desatacou o tom esverdeado, bastante diferenciado esteticamente. Já a adição do caulim (Figura 1.C), resultou num clareamento maior, alterando a luminosidade da cor.

Em relação ao solo 2 puro (Figura 1.D), foi observado uma alteração na cor inicial, saindo da rosa para um tom suavemente avermelhado. A adição da vermiculita (Figura 1.E) juntamente com a do caulim (Figura 1.F) tornou a matiz do vermelho mais intenso.

No solo 3 não foram observadas mudanças no matiz da amostra de solo seco (Figura 1.G, H e I), entretanto a peça pintada com a adição de vermiculita apresentou um brilho escuro (Figura 1.H).

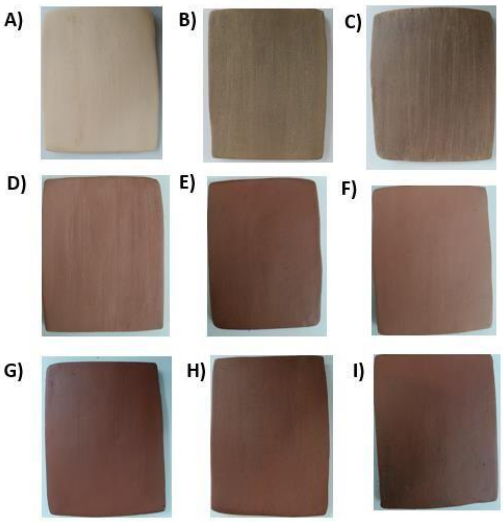


Figura 1. Peça de barro pintados com diferentes tons de geotinta. **A)** Geotinta amarela pura (solo 1); **B)** Geotinta amarela com vermiculita; **C)** Geotinta amarela com caulim; **D)** Geotinta rosa pura (solo 2)**; E)** Geotinta rosa com

a adição da vermiculita; **F)** Geotinta rosa com a adição do caulim; **G)** Geotinta vermelha pura; **H)**Geotinta com vermiculita; **I)** Geotinta com a adição do caulim.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

As amostras identificadas como "Bruno- avermelhado", apresentou matizes iguais as da peça de barro, sendo possível realizar a recuperação das peças com manchas da queima. Outrossim, com adição da vermiculita, essas amostras além da corbetura da queima ganharam fragmentos birlhosos (Figura 2).

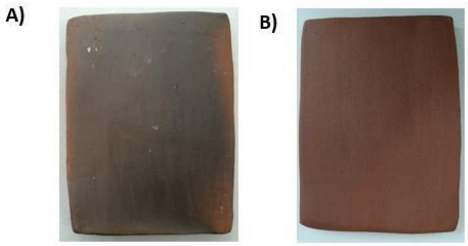


Figura 2. Aplicação da geotinta de solo 3 com adição da vermiculita. **A)** Peça de barro queimada após seu preparo. **B)** Peça de barro restaurada com a geotinta.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A avaliação das variáveis qualitativas: capacidade de cobertura, desbotamento, descascamento, emboloramento e fendilhamento foi feita de maneira visual e tátil.

O uso da geotinta em peças de barro com modificações na metodologia, apresentou para amostra de solo 1 (amarelo) um baixo poder de cobertura e com leve desbotamento para as amostras com a adição do caulim; com a vermiculita obteve-se uma boa cobertura sem desbotamento, sem alterações para as demais variáveis. Para as amostras de solo 2 (rosa) e solo 3 (vermelho), foi verificada uma boa eficiência nas variáveis avaliadas (Tabela 3).

Tabela 3. Avaliação das variáveis qualitativas para as peças de barro usando o sobrenadante.

Amostras		Cobertura	Desbotamento	Descascamento	Emboloramento	Fendilhameto
Solo 1	**Puro**	Bom	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
	Vermiculita	Bom	Nenhum			
	Caulim	Baixo	Leve			
Solo 2	**Puro**	Bom	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
	Vermiculita					
	Caulim					
Solo 3	**Puro**	Bom	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
	Vermiculita					
	Caulim					

Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção e aplicação da tinta à base de solo, embora tenham modificado as cores das amostras do solo, demonstram eficiência na cobertura das peças de barro e ausência de alterações ou surgimento de patologias, como fendilhamento, desbotamento, descascamento e emboloramento.

O reaproveitamentos dos resíduos de caulim e da vermiculita mostraram-se ser um aditivo natural garantindo melhor desempenho da geotinta frente ao intemperismo para as condições estudadas. Referente a aplicabilidade e estabilidade da geotinta, os dados sugerem que o uso dos resíduos de mineração como aditivo promoveu uma boa capacidade de cobertura, com exceção da cor amarela com o caulim como aditivo, o que indica a necessidade de maior atenção durante o seu preparo para uma boa cobertura, possivelmente aumentando o número de demãos.

Na avaliação da louceira o efeito da geotinta nas três tonalidades do solo sobre as peças de barro mostrou-se bastante atrativa, promovendo o interesse por aprender mais sobre a tecnologia que pode agregar valor a louça de barro e restaurar seus produtos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil e do programa PIBIC/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dittmar, Emily L., and Douglas W. Schemske. 2023. “Temporal Variation in Selection Influences Microgeographic Local Adaptation.” *American Naturalist* 202 (4): 471–85. https://doi.org/10.1086/725865.

Dror, Amiel A., Nicole Morozov, Amani Daoud, et al. 2022. “Pre-Infection 25-Hydroxyvitamin D3 Levels and Association with Severity of COVID-19 Illness.” *PLOS ONE* 17 (2): e0263069. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263069.

Khoramishad, H., O. Alizadeh, e L. F. M. da Silva. 2018. "Effect of multi-walled carbon nanotubes and silicon carbide nanoparticles on the deleterious influence of water absorption in adhesively bonded joints". *Journal of Adhesion Science and Technology* 32, no. 16 (august): 1795-808. https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1447295.

Azevedo, G. H. de, e A. F. M. Vital. 2018. "Aproveitamento do rejeito das indústrias de beneficiamento do caulim para a produção de tinta ecológica à base de terra." *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração* 15 (3). São Paulo.

Cardoso, F. de P. 2016. *Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, MG.

Carvalho, A. F., L. de M. Honório, M. R. de Almeida, P. C. dos Santos, e P. E. Quirino. 2007. *Cores da Terra: fazendo tinta com terra.* Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Programa TEIA, Programa Cores da Terra.

França, Silva C. A., Paulo F. A. Braga, Hudson J. B. Couto, e Caroline C. Gonçalves. 2016. "Vermiculita, mais que um mineral termo acústico." *IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste,* João Pessoa – PB.

Holzer, M., A. Dere, D. Lindbo, C. Robinson, T. Wilson, B. Wyatt, e C. Engelmann. 2021. "Soil: More than the dirt under your feet!" *National Earth Science Teachers Association* 36 (1): 27–33.

Leite, M. J. H., A. D. V. Gomes, R. V. Santos, e J. L. Araújo. 2016. "Crescimento do maracujazeiro amarelo em função de gesso e compostos com rejeitos de mineralização aplicados em solo salinizado." *Nativa* 4 (6): 353–359.

Leite, Ana Paula Gonçalves, Adriana de Fátima Meira Vital, Camilla Marques de Lucena, e Reinaldo Farias Paiva de Lucena. 2021. "As mestras do barro: a arte das louceiras no Semiárido da Paraíba, Nordeste do Brasil." Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade 8 (19): 1239-1255. https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081940

Luz, A. B., A. R. Campos, E. A. Carvalho, e L. C. Bertolino. 2005. "Caulim." In *Rochas e Minerais Industriais,* 231. CETEM.

Malandrino, M., O. Abollino, A. Giacomino, M. Aceto, e E. Mentasti. 2006. "Adsorption of heavy metals on vermiculite: Influence of pH and organic ligands." *Journal of Colloid and Interface Science* 299 (2): 537–546.

Munsell. 1975. *Munsell Soil Color Charts.* Baltimore: Macbeth Division of Kollmorgen Corporation.

Prado, H. 2011. *Pedologia fácil: aplicações.* 3. ed. revisada e ampliada. Piracicaba: Ceres.

Silva, A. L. da. 2015. *A Geotinta no contexto da arte e da Agroecologia.* Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia), Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, PB.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19097564

VALIDAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE LODO DE ETE DO CARIRI-CE: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO PROCESSO

VALIDACIÓN DEL COMPOSTAJE DE LODOS DE LA EDAR CARIRI-CE: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL PROCESO

VALIDATION OF SLUDGE COMPOSTING FROM CARIRI-CE WWTP: PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF THE PROCESS

SOARES, Antonio Lucas Costa [1]; ARAUJO, Ana Clarice Rocha [2]; LEAL, Mariane de Souza Rodrigues [3] e SANTOS, Yannice Tatiane da Costa [4].

[1] Graduando, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, alcsoares11@gmail.com; 0009-0005-7945-4869
[2] Graduanda, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, clarice.rocha14@aluno.ifce.edu.br, 0009-0007-8594-2812
[3] Graduanda, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, marileallv@gmail.com, 0009-0003-8371-9431
[4] Doutora, IFCE, Juazeiro do Norte, Brasil, yannice@ifce.edu.br , 0000-0002-6730-1815

Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos
Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros.
Eje Temático 06 – Residuos sólidos
Tecnologías de tratamiento y reutilización: compostaje, biodigestión y otros.

RESUMO

A compostagem do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) no Cariri – CE foi avaliada neste trabalho com o objetivo de validar sua viabilidade por meio de análises físico-químicas e microbiológicas realizadas tanto no lodo bruto quanto no composto final. A experiência foi conduzida no Instituto Federal do Ceará (IFCE) – Campus Juazeiro do Norte – CE, entre os meses de junho e setembro de 2025, utilizando composteiras estáticas de baldes de 20 litros em sistema de aeração passiva, sem revolvimento, sendo a oxigenação favorecida pela proporção de 1:3 (lodo:resíduo vegetal). O monitoramento do processo ocorreu por meio da medição periódica da temperatura, parâmetro utilizado como indicativo da atividade microbiológica ao longo do ciclo. As análises contemplaram pH (obtido com pHmetro), coliformes termotolerantes, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total, frações de sólidos (totais, voláteis e fixos), matéria orgânica e umidade, utilizando metodologias adaptadas da APHA (2012) e da EMBRAPA (1997). Os resultados evidenciaram que o processo de compostagem promoveu a estabilização do lodo, resultando em expressiva redução da carga microbiana e em ajustes nos parâmetros físico-químicos, alcançando níveis compatíveis para uso agrícola. Durante a experiência, os principais desafios estiveram relacionados ao controle da umidade e à definição da proporção adequada entre lodo e material estruturante, aspectos fundamentais para assegurar a eficiência da degradação aeróbica. O composto final obtido apresentou características que demonstram potencial de utilização agrícola, com destaque para sistemas de agricultura familiar, o que o configura como alternativa sustentável e de baixo custo para a gestão do lodo em regiões semiáridas. Assim, a experiência validou a viabilidade da proposta já indicada em estudos anteriores, reforçando a compostagem como solução técnica, ambiental e economicamente adequada para o tratamento de lodo de ETE. Para sua adoção em larga escala, contudo, é indispensável que sejam rigorosamente observados os critérios técnicos e legais estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020, garantindo a qualidade, a inocuidade e a eficiência do material aplicado ao solo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, Compostagem, Agricultura sustentável, Semiárido, Gestão de resíduos

RESÚMEN

La compostaje del lodo generado en Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales (ETAR) en la región del Cariri – CE fue evaluada en este estudio con el objetivo de validar su viabilidad a través de análisis físico-químicos y microbiológicos realizados tanto en el lodo bruto como en el compost final. La experiencia se llevó a cabo en el Instituto Federal de Ceará (IFCE) – Campus Juazeiro do Norte – CE, entre los meses de junio y septiembre de 2025, utilizando composteras estáticas con baldes de 20 litros en un sistema de aireación pasiva, sin volteo, donde la oxigenación se favoreció mediante la proporción de 1:3 (lodo:residuo vegetal). El monitoreo del proceso se realizó mediante la medición periódica de la temperatura, utilizada como un parámetro indicativo de la actividad microbiológica durante el ciclo de compostaje. Los análisis incluyeron pH (medido con pHmetro), coliformes termotolerantes, nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo total, fracciones de sólidos (totales, volátiles y fijos), materia orgánica y humedad, siguiendo metodologías adaptadas de la APHA (2012) y EMBRAPA (1997). Los resultados demostraron que el proceso de compostaje promovió la estabilización del lodo, con una reducción significativa de la carga microbiana y un ajuste de los parámetros físico-químicos a niveles compatibles con su uso agrícola. Durante la experiencia, los principales desafíos estuvieron relacionados con el control de la humedad y la determinación de la proporción adecuada entre el lodo y el material estructurante, aspectos fundamentales para asegurar la eficiencia del proceso. El compost final obtenido mostró características que demuestran su potencial para su uso en la agricultura, especialmente en sistemas de agricultura familiar, constituyéndose en una alternativa sostenible y de bajo costo para la gestión del lodo en regiones semiáridas. Para su implementación a gran escala, sin embargo, es indispensable observar estrictamente los criterios técnicos y legales establecidos por la Resolución CONAMA nº 498/2020, garantizando la calidad, la inocuidad y la eficiencia del material aplicado al suelo.

Palabras clave: Lodos de depuradora, Compostaje, Agricultura sostenible, Región semiárida, Gestión de residuos

ABSTRACT

The composting of sludge generated in Sewage Treatment Plants (STP) in the Cariri region – CE was evaluated in this study with the aim of validating its feasibility through physicochemical and microbiological analyses carried out on both raw sludge and the final compost. The experiment was conducted at the Federal Institute of Ceará (IFCE) – Juazeiro do Norte Campus – CE, between June and September 2025, using static composters consisting of 20-liter buckets in a passive aeration system, without turning, where oxygenation was favored by the 1:3 ratio (sludge:vegetable residue). The process was monitored through periodic temperature measurements, a parameter used as an indicator of microbiological activity throughout the cycle. The analyses included pH (measured with a pH meter), thermotolerant coliforms, total Kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus, solid fractions (total, volatile, and fixed), organic matter, and moisture, using methodologies adapted from APHA (2012) and EMBRAPA (1997). The results showed that the composting process promoted sludge stabilization, with a significant reduction in microbial load and adjustments in physicochemical

parameters, reaching levels compatible with agricultural use. The main challenges identified were related to moisture control and the adequate proportion between sludge and structuring material, both fundamental aspects to ensure the efficiency of aerobic degradation. The final compost obtained presented characteristics that demonstrate its potential for agricultural application, particularly in family farming systems, establishing itself as a sustainable and low - cost alternative for sludge management in semiarid regions. Therefore, the experience validated the feasibility of the proposal previously indicated in other studies, reinforcing composting as a technically, environmentally, and economically appropriate solution for the treatment of sewage sludge. For large-scale implementation, however, it is essential to strictly comply with the technical and legal criteria established by Resolution CONAMA No. 498/2020, ensuring the quality, safety, and efficiency of the material applied to soils.

Keywords: Sewage sludge, Composting, Sustainable agriculture, Semi-arid region, Waste management

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções sustentáveis para a gestão de resíduos orgânicos tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias de tratamento e reutilização. Dentre as abordagens mais promissoras, a compostagem emerge como uma técnica eficaz para a transformação de resíduos complexos, como o lodo de estações de tratamento de esgoto. O manejo do lodo gerado nas ETEs representa um dos desafios mais complexos no saneamento, sendo que a maior parte desse resíduo é destinada a aterros sanitários, gerando altos custos operacionais e potenciais impactos ambientais (Almeida et al. 2017).

A compostagem de lodo de ETE apresenta-se como uma solução em potencial, convertendo esse resíduo em um produto com alto valor agregado e propriedades fertilizantes capazes de recuperar solos degradados (Hernández et al., 2015). Esta prática não apenas mitiga os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de lodo, mas também oferece uma solução sustentável para o enriquecimento de solos, especialmente em regiões semiáridas, onde a matéria orgânica é crucial para a resiliência do ecossistema (Hernández et al., 2015).

A transformação de resíduos orgânicos em um biofertilizante estável e enriquecido em nutrientes é mediada pela sucessão de populações microbianas, o que a torna uma estratégia eficaz na gestão de resíduos sólidos urbanos. Além disso, a compostagem de lodo de esgoto tem demonstrado ser uma alternativa viável para a produção de fertilizantes orgânicos, reduzindo riscos de lixiviação de nitratos e promovendo um balanço nutricional melhorado no produto final (Miguel et al. 2025). A fase termofílica, que pode se estender por 5 a 7 semanas, é particularmente importante, pois garante a sanitização do material, eliminando patógenos e tornando o composto seguro para uso agrícola (López-González et al., 2021).

A validação microbiológica e físico-química desse processo é fundamental para assegurar a qualidade e segurança do composto final, especialmente quando aplicado em solos agrícolas, a análise de parâmetros como pH, matéria orgânica e umidade é essencial para caracterizar o composto e otimizar seu uso como condicionador de solo e fertilizante agrícola (Sayara et al., 2020).

A otimização dessas condições operacionais é fundamental para assegurar a degradação eficiente da matéria orgânica e a higienização do produto, permitindo seu uso seguro e eficaz em aplicações agrícolas. Essa abordagem contribui significativamente para a economia circular, transformando um passivo ambiental em um recurso valioso para a agricultura sustentável. Este processo aeróbico passivo, que envolve a atividade microbiana para a decomposição e humificação da matéria orgânica, resulta em um produto final estável e livre de contaminação para o cultivo e a fertilidade do solo (Sayara et al., 2020).

Na região do Cariri, onde a destinação final do lodo de ETE geralmente ocorre em aterros sanitários, a compostagem de lodo misturada com resíduos de poda surge como uma "razoável opção" para o beneficiamento do lodo, aproveitando a estrutura e os insumos disponíveis nesses empreendimentos. Adicionalmente, a compostagem contribui para a redução de gases de efeito estufa e pode ter reusos complementares como material de cobertura de taludes (Almeida et al. 2017).

Neste contexto, o estudo, realizado no IFCE – Campus Juazeiro do Norte – CE, durante o ano 2025, teve como objetivo analisar o composto obtido a partir do lodo de ETE, considerando suas características físico-químicas e microbiológicas, de modo a viabilizar sua destinação adequada e reutilização pela agricultura familiar em conformidade com a legislação vigente. A relevância desta experiência se insere no Eixo Temático 06 – Resíduos sólidos: Tecnologias de tratamento e reutilização: compostagem, biodigestão e outros, contribuindo para o avanço do conhecimento e a aplicação prática de soluções inovadoras na gestão de resíduos. A validação de uma tecnologia de tratamento capaz de transformar um passivo ambiental em recurso valioso, alinhada aos princípios de sustentabilidade e de economia circular. A otimização das condições operacionais mostrou-se essencial para assegurar a degradação eficiente da matéria orgânica e a higienização do composto, permitindo sua aplicação segura na agricultura, com benefícios diretos para a fertilidade do solo e para o fortalecimento de práticas agrícolas mais resilientes e ambientalmente equilibradas (Hernández et al., 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte, entre junho e setembro de 2025. O lodo utilizado foi proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da região do Cariri, enquanto os resíduos de poda, coletados localmente, foram empregados como material estruturante. A compostagem foi realizada em baldes plásticos de 10 litros, em sistema de aeração passiva e sem revolvimento como demonstrado na figura 1, metodologia adotada da EMBRAPA (1997). A oxigenação foi garantida pela proporção volumétrica de 1:3 (lodo:resíduo vegetal), que favoreceu a porosidade da mistura e a difusão de oxigênio.

Figura 1. Composteira doméstica de aeração passiva utilizada no processo
Fonte: Elaboração própria (2025).

O processo foi monitorado exclusivamente pela medição diária da temperatura em diferentes pontos da massa, utilizando termômetro de haste, a fim de acompanhar a atividade microbiológica e a ocorrência da fase termofílica. Ao final do ciclo, amostras do composto foram coletadas para análises físico-químicas (pH, umidade, matéria orgânica, nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total), seguindo metodologias adaptadas da APHA (2012) e EMBRAPA (1997). Para avaliar a segurança sanitária do material, realizaram-se análises microbiológicas de coliformes termotolerantes e Escherichia coli, de acordo com protocolos padrões para quantificação de microrganismos em matrizes orgânicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nas amostras de lodo tratado e compostado provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto do Cariri-CE permitiram uma avaliação robusta da eficiência do processo de compostagem na estabilização da matéria orgânica, concentração de nutrientes e higienização sanitária. Os resultados demonstram que o processo atingiu os objetivos propostos para a valorização do lodo como um produto com potencial agronômico.

A Tabela 1 detalha os resultados das frações de sólidos para o lodo tratado e compostado. Observou-se uma redução nos sólidos totais e nos sólidos totais voláteis, acompanhada de um aumento nos sólidos totais fixos no material compostado. Mais notavelmente, a relação STV/ST diminuiu de 0,85–0,87 no lodo tratado para 0,83 no lodo compostado. Esta redução na fração volátil e, consequentemente, na relação STV/ST é um indicativo claro da degradação da matéria orgânica durante a compostagem. Microrganismos consomem a matéria orgânica volátil, transformando-a em compostos mais estáveis, como dióxido de carbono e água, e biomassa microbiana, o que leva a uma mineralização e estabilização do material (González et al., 2018). Este processo é fundamental para que o composto seja considerado maduro e estável para aplicação em solo.

Tabela 1. Frações de sólidos no lodo tratado e compostado

Condição	ST (g/kg)	STV (g/kg)	STF (g/kg)	STV/ST
Tratado	637–670	544–581	89–94	0,85–0,87
Compostado	571–621	474–513	97–108	0,83

Fonte: Elaboração própria (2025).
Onde: STV= sólidos totais voláteis; STF= sólidos totais fixos; ST= sólidos totais;

Os valores de matéria orgânica, matéria seca e umidade apresentados na Tabela 2 refletem as transformações biológicas e físicas ocorridas durante a compostagem. Houve uma redução da matéria seca de 77,7% para 70,0% e um aumento da umidade de 22,3% para 30,0% após o processo. Embora o teor de matéria orgânica (g/kg) tenha tido um leve aumento de 19,23 g/kg para 20,52 g/kg, a redução da matéria seca e o aumento da umidade são comportamentos típicos de processos de compostagem bem-sucedidos. A perda de massa orgânica por mineralização (evolução de CO_2) e a evaporação da água, combinada com a concentração relativa dos constituintes remanescentes na massa final, explica a variação observada. A análise

de matéria orgânica é crucial, e métodos como os utilizados aqui permitem quantificar essas transformações. O aumento da umidade, dentro de limites adequados, também contribui para a manutenção da atividade microbiana no composto.

Tabela 2. Matéria orgânica, matéria seca e umidade

Condição	Matéria Orgânica (g/kg)	Matéria Seca (%)	Umidade (%)
Tratado	19,23	77,7	22,3
Compostado	20,52	70,0	30,0

Fonte: Elaboração própria (2025).

O processo de compostagem demonstrou ser altamente eficaz na concentração de macronutrientes essenciais, como fósforo e nitrogênio, elevando o valor agronômico do lodo. Conforme a Tabela 3, o teor de fósforo no lodo compostado alcançou valores expressivos de 7.088 mg P/kg, em contraste com os valores residuais de 1–2 mg P/kg no lodo tratado. Este incremento significativo de fósforo é um indicador direto do potencial fertilizante do composto, dado que o fósforo é um nutriente vital para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Tabela 3. Concentração de fósforo no lodo tratado e compostado

Condição	Concentração média (mg P/g)	Concentração média (mg P/kg)	Umidade (%)
Tratado	0,001–0,002	1–2	29,44
Compostado	7,088	7.088	29,49

Fonte: Elaboração própria (2025).

Similarmente, os resultados do Nitrogênio Total Kjeldahl, apresentados na Tabela 4, evidenciam uma concentração maior no lodo compostado. As médias de NTK foram de 3.428 mg N/kg para o lodo tratado e 6.147 mg N/kg para o lodo compostado. Este aumento na concentração de nitrogênio é um resultado direto da perda de massa durante a compostagem, que concentra os nutrientes remanescentes na fração sólida. A valorização de lodos de ETE através da concentração de nitrogênio e fósforo é um benefício ambiental e econômico, alinhando-se com a busca por soluções sustentáveis para a destinação de resíduos.

Tabela 4. Concentração de nitrogênio total Kjeldahl

Condição	Data Coleta	Data Análise	Amostras	Massa Amostra (g)	Umidade (%)	Conc. NTK (mg N/kg)
Tratado	16/09/25	16/09/25	1 e 2	0,7367	21,57	2285,37 – 4570,74
Compostado	16/09/25	16/09/25	1 e 2	0,7994	29,49	5961,07 – 6333,64

Fonte: Elaboração própria (2025).

A segurança sanitária do composto é um aspecto crítico para sua aplicação agrícola. Os resultados da análise microbiológica demonstram a eficácia da compostagem na redução de patógenos. Houve uma redução de 98,9% para coliformes termotolerantes (de 8,85E+05 NMP/100 mL para 9,30E+03 NMP/100 mL) e uma ainda mais significativa de 99,8% para *Escherichia coli* (de 6,16E+03 NMP/100 mL para 1,50E+01 NMP/100 mL). Essas reduções confirmam a eficiência do processo termofílico da compostagem em higienizar o lodo, tornando-o seguro para uso e em conformidade com os requisitos sanitários para aplicação em solos (Fatunla et al., 2017; López-González et al., 2021; Rimhanen-Finne et al., 2004; Silva et al., 2013). A inativação de patógenos é um dos principais benefícios da compostagem, mitigando riscos de contaminação ambiental e à saúde humana.

Tabela 5. Indicadores microbiológicos no lodo tratado e compostado

Condição	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	*Escherichia coli* (NMP/100 mL)
Tratado	8,85E+05	6,16E+03
Compostado	9,30E+03	1,50E+01

Fonte: Elaboração própria (2025).

Em síntese, os resultados obtidos demonstram de forma integrada que o processo de compostagem do lodo da ETE do Cariri-CE foi altamente eficiente. Ele promoveu a degradação da fração orgânica e a consequente estabilização do lodo, conforme evidenciado pelas frações de sólidos. Paralelamente, o processo resultou em um aumento substancial na concentração de nutrientes essenciais como nitrogênio e fósforo, elevando significativamente o potencial agronômico do material. Crucialmente, a compostagem demonstrou uma remoção expressiva de microrganismos patogênicos, garantindo a higienização do lodo e sua segurança sanitária. Assim, o lodo compostado apresenta viabilidade para uso agrícola, em conformidade com as diretrizes e requisitos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020, que dispõe sobre critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou a eficiência do processo de compostagem do lodo sanitário proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto do Cariri-CE, utilizando resíduos de poda como material estruturante. As análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram que a compostagem é uma estratégia viável e eficaz para a valorização deste resíduo.

A redução das frações de sólidos voláteis e as alterações na matéria orgânica e umidade indicam a estabilização do material e a degradação da matéria orgânica. Houve um aumento significativo na concentração de macronutrientes, como fósforo e nitrogênio total Kjeldahl, elevando o potencial agronômico do composto para uso como fertilizante. Crucialmente, a análise microbiológica revelou uma drástica redução de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, atestando a eficácia do processo na higienização do lodo e garantindo a segurança sanitária do produto final.

Em suma, o lodo compostado atende aos critérios de estabilidade, enriqueciment o nutricional e segurança sanitária, posicionando-o como um insumo valioso para a agricultura familiar. Este trabalho reforça a conformidade do processo e do produto final com as diretrizes e requisitos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020, promovendo uma solução sustentável para a destinação de resíduos de ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Verediana Fioretin Rosa De, Renato Rosa De Almeida, Nayane Rosa Gomes, Lucas Rodrigues Caetano, and Rafael Choze. 2017. "Caracterização Química Como Alternativa de Destinação Ao Uso Agrícola Do Lodo Da Estação de Tratamento de Esgoto Do Município de Anápolis, Estado de Goiás, Brasil." Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade 4 (7): 87–98. https://doi.org/10.21438/rbgas.040709.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22 ed. Washington: American Public Health Association; 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 1004- Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília, DF, 2020.

EMBRAPA. Adubos e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/pre-producao/insumos/adubos-e-fertilizantes. Acesso em: 3 jan. 2025.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. p. 89-92.

González, Daniel, Joan Colón, David Gabriel, and Antoni Sánchez. 2019. "The Effect of the Composting Time on the Gaseous Emissions and the Compost Stability in a Full-Scale Sewage Sludge Composting Plant." *Science of The Total Environment* 654: 311–23.

https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.081.

Hernández, T., E. Garcia, and C. García. 2015. "A Strategy for Marginal Semiarid Degraded Soil Restoration: A Sole Addition of Compost at a High Rate. A Five-Year Field Experiment." *Soil Biology and Biochemistry* 89: 61–71. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.023.

López-González, Juan A., María J. Estrella-González, Rosario Lerma-Moliz, Macarena M. Jurado, Francisca Suárez-Estrella, and María J. López. 2021. "Industrial Composting of Sewage Sludge: Study of the Bacteriome, Sanitation, and Antibiotic-Resistant Strains." *Frontiers in Microbiology* 12 (December): 784071. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.784071.

Miguel, Natividad, Andrea López, Sindy Dayana Jojoa-Sierra, Jairo Gómez, and María P. Ormad. 2025. "Sustainable Management of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: Microbiological Quality Control During Composting and Its Application in Agriculture on a Pilot Scale." *Sustainability* 17 (9): 4169. https://doi.org/10.3390/su17094169.

Sayara, Tahseen, Rezq Basheer-Salimia, Fatina Hawamde, and Antoni Sánchez. 2020. "Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture." *Agronomy* 10 (11): 1838. https://doi.org/10.3390/agronomy10111838.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112496

A ARBORIZAÇÃO URBANA COMO ESTRATÉGIA CLIMÁTICA EM CENTROS URBANOS DO NORDESTE: UM ALINHAMENTO DOS ODS 11 E 15

LA ARBORIZACIÓN URBANA COMO ESTRATEGIA CLIMÁTICA EN CENTROS URBANOS DEL NORDESTE: UNA ALINEACIÓN CON LOS ODS 11 Y 15

URBAN AFFORESTATION AS A CLIMATE STRATEGY IN URBAN CENTERS OF THE NORTHEAST: AN ALIGNMENT WITH SDGS 11 AND 15

Iarley Souza Bezerra[1], Cicera Valéria Figueiredo Araújo[2], Francisco Lopes da Silva Júnior[3] e Monique da Silva Albuquerque Pinheiro[4].

[1]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, iarley.souza62@aluno.ifce.edu.br, 0009-0009-2702-2633;
[2]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, cicera.figueiredo06@aluno.ifce.edu.br, 0009-0001-1323-7547;
[3]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, francisco.lopes.silva08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0001-8557-5182;
[4]Docente, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil, monique.albuquerque1996@ifce.edu.br, 0000-0002-8280-6272.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento sustentável
ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

RESUMO

A arborização urbana emerge como uma estratégia fundamental para a sustentabilidade e resiliência climática em centros urbanos, especialmente no semiárido brasileiro, uma região caracterizada por elevadas temperaturas e baixa umidade. Este artigo investiga a arborização urbana como um instrumento de mitigação climática, analisando seus benefícios, a legislação pertinente e a conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 15 (Vida Terrestre). A metodologia empregada consistiu em uma revisão bibliográfica e documental abrangente, utilizando bases de dados científicas e repositórios governamentais. Foram examinados referenciais teóricos, estudo de caso sobre ilhas de calor em Juazeiro do Norte/CE e diretrizes de arborização de duas capitais nordestinas, Recife e Fortaleza, cujos manuais de arborização serviram como exemplos de regulamentação local. Os resultados obtidos corroboram a eficácia da arborização na redução das ilhas de calor urbanas e na melhoria do conforto térmico, além de proporcionar benefícios ambientais e sociais adicionais, como a melhoria da qualidade do ar e a promoção do bem-estar. A análise da legislação municipal de Fortaleza (2020) e Recife (2013) demonstra um avanço na regulamentação, estabelecendo diretrizes claras para o planejamento, implantação e manejo da vegetação urbana, com ênfase na priorização de espécies nativas e na adequação do porte das árvores às características do ambiente urbano. Essas práticas estão alinhadas com as metas dos ODS 11 e 15, que visam a criação de espaços verdes acessíveis, a

adaptação às mudanças climáticas e a conservação da biodiversidade urbana. Contudo, a implementação plena da arborização urbana no Brasil ainda enfrenta desafios significativos, incluindo a ausência de leis federais e estaduais mais detalhadas, a dificuldade na fiscalização em áreas privadas e a necessidade de manutenção contínua. A superação desses obstáculos requer o fortalecimento das políticas públicas, o investimento financeiro contínuo, a capacitação técnica dos profissionais envolvidos e, crucialmente, o engajamento comunitário e a educação ambiental, conforme preconizado pela Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999). Conclui-se que a arborização urbana é uma infraestrutura verde indispensável para o desenvolvimento urbano sustentável no semiárido, exigindo uma abordagem integrada e colaborativa para maximizar seus benefícios e promover cidades mais resilientes e habitáveis.

Palavras-chave: Arborização Urbana, Mitigação Climática, Semiárido, ODS, Sustentabilidade

RESÚMEN

La arborización urbana emerge como una estrategia fundamental para la sostenibilidad y la resiliencia climática en los centros urbanos, especialmente en el semiárido brasileño, una región caracterizada por altas temperaturas y baja humedad. Este artículo investiga la arborización urbana como un instrumento de mitigación climática, analizando sus beneficios, la legislación pertinente y la conformidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres). La metodología empleada consistió en una revisión bibliográfica y documental amplia, utilizando bases de datos científicas y repositorios gubernamentales. Se examinaron referentes teóricos, un estudio de caso sobre islas de calor en Juazeiro do Norte/CE y directrices de arborización de dos capitales del nordeste brasileño, Recife y Fortaleza, cuyos manuales de arborización sirvieron como ejemplos de regulación local. Los resultados obtenidos corroboran la eficacia de la arborización en la reducción de las islas de calor urbanas y en la mejora del confort térmico, además de proporcionar beneficios ambientales y sociales adicionales, como la mejora de la calidad del aire y la promoción del bienestar. El análisis de la legislación municipal de Fortaleza (2020) y Recife (2013) demuestra un avance en la regulación, estableciendo directrices claras para la planificación, implantación y manejo de la vegetación urbana, con énfasis en la priorización de especies nativas y en la adecuación del porte de los árboles a las características del entorno urbano. Estas prácticas están alineadas con las metas de los ODS 11 y 15, que buscan la creación de espacios verdes accesibles, la adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad urbana. Sin embargo, la plena implementación de la arborización urbana en Brasil aún enfrenta desafíos significativos, incluyendo la ausencia de leyes federales y estatales más detalladas, la dificultad de fiscalización en áreas privadas y la necesidad de mantenimiento continuo. La superación de estos obstáculos requiere el fortalecimiento de las políticas públicas, la inversión financiera constante, la capacitación técnica de los profesionales involucrados y, de manera crucial, el compromiso comunitario y la educación ambiental, conforme a lo previsto en la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley nº 9.795/1999). Se concluye que la arborización urbana es una infraestructura verde indispensable para el desarrollo urbano sostenible en el semiárido, exigiendo un enfoque integrado y colaborativo para maximizar sus beneficios y promover ciudades más resilientes y habitables.

Palabras clave: Arborización Urbana, Mitigación Climática, Semiárido, ODS, Sostenibilidad

ABSTRACT

Urban afforestation emerges as a fundamental strategy for sustainability and climate resilience in urban centers, especially in the Brazilian semiarid region, an area characterized by high temperatures and low humidity. This article investigates urban afforestation as a tool for climate change mitigation, analyzing its benefits, relevant legislation, and compliance with the Sustainable Development Goals (SDGs) 11 (Sustainable Cities and Communities) and 15 (Life on Land). The methodology employed consisted of a comprehensive bibliographic and documentary review, using scientific databases and government repositories. Theoretical references were examined, along with a case study on urban heat islands in Juazeiro do Norte/CE, and urban forestry guidelines from two northeastern capitals, Recife and Fortaleza, whose manuals served as examples of local regulation. The results obtained corroborate the effectiveness of afforestation in reducing urban heat islands and improving thermal comfort, while also providing additional environmental and social benefits, such as improving air quality and promoting well-being. The analysis of municipal legislation in Fortaleza (2020) and Recife (2013) demonstrates progress in regulation, establishing clear guidelines for the planning, implementation, and management of urban vegetation, with emphasis on prioritizing native species and adapting tree size to urban environmental characteristics. These practices are aligned with the goals of SDGs 11 and 15, which aim to create accessible green spaces, adapt to climate change, and conserve urban biodiversity. However, the full implementation of urban afforestation in Brazil still faces significant challenges, including the absence of more detailed federal and state laws, difficulties in monitoring private areas, and the need for continuous maintenance. Overcoming these obstacles requires strengthening public policies, ensuring ongoing financial investment, providing technical training for professionals, and, crucially, fostering community engagement and environmental education, as established by the National Environmental Education Policy (Law nº 9.795/1999). It is concluded that urban afforestation is an essential green infrastructure for sustainable urban development in the semiarid region, requiring an integrated and collaborative approach to maximize its benefits and promote more resilient and livable cities.

Keywords: Urban Afforestation, Climate Mitigation, Semiarid, SDGs, Sustainability

INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é marcado por condições climáticas particulares e enfrenta desafios ambientais significativos, como altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e regimes pluviométricos irregulares, resultando em períodos de estiagem. O processo de urbanização crescente nessa região tem aumentado tais desafios, alterando a paisagem natural, intensificando a impermeabilização do solo e contribuindo para a formação de

fenômenos micro climáticos adversos, como as ilhas de calor. Como descreve Almeida e Silva (2024), desde a Revolução Industrial, o crescimento urbano tem gerado diversos problemas ambientais, incluindo o aumento das temperaturas locais que afetam diretamente a qualidade de vida da população.

Nesse cenário, a arborização urbana torna-se uma estratégia eficiente e de grande importância, haja vista as suas funções ecológicas, sociais e estéticas. A presença de áreas verdes nos centros urbanos atua na regulação microclimática, por diminuir as altas temperaturas através do sombreamento e da transpiração, e aumentar a umidade do ar, como detalhado por Drumond (2005), onde em prática foi observado em estudos no semiárido por Rodrigues et al. (2022). Além disso, a arborização é essencial para a melhoria da qualidade do ar, diminuição da poluição visual e sonora, e criação de espaços públicos mais agradáveis e propícios ao bem-estar físico e mental da população (Pinheiro e Souza, 2017).

A arborização urbana está diretamente conectada aos esforços globais por um desenvolvimento mais sustentável. A implementação de políticas e práticas eficazes de arborização urbana dialoga com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, especialmente com o ODS 11, o qual corresponde a tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e o ODS 15, que se trata de proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade. A promoção de espaços verdes acessíveis (Meta 11.7), a adaptação às mudanças climáticas (Meta 11.b) e a conservação da biodiversidade urbana (Metas 15.1, 15.5, 15.9) são diretamente beneficiadas por uma arborização bem planejada (ONU, 2015, ODS 11; ONU, 2015, ODS 15).

Considerando a relevância do tema frente à qualidade ambiental e à promoção da saúde pública, este artigo tem como objetivo analisar a arborização urbana como estratégia de mitigação climática em centros urbanos do nordeste. Para isso, foi necessário observar os benefícios comprovados da arborização, examinar legislações municipais pertinentes na região Nordeste, com foco em exemplos como Fortaleza e Recife. A seleção dessas capitais justifica-se pela disponibilidade de manuais municipais de arborização que descreve o processo de planejamento e implementação da arborização urbana. Nesse sentido, busca-se avaliar o alinhamento dessas práticas e políticas com os ODS 11 e 15.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa, fundamentado em uma revisão bibliográfica e documental abrangente. A abordagem metodológica adotada visou analisar e sintetizar informações relevantes sobre a arborização urbana como estratégia de mitigação climática em centros urbanos do nordeste brasileiro, sua relação com a legislação local e seu alinhamento com os ODS 11 e 15.

A fonte de dados secundários foi selecionada a partir de buscas sistemáticas em bases de dados científicas, como Scielo e Google Scholar, e em repositórios institucionais e governamentais. Foram priorizados artigos científicos, documentos técnicos, manuais de arborização urbana, documentos oficiais de prefeituras de cidades relevantes do Nordeste, com foco em Recife-PE e Fortaleza-CE. Também foi examinado um estudo de caso sobre ilhas de calor, detalhado por Rodrigues et al. (2022) em Juazeiro do Norte-CE. Por fim, foi realizada uma comparação para verificar o alinhamento dessas práticas com os ODS 11 e 15, evidenciando oportunidades para fortalecer a integração entre políticas de arborização e desenvolvimento sustentável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Legislação de arborização urbana no nordeste

A análise dos Manuais Arborização Urbana de Recife (2013) e Fortaleza (2020) evidencia a dedicação por partes dessas capitais nordestinas em definir diretrizes técnicas e legais para o planejamento, implantação e manejo da vegetação urbana. Apesar de não representarem a totalidade do nordeste, esses documentos oferecem percepções importantes sobre as abordagens adotadas na região.

O Manual de Recife ressalta a necessidade de consultar órgãos de licenciamento e analisar o levantamento de áreas verdes, optando por bairros com menor índice de arborização. Já o Manual de Fortaleza lista uma extensa legislação correlata, desde o âmbito federal (Estatuto da Terra, Estatuto da Cidade, Código Florestal) até os âmbitos estadual e municipal (Plano Diretor Participativo, Código da Cidade), destacando a complexidade normativa envolvida.

É fundamental considerar a implantação apropriada, com especificações técnicas para passeios públicos. Ambos os manuais definem parâmetros para alegretes ou canteiros. As

áreas permeáveis são importantes para que haja infiltração de água e aeração do solo. As dimensões mínimas são estabelecidas com base na largura do passeio, tentando equilibrar o desenvolvimento da árvore com a faixa livre para circulação de pedestres, incluindo a sinalização tátil para acessibilidade (Manual Recife, 2013). O Quadro 1 compara as normas e recomendações específicas para o plantio de árvores diretamente nas calçadas, um dos maiores desafios da arborização urbana.

Quadro 1. Diretrizes para plantio em calçadas

Diretrizes para calçada	Manual de Recife	Manual de Fortaleza
Porte vs. Largura da Calçada	Define o porte (pequeno, médio, grande) com base em faixas de largura da calçada (ex: 1,5-2,0m; 2,0-2,5m; >2,5m)	Também define o porte com base na largura, mas com faixas e regras diferentes (ex: <2,0m só pequeno porte; >3,0m pode grande porte)
Distância da Esquina	Mínimo de 5 metros para árvores de pequeno porte	Mínimo de 5 metros para árvores de qualquer porte
Distância de Postes	Varia com o porte: 3m (pequeno), 4m (médio), 5m (grande)	Varia com o porte: 3m (pequeno), 4m (médio), 5m (grande)
Obrigatoriedade	Não menciona obrigatoriedade por edificação	Obrigatório o plantio de 1 árvore a cada 6m de testada (uso residencial) ou 8m (uso não residencial)
Rede Elétrica	Recomenda condução da copa para árvores de médio/grande porte	Apenas árvores de pequeno porte podem ser plantadas sob a rede elétrica
Responsabilidade	Não detalhado no trecho comparado	A responsabilidade pelo plantio e manutenção em calçadas é do proprietário do imóvel

Fonte: Elaboração própria (2025), com base no Manual de Recife (2013) e no Manual de Fortaleza (2020).

A seleção de espécies é outro ponto discutido. Há recomendações para que as espécies nativas sejam priorizadas, já que são adaptadas às condições climáticas da região, colaborando para a biodiversidade local e a identidade paisagística (Manual Recife, 2013; Manual Fortaleza, 2020; Drumond, Cavalcanti e Oliveira 2012). O Manual de Fortaleza chama atenção para as espécies invasoras e exóticas. Os dois documentos disponibilizam

listas sugeridas de espécies indicadas, classificadas por porte (pequeno, médio, grande), e instruem sobre a adequação do porte à largura do passeio e à presença de fiação aérea. O Quadro 2 compara os critérios que cada manual estabelece para a escolha de uma árvore ideal para o ambiente urbano, focando em suas características biológicas e de adaptação.

Quadro 2. Características Desejáveis para Espécies na Arborização Urbana

Características	Manual de Recife	Manual de Fortaleza
Origem	Preferencialmente nativas e típicas das zonas fitogeográficas da cidade.	Priorizar espécies nativas adaptadas à região, mas permite o uso de exóticas não invasoras.
Toxicidade	Não apresentar princípios tóxicos ou alérgicos	Não possuir princípios ativos tóxicos
Estrutura da copa	Compatível com o espaço disponível	Expressivas, visando conforto ambiental
Sistema radicular	Raízes profundas, evitando as que afloram (tabulares, adventícias)	Raízes pivotantes, de enraizamento profundo, que não danifiquem calçadas.
Adaptação	Adaptadas e resistentes às condições adversas do ambiente urbano	Resistentes e capazes de sobreviver em pleno sol
Frutos e espinhos	Não apresentar frutos grandes, espinhos ou acúleos	Evitar espécies com grandes frutos, espinhos ou acúleos
Crescimento	Velocidade de crescimento regular	Velocidade de crescimento regular
Interação com a fauna	(Não mencionado como critério de seleção)	Favorecer a presença da fauna com diferentes épocas de floração e frutificação

Fonte: Elaboração própria (2025), com base no Manual de Recife (2013) e no Manual de Fortaleza (2020).

A efetividade da arborização urbana no Brasil é limitada por diversos entraves, apesar das diretrizes municipais existentes. Conforme destacam Almeida e Silva (2024), a falta de leis federais e estaduais detalhadas sobre o tema torna as iniciativas dependentes da vontade política local, enquanto a fiscalização em áreas privadas e a manutenção contínua das árvores são desafios persistentes. Além disso, a participação comunitária e a educação ambiental, fundamentais para o sucesso dos projetos, frequentemente não são integradas de forma plena. A Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999) oferece o suporte legal para

reverter esse quadro, tratando a educação como um processo essencial e participativo para engajar a sociedade e garantir a aplicação prática dos planos de arborização.

Arborização urbana e mitigação das ilhas de calor

Uma das vantagens mais significativas da arborização, especialmente no contexto do semiárido, é sua capacidade de reduzir as ilhas de calor urbanas (ICU). Embora tenha algumas limitações, o estudo de caso conduzido por Rodrigues et al. (2022), em Juazeiro do Norte-CE, oferece evidências empíricas significativas. O estudo confirmou a ocorrência do fenômeno de ICU na cidade, com o centro urbano exibindo temperaturas máximas consideravelmente mais elevadas, com uma diferença de até 2,37°C em relação à zona rural adjacente durante o período seco analisado. As medições realizadas em praças urbanas indicaram temperaturas médias de 36,02°C às 14h e umidade baixa, com média de 22,10% às 14h, condições que podem causar desconforto térmico e riscos à saúde.

Para analisar a cobertura vegetal, o estudo empregou o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), o qual é um indicador de sensoriamento remoto que quantifica a saúde e a densidade da vegetação(Rouse et al., 1974). Foi revelado que, durante a estação seca, havia poucas áreas verdes identificadas no centro urbano, refletindo tanto a predominância de espécies caducifólias na vegetação nativa quanto uma possível deficiência na arborização urbana planejada com espécies perenes (Rodrigues et al., 2022). Apesar de a análise estatística não ter identificado diferenças significativas de temperatura e umidade entre as diversas praças analisadas, o que os autores atribuem à possível baixa densidade arbórea ou a limitações na resolução do satélite, os resultados gerais confirmam a teoria que a ausência de vegetação contribui para o aquecimento urbano.

Alinhamento entre Práticas, Legislação pertinente e ODS 11 e 15

Quanto ao ODS 11- Cidades e comunidades Sustentáveis, as diretrizes legais para a criação de espaços verdes públicos (Meta 11.7) se apresentam de forma explícita nos manuais analisados. Considerando normas técnicas para parques urbanos, arborização viária e praças públicas com ênfase na promoção da inclusão social e da acessibilidade universal. A existência desses manuais e a referência aos Planos de Arborização Urbana (Manual Recife, 2013) demonstram o interesse para um planejamento urbano integrado e sustentável (Meta

11.3, citada por Almeida & Silva, 2024). A arborização conforme destacado na literatura é um instrumento essencial para a adaptação climática e o aumento da resiliência (Meta 11.b), colaborando para a mitigação das ilhas de calor e a melhoria do conforto microclimático.

No que se refere ao ODS 15 - Vida Terrestre, a legislação local evidencia a importância da biodiversidade. A recomendação explícita do uso preferencial de espécies nativas (Meta 15.1, 15.5) é um ponto em destaque nos manuais de Recife e Fortaleza , colaborando para a conservação da flora regional e oferecendo habitats para a fauna local. No entanto, uma preferência por espécies exóticas, muitas vezes vistas como de crescimento mais rápido ou de maior valor ornamental, e a dificuldade de produzir mudas nativas em larga escala podem ser um desafio para a plena implementação dessas recomendações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado neste artigo comprova a importância da arborização urbana como uma estratégia multifuncional e fundamental para a mitigação das mudanças climáticas e promoção da sustentabilidade em áreas urbanas do semiárido brasileiro. As evidências teóricas e empíricas mostram de forma consistente os benefícios microclimáticos da vegetação, especialmente na redução das ilhas de calor, um fenômeno de grande importância nessa área.

A análise da legislação local, conforme demonstram os manuais de Recife e Fortaleza, estabelece diretrizes técnicas e jurídicas para o planejamento e manejo da arborização urbana. Essas normas refletem a crescente preocupação em integrar a vegetação ao espaço urbano, desde a escolha de espécies nativas até a manutenção adequada. Além disso, o conjunto dessas regulamentações está alinhado com os ODS, especialmente o ODS 11 e o ODS 15.

No entanto, a análise também revela desafios consideráveis. Para que o potencial da arborização seja totalmente alcançado, é necessário superar alguns desafios, como a implementação e fiscalização eficazes da legislação, garantia da manutenção a longo prazo, superação da preferência por espécies exóticas, além da promoção do maior envolvimento comunitário e educação ambiental.

Para superar os desafios existentes e implementar as recomendações propostas, é necessário um esforço conjunto e contínuo de gestores e sociedade civil. Isso deve consolidar a infraestrutura verde como um pilar essencial para o desenvolvimento urbano da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, R. D. de, e M. R. F. da Silva. 2024. "Arborização urbana: Perspectivas para cidades sustentáveis." In Anais do XX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campina Grande: Realize Editora. https://editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV206_MD1_ID1619_TB353_03092024091948.pdf.

Drumond, M. A. 2005. Arborização urbana. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. (Documentos, 186). https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/133032/1/Arborizacao-urbana.pdf.

Drumond, M. A., L. F. Cavalcanti, e V. R. de Oliveira. 2012. Arborização urbana no semiárido: espécies potenciais da Caatinga. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. (Documentos, 243). https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/947072/1/Doc.243arborizacaourbana.pdf.

Fortaleza. Prefeitura Municipal, Secretaria Municipal do Urbanismo e Meio Ambiente (Seuma). 2020. Manual de arborização urbana de Fortaleza. Fortaleza: Seuma. https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/manuais/manual_arborizacao.pdf.

Organização das Nações Unidas (ONU). 2015. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11: Cidades e comunidades sustentáveis. https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11.

Organização das Nações Unidas (ONU). 2015. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15: Vida terrestre. https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/15.

Pinheiro, C. R., e D. Souza. 2017. "A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima." Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental 6 (1): 67–82.

Recife. Prefeitura da Cidade, Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SMAS). 2013. Manual de arborização: orientações e procedimentos técnicos básicos para a implantação e manutenção da arborização da cidade do Recife. Recife: SMAS. https://www2.recife.pe.gov.br/wp-content/uploads/Manual_Arborizacao.pdf.

Rodrigues, L. G., Y. N. Teixeira, E. L. Cândido, F. L. M. Souza, e A. C. M. Meireles. 2022. "Impacto da arborização na temperatura e umidade do ar em zona urbana do semiárido." Guaju 8: e77741. https://doi.org/10.5380/guaju.v8i0.77741.

Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, e D. W. Deering. 1974. "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS." In Third ERTS-1 Symposium, NASA SP-351, 309–317. Washington, D.C.: NASA.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112528

A ASCENSÃO DAS INDÚSTRIAS CALÇADISTAS NA REGIÃO NORDESTE E SEUS IMPACTOS COM BASE NA ESG

AUGE DE LAS INDUSTRIAS DEL CALZADO EN LA REGIÓN NORESTE Y SUS IMPACTOS BASADOS EN ESG

RISE OF FOOTWEAR INDUSTRIES IN THE NORTHEAST REGION AND ITS IMPACTS BASED ON ESG

Gisele Ventena de Medeiros[1], Lidielly de Oliveira Rodrigues[2], Thiago Silva Ricardo[3] e Monique da Silva Albuquerque Pinheiro[4].

[1]Discente do curso Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, gisele.ventena08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0005-1532-7342;
[2]Discente do curso Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, lidielly.rodrigues06@aluno.ifce.edu.br, 0009-0002-1934-5925;
[3]Discente do curso Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, thiago.ricardo09@aluno.ifce.edu.br, 0009-0003-6342-6359;
[4]Docente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, monique.albuquerque@ifce.edu.br, 0000-0002-8280-6272.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento sustentável
Environmental, Social and Governance (ESG).

Eje Temático 07 – Desarrollo sostenible
Environmental, Social and Governance (ESG).

RESUMO

O setor industrial de calçados no Brasil possui um extenso histórico. Estruturado nas fases um, dois e três, essa última, por sua vez, teve início na metade do século XX, mais precisamente por volta da década de 1990, e perdura até os dias atuais, sendo caracterizada por uma expansão industrial com enfoque exportador (Galvão, 2024). Em virtude dos fatos mencionados, os efeitos da indústria calçadista vêm repercutindo na economia nacional. Alguns analistas afirmam que as mudanças processuais de relocalização associadas se configuram como uma revolução. Tal situação circunstancial se mostrou aberta à investigação. O presente artigo objetivou analisar o processo de desconcentração espacial do setor, suas causas e efeitos socioambientais, bem como a efetivação da aplicabilidade da legislação ambiental, e a indicação de soluções que visem o desenvolvimento sustentável, fundamentando-se na agenda ESG. O estudo destacou que o fluxo de indústrias calçadistas para a região nordeste do país está diretamente relacionado à aplicação de incentivos fiscais governamentais e menores custos com a remuneração dos operários. Com base nos dados disponibilizados pela Abicalçados (2024), o estado do Ceará abrange a empresa calçadista responsável por cerca de 60% de toda a produção exportadora que consagra o somatório das exportações de federações nordestinas. Entretanto, a flexibilização das legislações ambientais se revelou como fator atrativo determinante, sendo a banalização das questões ambientais um insigne desafio ainda a ser

desmistificado, já que os aspectos relacionados ao meio ambiente natural não são considerados de maneira relevante, a pretexto de atender a demanda de mercado internacional e competir com os montantes dos calçados produzidos pelas demais nações. O presente artigo evidencia que a adoção de um sistema de gestão empresarial ambientalmente adequado é um fator de grande importância, tanto para atender as demandas socioambientais como para a aplicação de uma vantagem econômica de mercado, assim sendo benéfico para conseguir efetivar estratégias econômicas que visam a eficiência e a qualidade dos produtos.

Palavras-chave: Empresas de calçados, Desconcentração relativa, Legislaçã o ambiental, Desenvolvimento sustentável, ESG

RESÚMEN

La industria del calzado en Brasil tiene una larga historia. Estructurada en las fases uno, dos y tres, esta última comenzó a mediados del siglo XX, más precisamente alrededor de la década de 1990, y continúa hasta la actualidad, caracterizada por una expansión industrial con enfoque exportador (Galvão, 2024). Debido a los factores mencionados, los efectos de la industria del calzado han repercutido en la economía nacional. Algunos analistas argumentan que los cambios procedimentales de reubicación asociada constituyen una revolución. Esta situación circunstancial ha resultado ser objeto de investigación. Este artículo tuvo como objetivo analizar el proceso de desconcentración espacial del sector, sus causas y efectos socioambientales, así como la aplicabilidad efectiva de la legislación ambiental y la identificación de soluciones orientadas al desarrollo sostenible, basadas en la agenda ESG. El estudio destacó que el flujo de industrias del calzado hacia la región noreste del país está directamente relacionado con la aplicación de incentivos fiscales gubernamentales y la reducción de los costos de remuneración de los trabajadores. Según datos de Abicalçados (2024), el estado de Ceará es responsable de aproximadamente el 60% de la producción total de exportaciones de la industria del calzado de los estados de la región Nordeste. Sin embargo, la flexibilización de la legislación ambiental ha demostrado ser un factor de atracción determinante, en que la trivialización de las cuestiones ambientales representa un importante desafío, ya que los aspectos relacionados con el medio ambiente natural no se consideran relevantes, bajo el pretexto de satisfacer la demanda del mercado internacional y competir con el volumen de calzados producido por otros países. Este artículo destaca que la adopción de un sistema de gestión empresarial ambientalmente adecuado es un factor de gran importancia, tanto para satisfacer las demandas socioambientales como para obtener una ventaja económica en el mercado, lo que resulta beneficioso para la implementación de estrategias económicas orientadas a la eficiencia y la calidad del producto.

Palabras clave: Empresas de calzado, Desconcentración relativa, Legislación ambiental, Desarrollo sostenible, ESG

ABSTRACT

The footwear industry in Brazil has a long history. Structured in phases one, two, and three, the latter began in the mid-20th century, more precisely around the 1990s, and continues to this day, characterized by industrial expansion with an export focus (Galvão, 2024). Due to the

aforementioned factors, the effects of the footwear industry have been having repercussions on the national economy. Some analysts argue that the associated procedural changes in relocation constitute a revolution. This circumstantial situation has proven itself open to investigation. This article aimed to analyze the sector's spatial deconcentration process, its socio-environmental causes and effects, as well as the effective applicability of environmental legislation and the identification of solutions aimed at sustainable development, based on the ESG agenda. The study highlighted that the flow of footwear industries to the Northeast region of the country is directly related to the application of government tax incentives and lower worker compensation costs. Based on data provided by Abicalçados (2024), the state of Ceará is home to the footwear industry responsible for approximately 60% of all export production, which constitutes the combined exports of Northeastern federations. However, the relaxation of environmental legislation has proven to be a determining factor, with the trivialization of environmental issues representing a significant challenge yet to be demystified, as aspects related to the natural environment are not given significant consideration under the pretext of meeting international market demand and competing with the volume of footwear produced by other nations. This article highlights that adopting an environmentally sound business management system is crucial, both for meeting socio-environmental demands and for gaining an economic advantage in the market, thus being beneficial for implementing economic strategies aimed at efficiency and product quality.

Keywords: Footwear companies, Relative deconcentration, Environmental legislation, Sustainable development, ESG

INTRODUÇÃO

A indústria calçadista desempenha um papel de destaque na economia brasileira, sobretudo por sua capacidade de geração de empregos e inserção no comércio internacional. Nos últimos anos, este setor tem passado por transformações significativas, sobremaneira no que se refere à sua expansão para o Nordeste brasileiro, região com diversas condições favoráveis, dentre as quais se pode destacar a mão de obra disponível, os incentivos fiscais e as políticas de descentralização produtiva. Tal movimento vem ganhando destaque no estado do Ceará, o qual tem se consolidado como polo relevante da produção calçadista nacional (Mendes Junior, 2021).

A desconcentração relativa promovida pela indústria calçadista evidencia a reestruturação da economia e o novo papel dos governos na inserção das empresas no plano nacional e, por consequência, no contexto global vigente. O modelo pós-fordista de acumulação flexível apresenta diversos objetivos, entre os quais se destacam a constante desterritorialização das atividades econômicas e a emergência de um “novo trabalhador”, produzindo efeitos espaciais diversos. Nesse cenário, observa-se que as empresas tendem a se

instalar em áreas com mão de obra mais barata, menores exigências ambientais e mais distantes de regiões dominadas por sindicatos organizados (Galvão, 2024).

No âmbito socioeconômico e ambiental, a região Nordeste se configura como um território de "fuga", por representar a terceira fase da expansão da indústria calçadista no Brasil. Essa etapa visa reduzir os custos de produção frente à concorrência de países asiáticos, cujas exportações, nos anos 1970 e 1980, superavam as do Brasil (Galvão, 2024). Nessa lógica, a produção flexível estabelecida principalmente no Ceará se consolidou por meio de ampla flexibilização das exigências governamentais, sobretudo no que concerne à legislação ambiental. Embora o Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) seja um órgão estruturado, a fiscalização tende a ser insuficiente, permitindo a recorrência de ilegalidades.

Para além das questões legais, o setor calçadista adota a inovação como estratégia competitiva, buscando o "diferencial", evidenciado pela rápida transição das coleções de moda. Inserida em um sistema produtivo linear, a produção acelerada e em larga escala favorece tanto o acúmulo quanto o descarte precoce de produtos, contribuindo, assim, para a intensificação da degradação ambiental (Morais, 2021).

Diante desse quadro, o presente trabalho se configura com o objetivo de analisar e justificar o processo de desconcentração espacial do setor, destacando seus efeitos socioambientais à luz da flexibilização da legislação ambiental e as soluções que visem ao desenvolvimento sustentável, aplicando-se, assim, os fundamentos da ESG (Ambiental, Social e Governança) e evidenciando a relevância das filiais calçadistas para a economia brasileira e seu desempenho no comércio exterior.

METODOLOGIA

O presente estudo tem por base a revisão literária. Deste modo, visa a apresentação de um desenvolvimento focado na abordagem de diferentes perspectivas acerca do tema para a apuração cabal e qualitativa de informações, tornando o diagnóstico do estudo o mais consistente possível (Lakatos, 2006).

Adotou-se como ferramenta de busca Google Acadêmico, Scielo e ProQuest, sendo os dados coletados a partir de revistas eletrônicas e artigos. O uso de informações disponibilizadas pela Abicalçados foi indispensável, devido aos dados contidos nos relatórios disponibilizados. Preferiu-se a utilização das palavras-chave "indústria calçadista", "reestruturação espacial",

"flexibilização produtiva", "sustentabilidade" e "ESG" par a realização da pesquisa, a qual obteve mais de 1000 resultados convertidos em artigos, livros, teses e dissertações.

O estudo realizado foi limitado pela seleção de publicações recentes, compreendendo um intervalo de 8 anos, período compreendido entre 2017 e 2025, objetivando a reunião de dados relevantes, consistentes e de melhor compreensão acerca do presente tema.

Em virtude do percurso supracitado, fora possível discorrer acerca da ascensão do setor calçadista no Nordeste brasileiro, bem como do fenômeno da descentralização produtiva, suas motivações e consequências, fluxo brasileiro de exportações de calçados, legislação ambiental e aplicabilidade, além da reflexão acerca da adoção da agenda ESG como medida de intervenção, termo repercutido com a elaboração dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.1. A ascensão da indústria calçadista no Brasil e o histórico da legislação ambiental

No mundo globalizado, o vigente modelo capitalista contemporâneo se constitui da reestruturação do processo produtivo, sem a sua desvinculação com o objetivo de atender às demandas corporativas com a produção em larga escala. Assim, tem-se por consequência os regimes de especialização flexível das grandes corporações (Mendes Junior, 2021).

No Brasil, o fenômeno da especialização flexível é observado em diversas esferas econômicas de produção de bens de consumo. Um exemplo nítido desse processo, no que tange a sua relocalização geográfica para região Nordeste nos anos 1990 e que se sucede até os dias atuais, é a indústria calçadista, apresentando grande importância para a economia brasileira que, para além da geração de emprego, fomenta as exportações do país (Galvão, 2024).

Originalmente, antecedendo esse movimento, as firmas calçadistas brasileiras se concentravam, majoritariamente, no Rio Grande do Sul (região do Vale Sinos) e em São Paulo (cidade de Franca), desde a década de 1960, quando o mundo passou pela crise fordista de produção. Tal acontecimento acarretou enormes alterações ao setor industrial internacional, sobretudo, aos países desenvolvidos. Sendo assim, a reestruturação produtiva passou a se localizar em nações subdesenvolvidas — para a área dos calçados, destacam-se o Brasil e os países asiáticos (Galvão, 2024).

Outro fator de suma relevância para o vigor da flexibilização dos processos produtivos

está intrínseco a menores exigências ambientais dispostas nas regiões que recebem incentivos fiscais pela inserção de unidades industriais em seu território. Esse cenário é propenso aos impactos socioambientais adversos, que tendem a se caracterizar como prejudiciais pelo meio ambiente natural modificado, como também para os indivíduos inseridos em ambientes que sofram com o descarte inadequado de resíduos, a poluição em zona inadequada das cidades, entre outros (Morais, 2021).

Atualmente, o Brasil se destaca pela sua legislação ambiental bem fundamentada, cuja Lei nº 9.605/1998, conhecida como a "Lei de Crimes Ambientais", e o Decreto n° 6.514/2008, que a regulamenta, são os responsáveis por regular as penalidades inerentes às infrações do aspecto ambiental. Dessa forma, pressupõe-se que a fiscalização legal ocorre de maneira contínua, no entanto, o cenário em que o país se encontra atualmente demonstra carência na efetividade dos seus instrumentos para as repercussões da atividade produtiva, submetendo certas regiões a flexibilização da legislação vigente. Assim, os princípios do direito ambiental sofrem o efeito do *jus cogens*, indiretamente, a fim de atender as demandas do mercado (Alves, 2023).

O direito ambiental brasileiro, criado com o intuito de promover políticas públicas eficazes à composição de uma realidade socioambiental mais justa, conseguiu atingir o seu objetivo, predominantemente, nas regiões sul e sudeste do país. Por meio do monitoramento governamental, empresas locais foram impulsionadas à efetivação desses princípios. Ademais, na década de 1980, as entidades da maioria dos países do mundo analisaram a discussão sobre sustentabilidade, período em que fora publicado o relatório de Brundtland. No âmbito político, essas pautas culminaram na criação da ISO 14.001 que, traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ficou responsável por promover a articulação com o meio ambiente e o uso de seus insumos de maneira consciente pelo processo produtivo industrial, ou seja, pela criação de um sistema de gestão empresarial ambiental (Alves, 2023).

Dessarte, o setor calçadista brasileiro, apesar de esporadicamente buscar atender a ISO 14.001, ainda detém como premissa atender à legislação nacional e, como citado anteriormente, tem predomínio nas regiões de alta industrialização do país. Tal fator, consequentemente, encarece o montante de calçados produzidos, o que levou o Brasil à concorrência e ao rebaixamento no ranking de exportação, ficando atrás dos países asiáticos, na década de 1990 (Morais, 2021).

1.2. A produção flexível envolvendo o setor calçadista para a região Nordeste do Brasil

A expansão da indústria de calçados no Brasil pode ser categorizada em três fases: a primeira se encetou na década de 1960 e seguiu até meados da década de 1970, sendo caracterizada por uma indústria constituída de pequenas e médias empresas de produção, quase artesanal; já a segunda fase, com o estabelecimento verídico dos *clusters* do setor na região do Vale Sinos e em Franca, foi marcada pelo aumento significativo do fluxo de exportações. Além disso, as empresas se tornaram de grande porte, isto no período compreendido ao início dos anos 1970 e final dos anos 1980; por fim, a fase vigente está definida pela adoção do sistema de produção flexível e a relocalização geográfica para a região nordeste (Galvão, 2024).

O rearranjo das empresas calçadistas para os estados nordestinos é justificado pela dilaceração das barreiras do protecionismo das nações industrializadas, pelo êxito na concorrência asiática, tanto no mercado externo como interno, e pelo barateamento do custo no processo produtivo quanto à mão de obra, dado que nas regiões produtoras tradicionais havia grande engajamento nos movimentos trabalhistas, isto se sucedendo nos anos de 1990 (Mendes Junior, 2021).

A implementação do plano real estimulou, definitivamente, o estabelecimento das condições necessárias para o deslocamento das indústrias calçadistas, o qual intensificou a abertura comercial nacional, porém acarretou dificuldades ao processo de exportação de calçados. Para alguns analistas, essa relocalização geográfica é vista como uma enorme revolução no setor calçadista brasileiro (Galvão, 2024).

Sendo assim, segundo dados recentes de 2024, disponibilizados pela Abicalçados-Associação Brasileira das Indústrias de Calçados, a maioria das empresas do setor já opera em diversos estados nordestinos, atribuindo destaque para o Ceará, que abriga a quarta maior empresa de calçados do Brasil e, não obstante, destaca-se por abranger 60% de toda a produção da empresa no Nordeste, sendo sua produção destinada à exportação. Destaca-se ainda a dispersão, no que tange às empresas localizadas no estado, que, ao todo, representa um grande valor para a exportação nacional em razão do seu vasto potencial produtivo de pares, como atesta a “Figura 1’’.

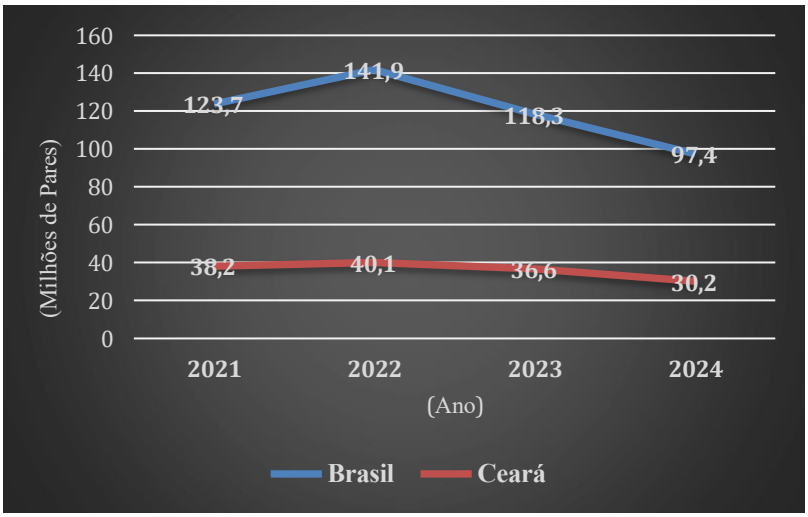


Figura 1. Exportações brasileiras de calçados pelo Brasil e pelo Ceará, no período de 2021 a 2024.
Fonte: Autores (2025), com base nos dados extraídos da Abicalçados e Secex (2021-2024).

Apesar destes fatores apresentarem inúmeras vantagens à economia do país e à fomentação da industrialização nordestina, é importante salientar que a situação das indústrias no Sul/Sudeste não demonstra ser tão favorável, posto que diversos trabalhadores perderam seus empregos. Para além disso, nos municípios nordestinos nos quais as empresas foram instaladas é predominante o esquema de subcontratação e terceirização, caracterizando, pelo menos a médio prazo, a exploração de mão de obra barata (Galvão, 2024).

Por outro lado, são presentes os grandes incentivos fiscais dos poderes executivo, favorecendo a produção através de cooperativas de trabalho. Em virtude dos fatos mencionados, é notório visualizar que a implementação das indústrias calçadistas no Nordeste representa de fato a desconcentração relativa de produção, proporcionando a industrialização, mas não o desenvolvimento no que diz respeito aos aspectos ambientais e sociais (Mendes Junior, 2021).

Cabe destacar que uma das maiores problemáticas das unidades industriais e sua formação de redes está no detrimento e na banalidade das questões ambientais. Empresas se instalam na região por meio de ações governamentais, porém não recebem monitoramento adequado para efetivação de uma gestão ambientalmente adequada (Morais, 2021).

No período histórico da primeira revolução industrial se observou as consequências negativas de focalizar na economia e omitir estratégias ambientais para preservação do ambiente natural. A Inglaterra, por exemplo, passou por diversas catástrofes ambientais e

esgotamentos de recursos naturais até para sua própria produção de bens.

É válido observar que o modelo produtivo adotado pelo setor calçadista ainda contribui significativamente para a poluição ambiental. Suas etapas, se não implantadas de forma ambientalmente adequada, podem corroborar para a poluição atmosférica; risco de contaminação do solo e dos mananciais por resíduos químicos e efluentes; comprometimento da saúde pública; esgotamento dos recursos naturais, em virtude da alta demanda de mercado, dentre outros (Alves, 2023). Portanto, para que a região nordestina não possua o vislumbre de sofrer essas consequências, torna-se necessário se instruir do passado e aplicar mudanças no presente.

Nesse sentido, em 2015, fora possível visualizar um avanço considerável quanto às questões ambientais, a partir da elaboração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre as 17 metas que constituem a Agenda 2030, destacam-se atribuições ligadas às práticas de desenvolvimento sustentável, o que estimulou o reaparecimento do termo ESG (Environmental, Social and Governance), o qual faz referência às empresas comprometidas com diretrizes sustentáveis (Alves, 2023).

A adoção da agenda ESG e o alinhamento às metas que compunham os ODS pelo setor calçadista implica na qualidade ambiental de um produto como fator de importância para empresa, não só como para a implementação de gestão empresarial ambiental adequada, mas para o gerenciamento efetivo dos recursos disponíveis (Morais, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria calçadista brasileira apresenta um cenário bastante complexo, se comparada a suas duas primeiras fases, apresentando diversos desafios econômicos a serem enfrentados, quando se trata da competitividade no exterior. Quando os competidores são os países subdesenvolvidos, o valor da mão de obra é fator determinante, posto que, para os países desenvolvidos, a fabricação de bens de alta qualidade, somado a mão de obra qualificada com alta tecnologia, consagram a competitividade.

Nesse cenário, observa-se que seu fluxo de desconcentração para a região Nordeste busca ficar à frente nas exportações do primeiro tipo de competidor. Vale destacar que a realidade do mundo contemporâneo, cercada de informações e concepções alicerçadas sobre a importância do meio ambiente natural e a preservação de seus recursos com a conciliação do meio social,

exige que as empresas mudem seu posicionamento quanto ao processo produtivo.

Por este motivo, a fim de obter vantagens econômicas, é mais eficaz para as empresas de calçados, que para além da sua mudança associada a relocalização geográfica, investirem em produtos fabricados por um sistema de gestão empresarial ambientalmente adequado. Para o setor da economia brasileira que depende da indústria calçadista, a adoção destes métodos seria capaz de estabelecer uma situação favorável ao país em relação à competição de mercado com as nações emergentes asiáticas e à produção de bens de alta qualidade, evidenciando, para o consumidor final, mais vantagens em relação à compra do produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, Ricardo Ribeiro. 2024. ESG: O presente e o futuro das empresas. Livro. Acesso em 29 de setembro de 2025. https://share.google/R37GLhfMmdxt7BkkZ

Galvão, Olímpio J. de Arroxelas. 2001. “Flexibilização produtiva e reestruturação espacial: considerações teóricas e um estudo de caso para a indústria de calçados no Brasil e no Nordeste.” Revista de Economia Política 21, nº 1: 78-100. https://www.scielo.br/j/rep/a/tNnzgpMw8d6G6NZWv6JmkRP/?lang=pt

Lakatos, Eva Maria e Marina de Andrade Marconi. *Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados*. 7th ed. São Paulo: Atlas, 2008. https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view

Mendes Júnior, Biagio de Oliveira. Couro e calçados – produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Bahia em 2021. Caderno Setorial ETENE, n. 196. Fortaleza: Banco do Nordeste / ETENE, novembro de 2021. PDF. https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1002/3/2021_CDS_196.pdf .

Morais, Gustavo Almeida de. 2021. *Sustentabilidade no Calçado: Um Olhar do Design Dentro da Economia Circular*. Tese de doutorado, Universidade do Minho. ProQuest Dissertations & Theses, nº 29010573. Acesso em 29 de setembro de 2025. https://www.proquest.com/openview/24fbaa7cd2579e8fd5812f760a065395/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112585

A IMPORTÂNCIA DO ENVOLVIMENTO DOS GESTORES MUNICIPAIS EM PROJETOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE DO PROJETO SUSTENTAR RURAL NO CEARÁ.

LA IMPORTANCIA DE LA PARTICIPACIÓN DE LOS GESTORES MUNICIPALES EN PROYECTOS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL: UN ESTUDIO DE CASO DEL PROYECTO SUSTENTAR RURAL EN CEARÁ

THE IMPORTANCE OF MUNICIPAL MANAGERS' PARTICIPATION IN ENVIRONMENTAL EDUCATION PROJECTS: A CASE STUDY OF THE SUSTENTAR RURAL PROJECT IN CEARÁ

Alyne Gessick Pinheiro da Silva Lima[1], Jane Paulino Pereira[2], Alaíde Régia Sena Nery de Oliveira[3] e Daniel Salgado Pifano[4].

[1]Doutoranda em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial- PPGADT, UNIVASF, Petrolina, Brasil, alynegessick@gmail.com, 0000-0003-0143-3548;
[2] Prof. Dr. da UNIVASF, UNIVASF, Petrolina, Brasil, daniel.pifano@univasf.edu.br, 0000-0001-8361-7337.
[3]Doutoranda em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial - PPGADT, UNIVASF, Petrolina, Brasil janepaulino2@gmail.com, 0009-0002-3893-3845;
[4]Doutoranda em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial - PPGADT, UNIVASF, Petrolina, Brasil, alaide.oliveira@discente.univasf.edu.br, 0000-0002-2911-615X;

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Educación ambiental y concienciación para el saneamiento.

Thematic Axis 07 – Sustainable Development
Environmental education and awareness for sanitation.

RESUMO

A Educação Ambiental e em Saúde (EAS) configura-se como estratégia fundamental para garantir a sustentabilidade de projetos de saneamento, particularmente em regiões semiáridas como o Ceará. Frequentemente, a efetividade e a perenidade dessas iniciativas são comprometidas pela limitada compreensão de sua relevância e pela carência de orientações sobre o uso adequado dos sistemas implantados. Nesse cenário, a educação ambiental emerge como elemento indispensável. Entre as atribuições municipais, destaca-se não apenas a incorporação da educação ambiental nas políticas públicas, mas também o fomento a iniciativas que promovam benefícios concretos para as comunidades locais. A partir do Projeto Sustentar Rural, uma iniciativa da FUNASA em parceria com a UNIVASF, foram realizadas oficinas de educação e saúde ambiental em municípios que receberam sistemas de abastecimento de água com recursos provenientes da FUNASA. Neste contexto, este estudo tem como propósito examinar a correlação entre o nível de envolvimento dos gestores públicos em 17 municípios

cearenses e o número de certificados emitidos, que comprovam a participação nas oficinas realizadas pelo Projeto Sustentar Rural. A análise de dados quantitativos relativos ao envolvimento dos gestores e à quantidade de certificados concedidos revelou que os municípios com maior engajamento (classificados com notas 4 e 5) apresentaram uma média de 14,77 certificados por município, enquanto aqueles com baixa participação (notas 1 e 2) registraram apenas 7,66. O caso emblemático de Jati, onde não houve nenhuma participação, evidencia de forma contundente as consequências da desmobilização municipal. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de integrar a EAS de maneira estrutural às políticas públicas de saneamento, superando a abordagem pontual que historicamente a relegou a um plano secundário. Conclui-se que o comprometimento efetivo dos gestores municipais representa fator determinante para o êxito das ações educativas, demandando, para tanto, a criação de mecanismos institucionais capazes de estimular e manter sua participação ativa e contínua.

Palavras-chave: Educação Ambiental, Gestão Municipal, Participação Social, Sustentabilidade.

RESÚMEN

La Educación Ambiental y en Salud (EAS) se configura como una estrategia fundamental para garantizar la sostenibilidad de los proyectos de saneamiento, particularmente en regiones semiáridas como Ceará. Frecuentemente, la efectividad y la continuidad de estas iniciativas se ven comprometidas por la limitada comprensión de su relevancia y por la carencia de orientaciones sobre el uso adecuado de los sistemas implementados. En este escenario, la educación ambiental emerge como un elemento indispensable. Entre las atribuciones municipales, se destaca no solo la incorporación de la educación ambiental en las políticas públicas, sino también el fomento de iniciativas que promuevan beneficios concretos para las comunidades locales. A partir del Proyecto Sustentar Rural —una iniciativa de FUNASA en colaboración con la UNIVASF— se llevaron a cabo talleres de educación y salud ambiental en municipios que recibieron sistemas de abastecimiento de agua con recursos provenientes de FUNASA. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo examinar la correlación entre el nivel de participación de los gestores públicos en 17 municipios de Ceará y el número de certificados emitidos, los cuales acreditan la participación en los talleres realizados por el Proyecto Sustentar Rural. El análisis de datos cuantitativos relativos al grado de involucramiento de los gestores y a la cantidad de certificados otorgados reveló que los municipios con mayor compromiso (clasificados con notas 4 y 5) presentaron un promedio de 14,77 certificados por municipio, mientras que aquellos con baja participación (notas 1 y 2) registraron apenas 7,66. El caso emblemático de Jati, donde no se registró ninguna participación, evidencia de manera contundente las consecuencias de la desmovilización municipal. Los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de integrar la EAS de manera estructural en las políticas públicas de saneamiento, superando el enfoque puntual que históricamente la ha relegado a un segundo plano. Se concluye que el compromiso efectivo de los gestores municipales representa un factor determinante para el éxito de las acciones educativas, lo cual demanda la creación de mecanismos institucionales capaces de incentivar y mantener su participación activa y continua.

Palabras clave: Educación Ambiental, Gestión Municipal, Participación Social, Sostenibilidad.

ABSTRACT

Environmental and Health Education (EHE) is positioned as a fundamental strategy to ensure the sustainability of sanitation projects, particularly in semi-arid regions such as Ceará. The effectiveness and continuity of these initiatives are often compromised by a limited understanding of their relevance and a lack of guidance on the proper use of the implemented systems. In this context, environmental education emerges as an essential element. Among the responsibilities of municipal governments, not only the incorporation of environmental education into public policies stands out, but also the promotion of initiatives that bring tangible benefits to local communities. Through the Sustentar Rural Project—an initiative by FUNASA in partnership with UNIVASF—environmental and health education workshops were conducted in municipalities that received water supply systems funded by FUNASA. Within this framework, the present study aims to examine the correlation between the level of participation of public managers in 17 municipalities of Ceará and the number of certificates issued, which attest to participation in the workshops conducted by the Sustentar Rural Project. The analysis of quantitative data related to the degree of manager involvement and the number of certificates granted revealed that municipalities with higher engagement (rated 4 and 5) had an average of 14.77 certificates per municipality, whereas those with lower participation (rated 1 and 2) registered only 7.66. The emblematic case of Jati, where there was no participation at all, clearly illustrates the consequences of municipal disengagement. The results reinforce the need to structurally integrate EHE into public sanitation policies, moving beyond the fragmented approach that has historically relegated it to a secondary role. It is concluded that the effective commitment of municipal managers is a determining factor for the success of educational actions, which requires the creation of institutional mechanisms capable of encouraging and sustaining their active and continuous participation.

Keywords: Environmental Education, Municipal Management, Social Participation, Sustainability.

INTRODUÇÃO

A Educação Ambiental e em Saúde (EAS) é estratégica para a sustentabilidade de projetos de saneamento, especialmente em regiões semiáridas como o Ceará. A Funasa (Fundação Nacional de Saúde) fomenta ações nessa área, visando inclusão social, promoção e proteção da saúde, por meio de apoio a gestores e técnicos (FUNASA, 2023).

O Plano Nacional de Saneamento Rural (PNSR, 2019) estabelece a necessidade de um programa nacional de capacitação, sob a coordenação da Funasa, que considere as particularidades das comunidades rurais. Para atender a essa diretriz, foi elaborado o Plano de Trabalho do TED nº 01/2022 – Projeto Sustentar Rural, em parceria com a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), com o objetivo de capacitar multiplicadores

em 64 municípios cearenses.

O público-alvo da iniciativa inclui técnicos municipais de setores como vigilância sanitária e secretarias afins, além de agentes comunitários de saúde, agentes de endemias, professores da rede pública e lideranças comunitárias. A capacitação é realizada na sede do dos municípios e abordam temas como sustentabilidade, qualidade da água, boas práticas domiciliares e gestão de sistemas de abastecimento. Umas das metas do projeto é a elaboração de um plano de ação em conjunto com os participantes, com o propósito de que estes repassem os conhecimentos adquiridos para as comunidades rurais que tenham sido beneficiadas por obras de abastecimento de água, atuando assim como multiplicadores.

Em cada cidade, um gestor e dois auxiliares foram designados por meio de portaria emitida pelo município, onde estes tinhama função de acompanhar e apoiar a execução das capacitações, juntamente com a equipe da UNIVASF. Durante a etapa de execução das oficinas, a equipe responsável percebeu uma aparente relação entre o nível de engajamento do gestor local e a taxa de participação nas atividades. Municípios com gestores proativos e participativos tendiam a apresentar maior adesão, enquanto naqueles com suporte institucional frágil observou-se uma maior evasão.

Diante dessa percepção, o presente estudo tem como objetivo investigar a relação entre o envolvimento dos gestores municipais responsáveis pela seleção e convocação do público-alvo e o índice de participação nas oficinas. Para tanto, analisa-se a relação entre o nível de engajamento dos gestores (classificado em escala de 0 a 5) e a adesão às capacitações (mensurada pela emissão de certificados) em 17 municípios cearenses. A análise mostra-se relevante para o campo das políticas públicas, pois permite avaliar a efetividade de iniciativas de formação e verificar em que medida o engajamento local influencia os resultados obtidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo adota uma abordagem quantitativa (GIL, 2008), com ênfase em uma análise descritiva e comparativa entre os grupos de envolvimento. O foco esteve em compreender como diferentes níveis de engajamento dos gestores se relacionaram com a mobilização para as oficinas, reconhecendo, ainda, a influência de fatores contextuais que podem ter interferido nesse processo.

Para fins desta pesquisa, foram estabelecidos critérios de análise que permitiram relacionar o nível de engajamento dos gestores municipais com a participação registrada nas

oficinas. Como referência, considerou-se o número de certificados emitidos por município, definido a partir da presença mínima em dois encontros (LAKATOS; MARCONI, 2010, p. 72). Esse indicador serviu como parâmetro de adesão e possibilitou observar em que medida a atuação dos gestores influenciou a participação das equipes locais.

Para avaliar o nível de envolvimento, foi utilizada uma escala de classificação composta por seis níveis (0 a 5), conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Escala de Qualificação

Nota	Classificação	Descrição
0	Nulo	Sem participação ou engajamento identificável.
1	Mínimo	Envolvimento esporádico, sem impacto significativo.
2	Básico	Participação limitada, cumpre apenas o essencial.
3	Intermediário	Envolvimento regular, com contribuições pontuais relevantes.
4	Alto	Participação ativa e consistente, com contribuições acima da média.
5	Excelente	Envolvimento excepcional, com liderança, iniciativa e resultados destacados.

Fonte: Autor (2025).

O valor 0 (zero) corresponde à ausência de engajamento e o valor 5 (cinco) indica envolvimento máximo, caracterizado por liderança, iniciativa e contribuições destacadas, enquanto os demais níveis refletem graduações intermediárias de participação. Essa classificação foi atribuída pela equipe executora do projeto após a finalização das oficinas nos 17 municípios participantes, com base no contato direto com os gestores designados por portaria.

A estrutura da escala seguiu a lógica de instrumentos do tipo Likert (1932), amplamente utilizados nas ciências sociais para avaliar atitudes e percepções. O embasamento teórico adotado baseia-se em Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004), que descrevem o engajamento como um construto multidimensional, envolvendo dimensões comportamentais, emocionais e cognitivas. Dessa forma, a escala aqui proposta busca refletir gradativamente essas dimensões, passando de uma condição de não participação até o envolvimento excepcional.

Entre os aspectos considerados para atribuição da nota aos gestores estiveram: apoio na organização (local adequado, divulgação, articulação de alimentação); interação nos grupos de comunicação; comprometimento com os pactos definidos na etapa inicial; qualidade da

comunicação dos gestores e técnicos municipais com a equipe do projeto; e presença durante as oficinas.

O Projeto Sustentar Rural contempla 64 municípios, organizados em blocos para fins de execução. Para esta pesquisa, foram consideradas as cidades do Bloco 01, único que havia concluído suas atividades no momento do estudo. A escolha desse bloco justifica-se também pelo fato de todas as oficinas terem sido conduzidas pela mesma equipe, garantindo maior uniformidade na aplicação dos critérios de avaliação e evitando variações decorrentes de múltiplos avaliadores. Os municípios integrantes do Bloco 01 são: Acopiara, Aiuaba, Araripe, Aurora, Baixio, Campos Sales, Caririaçu, Crato, Ipaumirim, Jardim, Jati, Lavras da Mangabeira, Mauriti, Missão Velha, Santana do Cariri, Umari e Várzea Alegre.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o desempenho dos municípios no Projeto Sustentar Rural, classificando-os em seis níveis de envolvimento dos gestores (de "Nulo" a "Excelente"). Para cada categoria, são indicados o número de municípios e a média de certificados emitidos nas oficinas de EAS.

Tabela 2. Desempenho por nível de envolvimento

Nível de envolvimento	Municípios	Média de Certificados
Excelente	6	16
Alto	3	12,33
Intermediário	4	10,25
Básico	2	9
Mínimo	1	5
Nulo	1	0

Fonte: Autor (2025).

Os dados revelam forte relação entre engajamento municipal e participação comunitária nas ações educativas. Municípios com alto envolvimento (notas 4-5) apresentaram média de 14,22 certificados, enquanto Santana do Cariri (nota 1) teve apenas 5, devido a problemas logísticos por conta de chuva e dificuldade de transporte até a sede municipal. Jati (nota 0) foi excluído do projeto em razão da ausência total de participantes, mesmo após os preparativos formais realizados. Embora o gestor tenha confirmado previamente a realização da oficina junto à equipe, não houve qualquer ação de comunicação ou convite dirigido ao público que deveria ter sido mobilizado para o encontro. Dos 9 (nove) municípios com notas 4-5, 5 superaram as vagas oferecidas (Caririaçu: 20; Várzea Alegre: 17; Crato e Ipaumirim: 16 cada

e Acopiara (14), demonstrando comprometimento ativo das gestões. Nos municípios que apresentaram alta participação, destacaram-se aspectos positivos como a adequada escolha do público-alvo (em consonância com as orientações da Univasf), a convocação efetiva dos participantes, a liberação dos postos de trabalho para viabilizar a presença dos envolvidos, o reconhecimento dos gestores quanto à relevância da capacitação para o município, a comunicação clara e assertiva com a equipe executora e a articulação para garantir um local apropriado à realização das oficinas.

Municípios nota 5 emitiram 109% mais certificados que os nota 2, e aqueles com alto engajamento (notas 4-5) tiveram 93% mais adesão que os de baixo desempenho (notas 1-2), comprovando o impacto decisivo, porém não exclusivo, da gestão municipal nos resultados.

A falta de engajamento municipal comprometeu o impacto do projeto, evidenciando que a participação ativa das equipes locais é essencial. Entre as causas do baixo envolvimento destacam-se a má designação de pessoal e a sobrecarga de servidores. Somam-se ainda a alta rotatividade de profissionais nos cargos, a ausência de capacitação específica para as funções desempenhadas, a limitada autonomia decisória de alguns gestores diante de estruturas hierárquicas rígidas, além da falta de priorização política do tema no âmbito municipal. Também foram observadas fragilidades na comunicação interna entre secretarias e dificuldades de planejamento diante de agendas conflitantes.

Para a CNM (2025) os municípios têm papel estratégico na implementação de ações como a capacitação de recursos humanos, desenvolvimento de pesquisas e produção de materiais educativos. Neste sentido uma das limitações que poderiam ser levantadas é a limitação financeira, no entanto, o Projeto Sustentar Rural, através do financiamento da Funasa, eliminou barreiras financeiras críticas como: transporte de instrutores capacitados até os municípios, materiais didáticos, alimentação durante oficinas, emissão de certificados e entrega de material didático. Mesmo oferecendo sem ônus todos estes itens, ainda assim, em alguns municípios não foi possível perceber interesse e envolvimento claro e atuante. Este fato revela que a limitação financeira não é a principal causa da inexecução de ações e projetos no âmbito municipal.

Algumas prefeituras possuem uma falsa percepção de autossuficiência, onde interpretam o financiamento total do projeto e oficinas como substituto de sua participação ativa. Outro fator é a assimetria de compromisso, pois enquanto a Funasa arcou com 100% dos

custos, parte dos municípios não cumpriram contrapartidas básicas como mobilização dos participantes, divulgação das oficinas ou cessão de espaços adequados.

Segundo o relatório Gallup (2025), 77% dos trabalhadores estão desestimulados e 70% do engajamento da equipe está diretamente ligado ao gerente, destacando a importância de líderes bem preparados e apoiados. Gestores desengajados impactam negativamente a produtividade e podem gerar graves impactos aos resultados. Outro dado relevante é que apenas 44% dos gerentes receberam treinamento, mostrando que a falta de capacitação impacta diretamente no engajamento das equipes.

Para engajar as pessoas e aumentar seu interesse e comprometimento com o trabalho voltado para os objetivos da instituição, uma liderança eficaz é fundamental. São as habilidades técnicas e comportamentais desses líderes, tanto como educadores quanto como mobilizadores de competências específicas dentro de suas equipes e instituições, que terão um papel predominante nos resultados das iniciativas de cooperação (BERGUE ou BRASIL, 2019).

Dessa forma, municípios com ausência de lideranças fortes podem tender a tratar projetos como "eventos isolados", sem apropriação, envolvimento e valorização da parceria que contribuirá para o desenvolvimento do município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia que o sucesso da EAS no Ceará está intrinsecamente ligado ao comprometimento dos gestores municipais. Projetos de saneamento devem incorporar a educação ambiental como eixo central, não como atividade acessória. A experiência de municípios como Caririaçu e Várzea Alegre demonstra que, quando há vontade política e real envolvimento dos gestores municipais à frente de cargos de liderança, a EAS se torna catalisadora de transformações socioambientais duradouras.

A discussão destaca a necessidade de mecanismos que assegurem a contrapartida institucional municipal em projetos financiados por entes federais, propondo a integração da EAS às políticas públicas locais de saneamento como estratégia de sustentabilidade.

O trabalho revelou uma relação positiva, pois identificou que níveis mais altos de envolvimento estão associados a maior emissão de certificados, o que reflete mais participação e menor índice de evasão.

Os resultados revelam disparidades significativas, reforçando a tese de que a baixa priorização da EAS pelos governos locais compromete sua eficácia. Assim, a liderança atuante

não é apenas um facilitador, mas condição necessária para que a participação social vá além da retórica e se transforme em ação concreta. Projetos que investem no empoderamento de líderes locais alcançam não apenas melhores resultados imediatos, mas legados de transformação socioambiental.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e a Fundação Nacional de Saúde (Funasa).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bergue, Sandro Trescastro. *Gestão de pessoas: liderança e competências para o setor público*. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (ENAP) e Sociedade Brasileira de Administração Pública (SBAP), 2019. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4283/1/7_Livro_Gest%C3%A3o%20de%20pessoas%20lideran%C3%A7a%20e%20compet%C3%AAncias%20para%20o%20setor%20p%C3%BAblico.pdf.

BRASIL. Escola Nacional de Administração Pública (ENAP). Gestão de pessoas, liderança e competências para o setor público. Brasília: ENAP, 2016. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4283/1/7_Livro_Gest%C3%A3o%20de%20pessoas%20lideran%C3%A7a%20e%20compet%C3%AAncias%20para%20o%20setor%20p%C3%BAblico.pdf. Acesso em: 02 fev.2025.

Brasil. Lei nº 13.019, de 31 de julho de 2014. *Estabelece o regime jurídico das parcerias entre a administração pública e as organizações da sociedade civil.* Diário Oficial da União,

Brasília, DF, 31 jul. 2014. Acesso em 17 de agosto de 2025. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13019.htm

Confederação Nacional de Municípios (CNM). "CNM reforça papel dos municípios na educação ambiental em data comemorativa de 50 anos de celebração do tema". Acesso em 17 de agosto de 2025. *CNM – Comunicação*.

Freitas, Igor Wescley Silva. *Um estudo comparativo de técnicas de detecção de outliers no contexto de classificação de dados*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2019. Acesso em 17 de agosto de 2025. https://ppgcc.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/42/2019/03/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Igor-W.-S.-Freitas-1.pdf.

FREDRICKS, J. A.; BLUMENFELD, P. C.; PARIS, A. H. *School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence*. Review of Educational Research, v. 74, n. 1, p. 59–109, 2004.

Fundação Nacional de Saúde (Funasa), *Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)*, publicado em 3 de dezembro de 2019; última modificação em 25 de novembro de 2021, acesso em 17 de agosto de 2025.

Fundação Nacional de Saúde (Funasa). "Educação em Saúde Ambiental". Última modificação em 7 de fevereiro de 2023. Acesso em 02 de agosto de 2025. http://www.funasa.gov.br/educacao-em-saude-ambiental.

Fundação Nacional de Saúde (Funasa). *Extrato do Termo de Execução Descentralizada (TED) nº 01/2022 – SUEST-CE/FUNASA – Projeto Sustentar Rural.* Publicado em 22 de dezembro de 2022; atualizado em 18 de junho de 2024. Acesso em 17 de agosto de 2025. https://www.funasa.gov.br/termos-de-execucao-descentralizada-ted.

Gallup Inc. *State of the Global Workplace: 2025 Report*. Publicado em 2025. Acesso em 10 de julho de 2025. https://www.gallup.com/workplace/349484/state-of-the-global-workplace.aspx.

GIL, Antonio Carlos. "Como elaborar projetos de pesquisa". 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2022: primeiros resultados*. Primeiros dados divulgados em 28 de junho de 2023.

LAKATOS, Eva Maria;Marconi, Marina de Andrade. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LIKERT, R. (1932). *A Technique for the Measurement of Attitudes*. Archives of Psychology, 140, 1–55.

MONTGOMERY, Douglas C., Elizabeth A. Peck, e G. Geoffrey Vining. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 6ª ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2021. ISBN 978-1119578727.

Tribunal de Contas da União (TCU). *Referencial Básico de Governança Organizacional*. Brasília, 2020, p. 15. Acesso em 17 de agosto de 2025. https://conaci.org.br/wp-content/uploads/2022/02/MANUAL-EM-PDF_26_01.pdf

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112608

ACESSO UNIVERSAL E EQUITATIVO A ÁGUA POTÁVEL E SEGURA NO MEIO RURAL BRASILEIRO COM SOLUÇÕES ALTERNATIVAS E SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

ACCESO UNIVERSAL Y EQUITATIVO AL AGUA POTABLE Y SEGURA EN LAS ZONAS RURALES DE BRASIL CON SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE AGUA

UNIVERSAL AND EQUITABLE ACCESS TO SAFE AND DRINKING WATER IN RURAL BRAZIL WITH ALTERNATIVE SOLUTIONS AND PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEMS

Lucas Breno dos Santos[1] e Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[2]

[1]Mestrando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, lucas.breno@ufpe.br, 0009-0002-0232-8408;
[2]Doutor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br, 0000-0003-3475-1454;

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Desafios e oportunidades na universalização do saneamento rural.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Desafíos y oportunidades em la universalización del saneamiento rural.

RESUMO

As metas do sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) visam assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento. Neste estudo, objetiva-se analisar o acesso a água potável e segura em áreas rurais, a partir da consolidação e análise dos dados, dos sistemas nacionais de saneamento, referentes ao índice de atendimento da população rural (IAR) com rede de abastecimento de água, das soluções alternativas implantadas nestas áreas, da existência da Política Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e do Plano de Saneamento Básico (PSB) e da evolução histórica dos principais indicadores operacionais e financeiro dos sistemas de abastecimento de água (SAA) relacionados com os ODS e a Lei 14.026/2020. Em 2023, cerca de 94% dos municípios brasileiros participaram do Módulo de SAA do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, enquanto 81% no de Gestão Municipal. Estima-se que 45% dos municípios possuem a PMSB e 56% o PSB. Dos PSBs existentes, 96% contemplam o SAA e destes, 58% abrangem as áreas rurais. A falta de instrumentos políticos corrobora para baixos IARs. Cerca de 65% dos municípios possuem IAR menor ou igual a 25% e mais de 30% da população rural (PR) do Centro-Oeste, Sudeste e Sul possuem, como fonte principal de abastecimento, poço ou nascente. Mas, apenas 17% dos municípios declararam utilizar alguma forma de tratamento e 16% possuir algum controle de qualidade das águas oriundas das soluções alternativas. Neste contexto, o Brasil deve avançar no acesso universal, equitativo e seguro da água. Os baixos valores de IAR e os altos valores do consumo per capita de água, das perdas de água na distribuição e na ligação e a da tarifa média de água afetam negativamente algumas metas do ODS 6 e de outros: Erradicação da Pobreza, Saúde e Bem-Estar, Consumo e Produção Responsáveis e entre outros. Assim, o

estudo apresenta o desafio em atingir as metas do ODS em 2030 e da Lei 14.026/2020 em 2033, sendo necessária a participação mais ativa e enérgica dos agentes responsáveis, com aplicação estratégica dos recursos financeiros e tecnológicos e elaboração, implementação e gerenciamento de políticas públicas de saneamento.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável, Universalização no Meio Rural, Abastecimento Rural, Políticas de Saneamento, Abastecimento Seguro

RESÚMEN

Las metas del sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) buscan garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua potable y el saneamiento. Este estudio busca analizar el acceso al agua potable en zonas rurales mediante la consolidación y el análisis de datos de los sistemas nacionales de saneamiento, incluyendo el índice de cobertura de la población rural (IPR) con red de abastecimiento de agua, las soluciones alternativas implementadas en estas zonas, la existencia de la Política Municipal de Saneamiento Básico (PMSB) y el Plan de Saneamiento Básico (PSB), y la evolución histórica de los principales indicadores operativos y financieros de los sistemas de abastecimiento de agua (SAS) relacionados con los ODS y la Ley 14.026/2020. En 2023, aproximadamente el 94% de los municipios brasileños participaron en el Módulo SAA del Sistema Nacional de Información de Saneamiento Básico, mientras que el 81% participó en el Módulo de Gestión Municipal. Se estima que el 45% de los municipios cuentan con un PMSB y el 56% con un PSB. De los PSB existentes, el 96% incluye SAA, y de estos, el 58% cubre áreas rurales. La falta de instrumentos de política contribuye a los bajos IAR. Aproximadamente el 35% de los municipios tienen un IAR menor o igual al 25%, y más del 30% de población rural en las regiones Centro-Oeste, Sudeste y Sur tienen un pozo o manantial como su principal fuente de suministro de agua. Sin embargo, sólo el 17% de los municipios declaró utilizar algún tipo de tratamiento y el 16% tener algún control de calidad sobre el agua a partir de soluciones alternativas. En este contexto, Brasil debe avanzar hacia el acceso universal, equitativo y seguro al agua. Los bajos valores de IAR y el alto consumo per cápita de agua, las pérdidas de agua durante la distribución y conexión, y la tarifa promedio del agua impactan negativamente en algunas metas del ODS 6 y otras: Erradicación de la Pobreza, Salud y Bienestar, Consumo y Producción Responsables, entre otras. Por lo tanto, el estudio presenta el desafío de alcanzar las metas de los ODS para 2030 y la Ley 14.026/2020 para 2033, lo que requiere una participación más activa y enérgica de los actores responsables, mediante la aplicación estratégica de recursos financieros y tecnológicos, y el desarrollo, la implementación y la gestión de políticas públicas de saneamiento.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible, Universalización em Zonas Rurales, Abastecimento Rural, Políticas de Saneamiento, Abastecimiento Seguro

ABSTRACT

The targets of the sixth Sustainable Development Goal (SDG) aim to ensure the availability and sustainable management of drinking water and sanitation. This study aims to analyze access to safe drinking water in rural areas by consolidating and analyzing data from national

sanitation systems, including the rural population coverage index (RPI) with a water supply network, alternative solutions implemented in these areas, the existence of the Municipal Basic Sanitation Policy (PMSB) and the Basic Sanitation Plan (PSB), and the historical evolution of the main operational and financial indicators of water supply systems (WSS) related to the SDGs and Law 14.026/2020. In 2023, approximately 94% of Brazilian municipalities participated in the SAA Module of the National Basic Sanitation Information System, while 81% participated in the Municipal Management Module. It is estimated that 45% of municipalities have a PMSB and 56% have a PSB. Of the existing PSBs, 96% include SAA, and of these, 58% cover rural areas. The lack of policy instruments contributes to low IARs. Approximately 35% of municipalities have an IAR less than or equal to 25%, and more than 30% of rural population (PR) in the Central-West, Southeast, and South regions have a well or spring as their main source of water supply. However, only 17% of municipalities declared using some form of treatment and 16% having some quality control over water from alternative solutions. Low IAR values and high per capita water consumption, water losses during distribution and connection, and the average water tariff negatively impact some SDG 6 targets and others: Poverty Eradication, Good Health and Well-being, Responsible Consumption and Production, and others. Thus, the study presents the challenge of achieving the SDG targets by 2030 and Law 14.026/2020 by 2033, requiring more active and energetic participation by responsible stakeholders, with the strategic application of financial and technological resources and the development, implementation, and management of public sanitation policies.

Keywords: Sustainable Development, Universalization in Rural Areas, Rural Supply, Sanitation Policies, Safe Supply

INTRODUÇÃO

Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), definidos em 2015 pelos 193 Estados membros da Organização das Nações Unidas, compõem um plano de ação global com 169 metas que visa extinguir a pobreza extrema e fome, ofertar educação de qualidade, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030 (NU BRASIL 2025).

O ODS 6 busca garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento, com metas como: acesso universal e equitativo à água potável e segura; aumento substancial da eficiência do uso da água em todos os setores; garantia de retiradas sustentáveis e abastecimento de água doce para enfrentar a escassez hídrica; proteção e restauração de ecossistemas relacionados com a água, como os aquíferos, e fomento da participação das comunidades locais para melhorar a gestão da água e do saneamento (NU BRASIL 2025).

No Brasil, a falta de esforços em projetos focados no meio rural e em municípios mais deficitários frente o aumento da participação privada na prestação dos serviços urbanos de água

afeta o alcance das metas do ODS 6. Ações diretas de saneamento nas áreas rurais são realizadas através de programas, projetos e financiamento de soluções alternativas, em parceria com associações de beneficiários e organizações sociais (IPEA 2024).

A falta de universalização do saneamento básico não frustra apenas as metas do ODS 6, mas impactam, em certa medida, outros ODS, como, o de Erradicação da pobreza (ODS 1), Saúde e bem-estar (ODS 3), Indústria, inovação e infraestrutura (ODS 9), Consumo e produção responsáveis (ODS 12) e Ação contra a mudança global do clima (ODS 13).

Parte das alterações promovidas pela Lei nº 14.026/2020 – o Novo Marco Legal do Saneamento Básico – necessitam de validação em relação aos princípios dos direitos humanos e aos compromissos com os ODS. A divisão do mercado urbano da prestação de serviços de água entre empresas públicas e privadas, garantindo ajustes de tarifas e lucros, faz com que o poder público assuma mais responsabilidade do saneamento rural (IPEA 2024).

Desta forma, objetiva-se, a partir dos resultados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) em 2024, com ano de referência 2023, avaliar a universalização do sistema de abastecimento de água (SAA) no meio rural brasileiro e as soluções alternativas implantadas nestas áreas, à luz das metas estabelecidas nos ODS e do Marco Legal do Saneamento, assim como, a performance dos principais indicadores operacionais e financeiro no período de 2015 a 2023, utilizando também o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que trazem indícios sobre a eficiência dos SAAs.

MATERIAIS E MÉTODOS

A partir dos Módulos de Abastecimento de Água e de Gestão Municipal (MCID 2025a), foi possível obter, consolidar e discutir os dados municipais sobre o atendimento da população rural com rede de abastecimento de água e a utilização de soluções alternativas para os domicílios não conectados à rede pública, avaliando também, a existência ou não de tratamento e controle de qualidade da água, dos responsáveis pela operação e das possíveis cobranças, em especial, da população rural que utiliza poços ou nascentes como solução alternativa. Desta forma, é possível avaliar o cenário do acesso à água potável e segura no meio rural brasileiro.

Procedimento análogo aos dados referentes aos municípios possuírem a Política Municipal de Saneamento Básico e do Plano de Saneamento Básico (PSB) que asseguram, principalmente, a saúde pública, a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável,

através do acesso ao saneamento básico. Analisou-se ainda se os PSBs contemplavam o sistema de abastecimento de água e, em caso afirmativo, se as áreas rurais eram abrangidas no plano.

Por fim, a partir da consulta e consolidação dos dados municipais referente ao período de 2015 a 2023, do SINISA (MCID 2025a) e do SNIS (MCID 2025b), avaliou-se a evolução histórica dos principais indicadores operacionais e financeiro, que são: o consumo médio per capita de água, as perdas de água na distribuição e na ligação e a tarifa média de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira coleta de dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) em 2024, com ano de referência 2023, registrou-se maior participação dos municípios no módulo de Abastecimento de Água (MAA) frente ao de Gestão Municipal (MGM), sendo este último, uma das inovações implementadas pelo SINISA, com a finalidade de coletar e consolidar informações da gestão em saneamento nos municípios brasileiros e das soluções alternativas para o acesso ao abastecimento de água, entre outras (MCID 2025a).

O Sul apresentou o maior percentual de municípios participantes (MP) nestes módulos, enquanto o Norte e Nordeste apresentaram, respectivamente, os menores percentuais no módulo de Abastecimento de Água e no de Gestão Municipal. Mesmo utilizando a participação como critério para selecionar, hierarquizar e liberar os recursos financeiros para investimentos em saneamento (MCID 2023), estima-se que 6% dos municípios não participaram do módulo de Abastecimento de Água, enquanto no de Gestão Municipal a ausência foi cerca de 19%.

No módulo de Abastecimento de Água, pelas estimativas populacionais do SINISA (MCID 2025a), o Sudeste e Sul apresentaram a maior população rural representada (PRR), já no de Gestão Municipal, a maior representatividade ocorreu no Centro-Oeste e Sul. Além disso, o índice de atendimento da população rural (IAR) com rede de abastecimento de água não superou os 25% em mais de 60% dos municípios em cada região do país, conforme Tabela 1, destacando-se o Centro-Oeste e Norte (MCID 2025a).

Tabela 1. Quantidade de municípios participantes e população rural representada nos módulos de Abastecimento de Água e de Gestão Municipal do SINISA no ano de referência 2023 e quantidade de municípios com índice de atendimento da população rural com rede de abastecimento de água igual ou inferior a 25%.

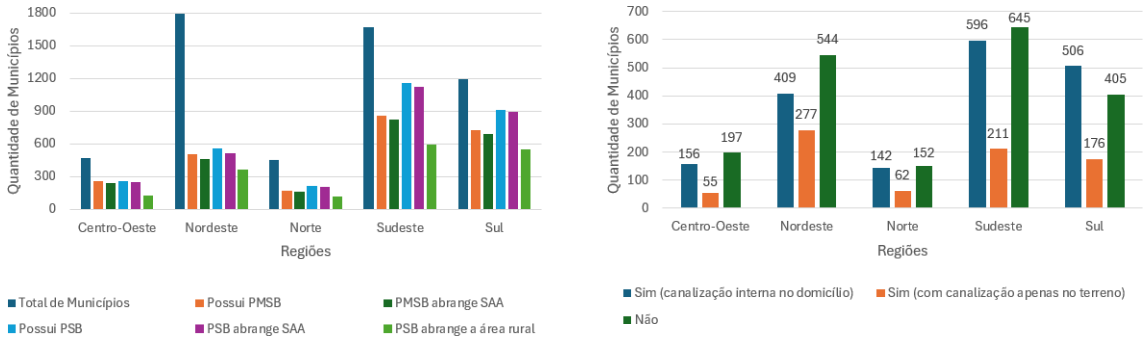
Informações	Centro-O.	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul
Total de municípios	467	1.794	450	1.668	1.191
MP-MAA	440	1.668	361	1.616	1.157
MP-MGM	408	1.229	356	1.452	1.087
PRR-MAA	95,69%	94,91%	86,63%	98,62%	98,24%
PRR-MGM	91,13%	71,62%	78,42%	87,37%	92,26%
IAR ≤ 25%	411	1.079	288	1.096	731

Fonte: Elaboração Própria (2025) e MCID (2025a).

Isto demonstra o desafio em universalizar o acesso à água no meio rural, proposto pelo 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) e pela Lei nº 14.026/2020 nos prazos estabelecidos, pondo em dúvida se é factível atingi-la. No curto e médio prazo, a dificuldade

já se inicia na expansão do saneamento rural (Castro e Cerezini 2023, 68).

Apenas 45% dos municípios possuem a Política Municipal de Saneamento Básico e 56% o Plano do Saneamento Básico (PSB). O sistema de abastecimento de água (SAA) é contemplado em 96% dos PSBs e em 58% o meio rural foi abrangido, conforme Figura 1(a). Este contexto corrobora para o distanciamento da universalização da prestação dos serviços de saneamento, especialmente no meio rural. Majoritariamente, os domicílios rurais não conectados à rede pública utilizam poços ou nascentes como solução alternativa, destacando-se o Sul, onde 62,74% deles utilizam tal solução, conforme Figura 1(b).



(a) (b)

Figura 1. Quantidade de municípios participantes do Módulo de Gestão Municipal do SINISA, no ano de referência 2023, por região que declararam: (a) possuir Política Municipal de Saneamento Básico e Plano do Saneamento Básico, abrangendo ou não o SAA e as áreas rurais e (b) utilizar poços ou nascentes como solução alternativa nos domicílios rurais não conectados à rede pública
Fonte: Elaboração Própria, 2025 e MCID, 2025a.

Os municípios que prestam serviços de abastecimento de água sem redes de distribuição informam no módulo de Gestão Municipal sobre o atendimento com soluções alternativas. O Plano Nacional de Saneamento Básico considera que o atendimento adequado de abastecimento de água ocorre através de rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, sem intermitências (paralisações ou interrupções) (MCID 2025a).

Define-se como população rural atendida por poços ou nascentes, a que os utiliza como fonte principal de abastecimento, cujo domicílio não está conectado à rede pública de água. Por sua vez, fonte principal é aquela usada na maior parte dos dias do ano de referência, mesmo existindo no domicílio outras opções de abastecimento (MCID 2025a). Na Tabela 2 está apresentado o percentual da população rural, por região, que é atendida por poços ou nascentes.

Tabela 2. Percentual da população rural atendida por poços ou nascentes no SINISA 2024, ano de referência 2023

Percentual	Centro-O.	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul
Pop. Rural	35,30%	17,91%	29,20%	32,40%	36,26%

Fonte: Elaboração Própria (2025) e MCID (2025a).

Portanto, há um percentual expressivo de municípios e de população rural, especialmente no Nordeste e Norte, onde o atendimento pelas soluções alternativas é considerado precário ou ainda sem atendimento. No primeiro caso, isto ocorre por não possuir canalização interna, ou por utilizar cisterna para água de chuva sem segurança sanitária ou em quantidade insuficiente para a proteção à saúde ou por utilizar reservatório abastecido por carro-pipa. Por sua vez, considera-se sem atendimento, o que não se enquadra como

atendimento e que constituem práticas consideradas inadequadas (MCID 2014).

Não foram disponibilizados, no SINISA 2024, os dados sobre a utilização de outras fontes principais de abastecimento, como carros-pipa, de chuva armazenada em cisternas ou outra solução alternativa de acesso à água, por domicílios rurais não conectados à rede pública.

Apenas 17% dos municípios aplicam alguma forma de tratamento e 16% possuem algum controle de qualidade da água oriunda das soluções alternativas. Majoritariamente são operadas pelos usuários e poucos municípios cobram pela operação, conforme Figura 2.

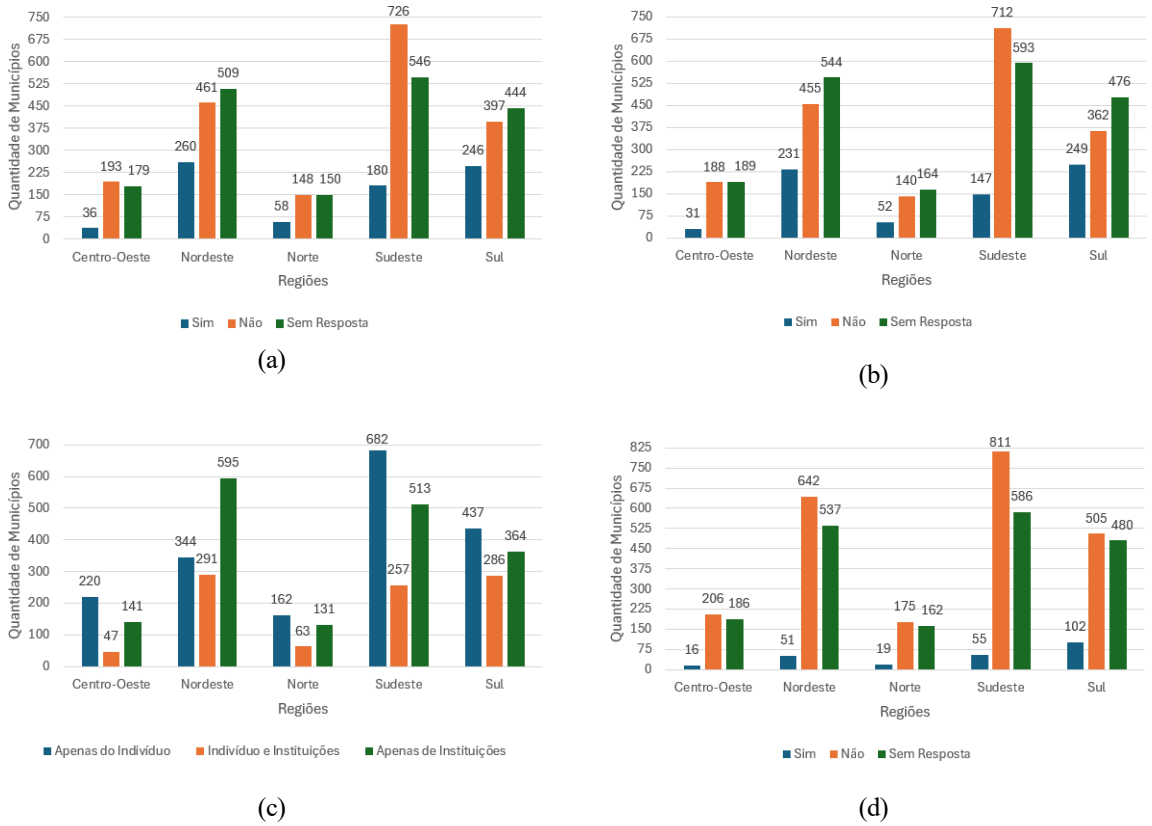


Figura 2. Quantidade de Municípios participantes do Módulo de Gestão Municipal no SINISA por região, no ano de referência 2023, que declararam, sobre as soluções alternativas de água: (a) utilizar formas de tratamento da água; (b) existir algum controle de qualidade da água; (c) o responsável pela operação e (d) existir cobrança pelos serviços
Fonte: Elaboração Própria, 2025 e MCID, 2025a.

Os baixos percentuais de tratamento e de controle de qualidade da água obtida a partir das soluções alternativas contrariam o ODS 6, assim como o ODS 3 (Saúde e bem-estar) e a portaria nº 888 do Ministério da Saúde, pois a água consumida pelos usuários pode não atender ao padrão de potabilidade, configurando risco à saúde, além de que, o tratamento deve ser realizado pelo processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos e os aspectos físicos, químicos e biológicos devem ser monitorados, sendo de competência das Secretarias de Saúde municipais e do Distrito Federal realizar inspeções sanitárias periódicas em sistemas e soluções alternativas de abastecimento (MS 2021).

O ODS 6 propõe o apoio e o fortalecimento das comunidades locais para atuarem na melhora e gestão da água e do saneamento. Assim, muitas instituições buscam desenvolver tecnologias baratas, eficientes e de fácil instalação, operação e manutenção, como o Clorador

para reservatórios (Embrapa 2000) e Filtro e Dosador para pequenas comunidades (Funasa 2017), como estratégia de enfrentar o desafio de universalização do saneamento no meio rural.

O SINISA implantará o módulo de Saneamento Rural. Até lá, o consumo médio per capita de água, as perdas de água na distribuição e na ligação e a tarifa média de água, referem-se à área urbana e rural, sem possibilidade de dissociá-las. A evolução desses indicadores está apresentada na Figura 3.

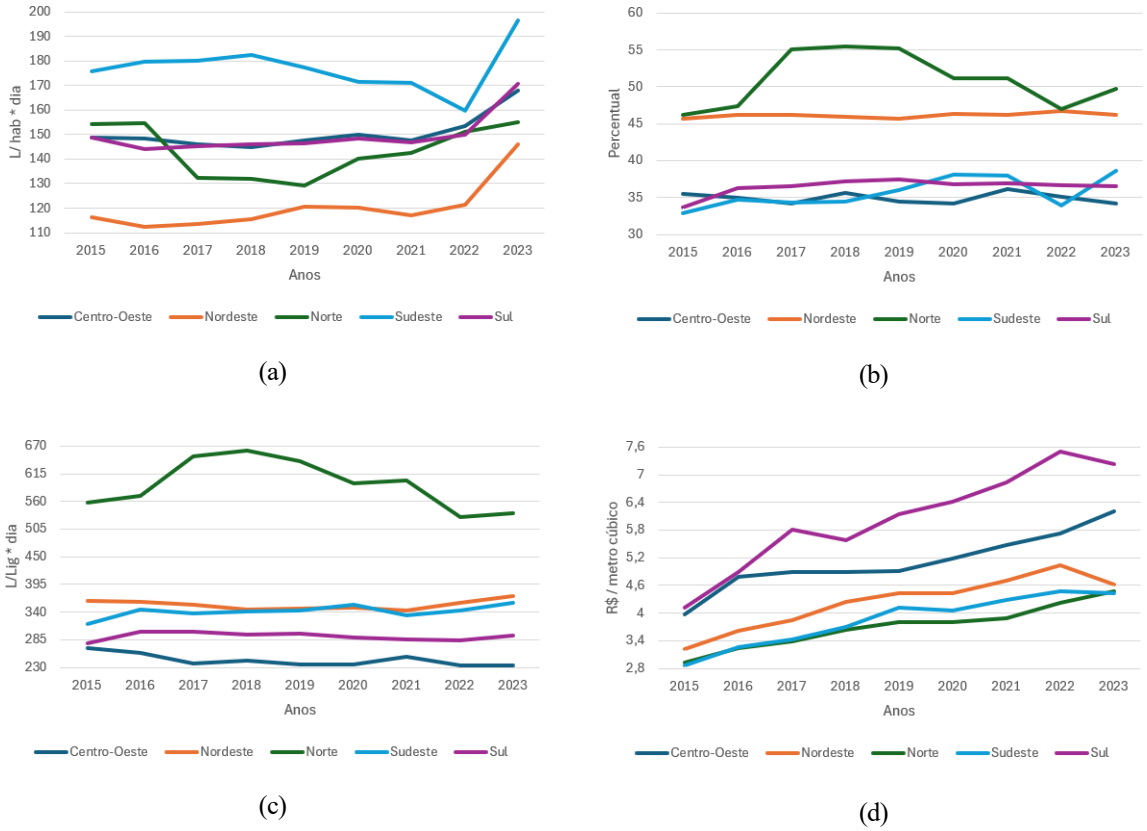


Figura 3. Evolução no período de 2015 a 2023: (a) do Consumo Médio Per Capita de Água; (b) do Índice de Perdas de Distribuição; (c) do Índice de Perdas na Ligação e (d) da Tarifa média de água
Fonte: Elaboração Própria, 2025, MCID, 2025a e MCID, 2025b.

O monitoramento do consumo médio per capita de água visa o controle operacional, o planejamento e a gestão dos serviços de abastecimento e o dimensionamento de SAA nos municípios com aumento populacional e para reverter o crescimento do consumo nas áreas com disponibilidade hídrica estrita (MCID 2023). Este indicador cresceu em todas as regiões, com destaque para o Nordeste, com maior crescimento percentual e absoluto e o Sudeste que se manteve com os maiores valores em todo o período de estudo.

O aumento da frequência de eventos de escassez hídrica e do risco de contaminação da água tratada, tornam a temática das perdas de água bastante relevante. No viés econômico e financeiro, podem ser relacionados os custos de energia elétrica utilizada na produção e distribuição da água tratada e ao desperdício de recursos naturais e operacionais. Além disso, os custos provenientes das perdas são repassados ao consumidor final (MCID 2023).

Altas perdas de água podem prejudicar o direito humano de acesso à água potável

(MCID 2023). Assim, estabeleceu-se que até 2025, as perdas de água na distribuição e na ligação não devem ser superiores a 35% e 303 L/lig*dia, respectivamente, e a partir de 2033 não devem ultrapassar os 25% e 216 L/lig*dia, respectivamente (MCID 2024). O Norte apresentou os maiores valores para estes indicadores e pelo histórico, deverá apresentar dificuldades para alcançar as metas supracitadas.

Além do ODS 6, o consumo médio per capita de água e as perdas de água na distribuição e na ligação se relacionam com o ODS 3 (Saúde e bem-estar), pois o acesso à água potável garante a boa higiene e evita doenças de veiculação hídrica, e com o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), pois incentiva o desenvolvimento de infraestruturas sustentáveis e resilientes, como as hídricas, além de fomentar o apoio científico e tecnológico nos setores industriais, como no desenvolvimento de tecnologias de controle e combate as perdas de água.

Relacionam-se ainda com o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), pois fomenta a gestão sustentável, o uso eficiente dos recursos naturais, a mudança da população a partir do acesso à informação e a conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilo de vida harmônico com a natureza. Outra relação é com o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), pois quanto maior o consumo e de perdas de água, mais energia é utilizada em todo o processo do SAA, contribuindo assim na emissão de gases do efeito estufa.

Os valores do consumo médio per capita de água e das perdas de água na distribuição e ligação são expressivos e sem tendência clara de diminuição ao longo dos anos, o que sugere que os SAAs não são tão eficientes, provocando tarifas médias de água mais altas. Em todas as regiões houve aumento das tarifas, destacando-se o Sul, com os maiores valores para este indicador, além de apresentar as maiores taxas (absolutas e percentuais). Isto pode prejudicar o acesso aos serviços básicos, particularmente, aos pobres e vulneráveis, frustrando assim uma das metas do ODS 1 (Erradicação da Pobreza) (UN 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou a carência do acesso à água potável e segura com atendimento considerado adequado de acordo com as diretrizes do Plano Nacional de Saneamento Básico no meio rural. É necessário elaborar, implementar e gerenciar os instrumentos políticos que garantam o alcance dos prazos e das metas estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6, e da Lei nº 14.026/2020. Além de intensificar a participação das empresas, dos setores políticos, da comunidade científica e da sociedade, de forma que recursos humanos, financeiros e tecnológicos sejam aplicados estrategicamente em prol da universalização de sistemas de abastecimento de água em áreas rurais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida ao autor principal e apoio a participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro, Cesár Nunes de., e Cerezini, Monise Terra. 2023. "Saneamento rural no Brasil: a universalização é possível?" Rio de Janeiro: Ipea, maio, 2023. 66p (Texto para Discussão, 3875). http://dx.doi.org/10.38116/td2875-port.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2020. "Clorador Embrapa". https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. 2017. "Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará". Brasília: Funasa, 2017. 49p. https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/476

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2024. "Agenda 2030: objetivos de desenvolvimento sustentável: avaliação do progresso das principais metas globais para o Brasil: ODS 6: assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todas e todos". Brasília: Ipea, 2024. 19p. (Cadernos ODS, 6). DOI: https://dx.doi.org/10.38116/ri2024ODS6

MCID - Ministério das Cidades. 2014. "Plano Nacional de Saneamento Básico". https://bibliotecadigital.economia.gov.br

MCID - Ministério das Cidades. 2023. "Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral: ano de referência 2022". https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis

MCID - Ministério das Cidades, 2024. Portaria MCID nº 788, de 1 de agosto de 2024. "Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 7º do Decreto nº 11.599, de 12 de julho de 2023". Diário Oficial da União. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/programa-minha-casa-minha-vida

MCID - Ministério das Cidades. 2025a. "Resultados SINISA". https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa

MCID - Ministério das Cidades. 2025b. "Diagnóstico Anteriores do SNIS". Acessado em 18 de julho de 2025. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis

MS - Ministério da Saúde, 2021. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. "Dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade". Diário Oficial da União. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html

UN Brasil - Nações Unidas no Brasil. 2025. sd. "Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil". Acessado em 31 de julho de 2025. https://brasil.un.org/pt-br/sdgs

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112628

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DE TERRITÓRIOS INDÍGENAS À EXPOSIÇÃO POR AGROTÓXICOS

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS TERRITORIOS INDÍGENAS A LA EXPOSICIÓN A PLAGUICIDAS

VULNERABILITY ASSESSMENT OF INDIGENOUS TERRITORIES TO PESTICIDE EXPOSURE

Thays Mitsuko Tsuji[1], Fábio Sergio Lima Brito[2], Antonia de Fátima Lima Simões[3] e Bruno Cantarella de Almeida [4].

[1]Doutora em engenharia ambiental, Coordenação de Saúde Ambiental/Departamento de Projetos e Determinantes Ambientais da Saúde Indígena/Secretaria de Saúde Indígena, Brasília-DF, Brasil, thays.tsuji@saude.gov.br, nº de ORCID: 0000-0002-6242-3557;
[2]Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, fabio.lima.ufpa@gmail.com, nº de ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3807-0499
[3]Coordenadora Substituta de Saúde Ambiental, Departamento de Projetos e Determinantes Ambientais da Saúde Indígena da Secretaria de Saúde Indígena/Ministério da Saúde, Brasília-DF, Brasil, antonia.simoes@saude.gov.br;
[4]Diretor do Departamento de Projetos e Determinantes Ambientais da Saúde Indígena da Secretaria de Saúde Indígena/Ministério da Saúde, Brasília-DF, Brasil, bruno.almeida@saude.gov.br, n° de ORCID: 0000-0002-9238-6611.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

RESUMO

O uso intensivo de agrotóxicos no Brasil representa um risco crescente para a qualidade da água e a saúde das populações, incluindo as comunidades indígenas. Pesquisas realizadas com a base de dados do Sisagua (Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano) revelam a presença de ingredientes ativos (IA) em amostras de água superficial e de abastecimento, com destaque para compostos como glifosato e 2,4-D. Estudos realizados em Terras Indígenas (TI) já confirmaram a detecção de agrotóxicos em corpos hídricos, ainda que em concentrações abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação (Portaria GM/MS nº 888/2021). Contudo, fatores como a alta solubilidade de diversos compostos e a tempo entre coleta e análise podem subestimar a magnitude da exposição. Este estudo teve como objetivo mapear áreas indígenas com maior risco potencial de exposição a agrotóxicos. Para tanto, integrou-se dados ambientais, geoespaciais e institucionais em Sistema de Informação Geográfica (SIG). A base foi composta por informações sobre produção, comércio e uso de agrotóxicos Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP Ibama) e indicadores de uso e ocupação do solo. Foram consideradas atividades de risco, como fabricação, comércio, depósito, experimentação, aplicação de

agrotóxicos e operação de aeródromos para pulverização aérea, adotando-se um raio de 30 km em torno desses últimos tipos de empreendimentos. A vulnerabilidade foi definida pela sobreposição de camadas espaciais em que se identificou a exposição a um ou mais tipos de potenciais poluidores. A partir dessa análise, foi calculada a proporção de área dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (Dsei) afetadas. Os resultados indicam que a expansão agropecuária e o uso de pulverização aérea configuram um cenário de risco potencial significativo para todo o país, especialmente para os territórios indígenas. Esta abordagem é uma proposta inicial para identificar os Dsei prioritários para apoiar ações de monitoramento e fiscalização e fortalecer a proteção da saúde das populações indígenas.

Palavras-chave: Territórios indígenas, Agrotóxicos, Vulnerabilidade.

RESÚMEN

El uso intensivo de agroquímicos en Brasil representa un riesgo creciente para la calidad del agua y la salud de las poblaciones, incluidas las comunidades indígenas. Investigaciones realizadas con la base de datos del Sisagua (Sistema de Información de Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano) revelan la presencia de ingredientes activos (IA) en muestras de agua superficial y de abastecimiento, destacando compuestos como glifosato y 2,4-D. Estudios realizados en Tierras Indígenas (TI) ya han confirmado la detección de agroquímicos en cuerpos de agua, aunque en concentraciones por debajo de los valores máximos permitidos por la legislación (Ordenanza GM/MS nº 888/2021). Sin embargo, factores como la alta solubilidad de varios compuestos y el tiempo entre la toma de muestras y el análisis pueden subestimar la magnitud de la exposición. Este estudio tuvo como objetivo mapear áreas indígenas con mayor riesgo potencial de exposición a agroquímicos. Para ello, se integraron datos ambientales, geoespaciales e institucionales en un Sistema de Información Geográfica (SIG). La base estuvo compuesta por información sobre producción, comercio y uso de agroquímicos del Registro Técnico Federal de Actividades Potencialmente Contaminantes (CTF/APP Ibama) e indicadores de uso y ocupación del suelo. Se consideraron actividades de riesgo, como fabricación, comercio, almacenamiento, experimentación, aplicación de agroquímicos y operación de aeródromos para pulverización aérea, adoptando un radio de 30 km alrededor de estos últimos tipos de emprendimientos. La vulnerabilidad se definió por la superposición de capas espaciales donde se identificó la exposición a uno o más tipos de contaminantes potenciales. A partir de este análisis, se calculó la proporción del área de los Dsei (Distrito Sanitario Especial Indígena) afectada. Los resultados indican que la expansión agropecuaria y el uso de pulverización aérea configuran un escenario de riesgo potencial significativo para todo el país, especialmente para los territorios indígenas. Este enfoque es una propuesta inicial para identificar los Dsei prioritarios para apoyar acciones de monitoreo y fiscalización y fortalecer la protección de la salud de las poblaciones indígenas.

Palabras clave: Territorios Indígenas, Plaguicidas, Vulnerabilidad.

ABSTRACT

The intensive use of pesticides in Brazil represents a growing risk to water quality and the health of populations, including indigenous communities. Research conducted using the Sisagua database (Water Quality Surveillance Information System for Human Consumption) reveals the presence of active ingredients (AI) in surface water and supply samples,

highlighting compounds such as glyphosate and 2,4-D. Studies carried out in Indigenous Lands (IL) have already confirmed the detection of pesticides in water bodies, although at concentrations below the maximum values allowed by legislation (Ordinance GM/MS No. 888/2021). However, factors such as the high solubility of various compounds and the time between sampling and analysis may underestimate the magnitude of exposure. This study aimed to map indigenous areas with the highest potential risk of pesticide exposure. To do so, environmental, geospatial, and institutional data were integrated into a Geographic Information System (GIS). The base consisted of information on production, trade, and use of pesticides from the Federal Technical Registry of Potentially Polluting Activities (CTF/APP Ibama) and land use and occupation indicators. Risk activities such as manufacturing, trade, storage, experimentation, pesticide application, and operation of airstrips for aerial spraying were considered, adopting a radius of 30 km around these last types of enterprises. Vulnerability was defined by the overlap of spatial layers where exposure to one or more types of potential pollutants was identified. From this analysis, the proportion of affected Dsei (Special Indigenous Health Districts) areas was calculated. The results indicate that agricultural expansion and aerial spraying use configure a scenario of significant potential risk for the entire country, especially for indigenous territories. This approach is an initial proposal to identify priority Dsei to support monitoring and enforcement actions and strengthen the protection of indigenous populations' health.

Keywords: Indigenous territory, Pesticides, Vulnerability.

INTRODUÇÃO

O crescente uso de agrotóxicos no Brasil pode gerar diversos impactos ambientais e, por consequência, a população indígena. Segundo o Boletim de Produção, Importação, Exportação e Vendas de Agrotóxicos do Ibama (2023), foram comercializadas 755.489 toneladas de ingredientes ativos (IA) de produtos formulados classificados como “Químicos e Bioquímicos”.

No que diz respeito à detecção em amostras de água, dados do Monitoramento de Agrotóxicos em Água e Solo do Ibama apontam que 15,65% das amostras analisadas apresentaram detecção de IA. Entre os ingredientes identificados estão: 2,4-D, atrazina, azoxistrobina, bifentrina, carbendazim, carbofurano, ciproconazol, clomazona, clorpirifós, clotianidina, cresozim metílico, diuron, epoxiconazol, fenpropatrina, flutriafol, glifosato, hexazinona, imidacloprido, metolacloro, metoxifenozida, permetrina, picoxistrobina, piraclostrobina, sulfentrazona, tebuconazol, tebutiurom, tetraconazol e trifloxistrobina.

No contexto da água para consumo humano, Assunção e Pereira (2025) identificaram que 19,9% dos municípios brasileiros cadastrados no Sisagua (Sistema de Informação de

Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano) apresentaram ao menos uma amostra positiva para IA entre 2018 e 2022, com predominância nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

No caso de áreas indígenas, Pinho et al. (2024) mapearam a presença de agrotóxicos na água de duas comunidades indígenas Guarani Kaiowá, no Mato Grosso do Sul, entre 2021 e 2022. Foram analisadas amostras de água superficial, de abastecimento e de chuva, com rastreio para 22 ingredientes ativos (IA), e 82,2% das amostras apresentaram detecção de pelo menos um IA, revelando ampla exposição das comunidades.

Já Lima, Pignatti e Pignatti (2020) e Lima (2015) identificaram presença de permetrina em um ponto de coleta de água de um corpo hídrico da Terra Indígena (TI) Marãiwatsédé, no Mato Grosso. Lima (2015) aponta que uma das fragilidades do estudo foi o intervalo entre coleta e análise foi de aproximadamente seis meses, superior ao prazo recomendado de, no máximo, sete dias. Embora as concentrações detectadas estivessem abaixo dos VMP, os autores chamam atenção para a natureza desses compostos, que favorece degradação ou dispersão rápidas.

Desta forma, condições físico-químicas da água podem alterar a estabilidade de agortóxicos, como é o caso do pH, que quanto maior favorece a hidrólise alcalina que gera a inativação de alguns pesticidas (USEPA, 1978). Aspectos como a temperatura e a exposição solar também podem gerar a degradação de IA, Seloma & Shalaby (2021) apontam que, entre os compostos analisados, após exposição à luz solar de 336 horas, não foram identificados níveis detectáveis nas amostras analisadas devido à fotodegradação. Por isso, coletas e análises devem ser feitas o mais próximos possível (espacial e temporalmente) das suspeitas de contaminação, sob risco de não detecção ou subestimação dos níveis presentes.

A partir da revisão bibliográfica realizada por Cossu et al. (2024) sobre a contaminação por agrotóxicos em água potável, apontam que tratamentos avançados de água para consumo humano para remoção de agrotóxicos têm sido intensamente pesquisados, no entanto, são diversos desafios a serem superados como o alto custo e intensidade de energia, ou mesmo a produção de sub-produtos perigosos, o que se mostra como um desafio ainda maior em aldeias.

Algumas tecnologias de alto custo, como processos avançados de oxidação, filtros de

carvão ativado granular e filtração por membrana se mostraram eficientes. No entanto, dada a realidade de algumas comunidades em que a implantação dessas tecnologias se tornam inviáveis, entende-se que a melhor forma de lidar com a contaminação por agrotóxicos é evitar o consumo de água possivelmente contaminada, uma vez que, em muitos territórios, os tratamentos possíveis são limitados devido a fatores como a logística de acesso.

Compreender os riscos de contaminação por agrotóxicos em territórios indígenas é fundamental para garantir água de qualidade a essas populações, considerando que, em muitos casos, a água bruta é utilizada para consumo humano e que os tratamentos eficazes para remoção de IA são complexos e de difícil implementação em aldeias de difícil acesso. Diante deste cenário, este estudo tem como objetivo mapear os Dsei (Distritos Sanitários Especiais Indígenas) com maior risco de exposição à contaminação por agrotóxicos, que pode contribuir para subsidiar ações de vigilância, e orientar estratégias de mitigação de riscos à saúde e à segurança hídrica dessas comunidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada buscou identificar fatores de risco de exposição a agrotóxicos em territórios indígenas do Brasil, por meio da integração de dados ambientais, geoespaciais e institucionais. Essa abordagem permitiu caracterizar a vulnerabilidade dos Dsei à contaminação por agrotóxicos, considerando tanto a proximidade espacial das áreas agrícolas quanto a presença de atividades potencialmente poluidoras e indicadores de uso e ocupação do solo.

Para a construção da base de dados, foram utilizados dados do Ibama, que incluíram o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP), obtidas no portal de dados abertos do Ibama (IBAMA, 2025) e filtradas para incluir apenas registros ativos vinculados a práticas agrícolas, com exclusão de registros incompletos ou imprecisos, em que se utilizou das localizações das seguintes atividades em situação ativa: i) 15-11: Fabricação de agroquímicos; ii) 17-61: Disposição de resíduos especiais: Lei nº 12.305/2010: art. 33, I -agroquímicos; iii) 18-66: Comércio de produtos químicas e produtos perigosos (agrotóxicos); iv) 18-80: Depósito de produtos químicos e produtos perigosos (resíduos perigosos); v) 21-5: Experimentação com agroquímicos; vi) 21-47: Aplicação de agrotóxicos e afins; vii) 21 – 32 - Operação de

aeródromo; viii) 21-66: Produção de agrotóxicos de agentes biológicos e microbiológicos de controle.

A atividade 21-47, por se tratar de serviços de aplicação de agrotóxicos e afins, por qualquer método, incluindo serviços de pulverização por aeronaves, foi considerado junto à atividade de Operação de Aeródromos (21-32), já que o o art. 7º da Instrução Normativa MAPA nº 2, de 2008, toda empresa de aviação agrícola deverá possuir pátio de descontaminação de aeronaves., portanto, considerou-se um raio de 30 km ao redor de cada ponto deste tipo de atividade.

Para o cálculo da vulnerabilidade, considerou-se a sobreposição das camadas de uso e ocupação do solo, pontos de atividades potencialmente poluidoras e as áreas sob influencia das pistas de pouso de aeronaves utilizadas para pulverização de agrotóxicos. As áreas foram sobrepostas às áreas de atendimento dos 34 Dsei e, então, identificou-se aqueles em que estão com maior exposição à possíveis contaminações por agrotóxicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do uso e cobertura do solo no Brasil, a partir dos dados do MapBiomas (2024), indica que 273.160.385 hectares, equivalentes a 32,1% da área total do país, são classificados como “Agropecuária”. Em termos absolutos, destacam-se os estados de Mato Grosso, Minas Gerais e Bahia como os maiores detentores de área agropecuária. Quando analisada a proporção de área ocupada por agricultura em relação ao território estadual, observam-se os maiores percentuais em São Paulo (72,38%), Paraná (68,84%), Goiás (62,62%) e Mato Grosso do Sul (58,09%), refletindo a intensa pressão agrícola nessas regiões.

Outro resultado relevante refere-se à área de influência das pistas de pouso utilizadas para pulverização aérea de agrotóxicos, que totaliza 3.030.627,8 km², correspondendo a 35,61% do território nacional. Essa magnitude evidencia que mais de um terço do país está potencialmente sujeito à dispersão aérea de produtos químicos, configurando um risco ambiental difuso que transcende os limites das áreas estritamente agrícolas.

A Figura 1 ilustra a sobreposição das áreas de influência das pistas de pouso nos 34 Dsei, onde se nota que diversos deles se situam em regiões com grande presença de atividades agrícolas e significativa presença de pistas para pulverização aérea, principalmente nas regiões

Centro-Oeste e em partes do Sul e Sudeste, e menor sobreposição para aqueles localizados em áreas amazônicas com menor pressão agrícola.

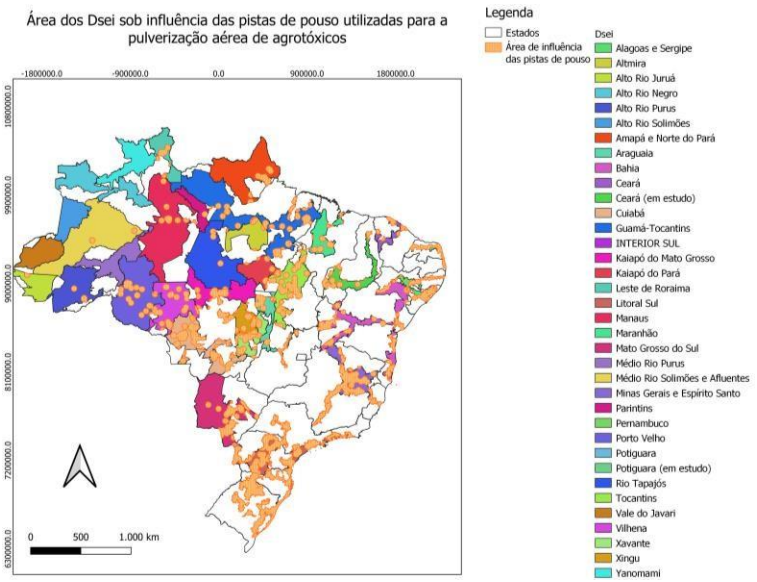


Figura 1. Exposição dos 34 Distritos Sanitários Especiais Indígenas às possíveis contaminações por agrotóxicos no contexto do Brasil.
Fonte: Elaboração Própria, 2025.

A presença de pistas de pouso próximas a Terras Indígenas representa um risco adicional, pois facilita a deriva dos agrotóxicos para além das áreas de aplicação direta. Ribeiro & Sá Neto (2019) ressaltam que a pulverização de agrotóxicos pode causar intoxicações agudas, como febre, vômito, cefaleia, diarreia e perda de peso em crianças, e efeitos crônicos, incluindo problemas respiratórios, circulatórios e distúrbios endócrinos em populações indígenas expostas. Além disso, compromete rios, lagos e peixes, afetando a segurança alimentar das aldeias ao gerar a perda da produção utilizada para a alimentação da comunidade, e ameaçando seus vínculos culturais e modos tradicionais de subsistência (PINHO et al., 2024; RIBEIRO e SÁ NETO, 2019).

A Tabela 1 estão mostradas as porcentagens de área sob a influência as pistas de pouso. Vale ressaltar que a sobreposição entre as áreas agrícolas e as zonas de influência das pistas de pulverização aérea configura pontos críticos de risco cumulativo, pois evidencia a convergência de múltiplas fontes potenciais de contaminação química no mesmo território, intensificando a pressão ambiental sobre os Dsei e ampliando a necessidade de estratégias integradas de vigilância e controle.

Tabela 1. Porcentagem da área dos Dsei sob área de influência das pistas de pouso utilizadas para pulverização aérea de agrotóxicos.

Dsei	% área	Dsei	% área
Alagoas e Sergipe	79,16	**Manaus**	6,46
Altamira	7,31	**Maranhão**	22,60
Alto Rio Juruá	2,79	**Mato Grosso do Sul**	24,35
Alto Rio Negro	0,00	**Médio Rio Purus**	0,00
Alto Rio Purus	4,54	**Médio Rio Solimões e Afluentes**	1,77
Alto Rio Solimões	0,00	**Minas Gerais e Espírito Santo**	68,39
Amapá e Norte do Pará	9,10	**Parintins**	8,73
Araguaia	39,33	**Pernambuco**	54,69
Bahia	41,90	**Porto Velho**	15,30
Ceará	37,53	**Potiguara**	100,00
Cuiabá	42,36	**Rio Tapajós**	4,10
Guamá-Tocantins	19,09	**Tocantins**	48,51
Interior Sul	83,62	**Vale do Javari**	0,00
Kaiapó do Mato Grosso	20,62	**Vilhena**	27,38
Kaiapó do Pará	17,67	**Xavante**	44,13
Leste de Roraima	12,88	**Xingu**	46,31
Litoral Sul	80,25	**Yanomami**	1,27

Fonte: Elaboração Própria, 2025.

É importante destacar que o uso combinado de dados geoespaciais, permite destacar *hotspots* de maior sobreposição entre pistas de pouso e áreas agrícolas, subsidiando a priorização de Dsei mais vulneráveis (Figura 2). Por meio dessa inferência do risco potencial de exposição é possível identificar áreas prioritárias para ações de vigilância ambiental e sanitária dentro dos territórios.

A partir da Figura 2, nota-se maior vulnerabilidade nos Dsei Yanomami, Guamá-Tocantins e Maranhão, um resultado inesperado, já que estes não se configuram como os estados com as maiores taxas de uso agrícola.

No entanto, neste aspecto, cabem duas discussões: a crescente expansão de atividades agrícolas na região amazônica e, por consequência, a aplicação de agrotóxicos fazendo com que estes locais passem se destaquem com maior vulnerabilidade. E o segundo ponto, é que locais com grandes produções agrícolas não terem aparecido como os mais críticos, pode estar associado à comercialização e pulverizações clandestinas mencionadas por Pinho et al., (2024) e, por isso, não constam em bases de dados oficiais.

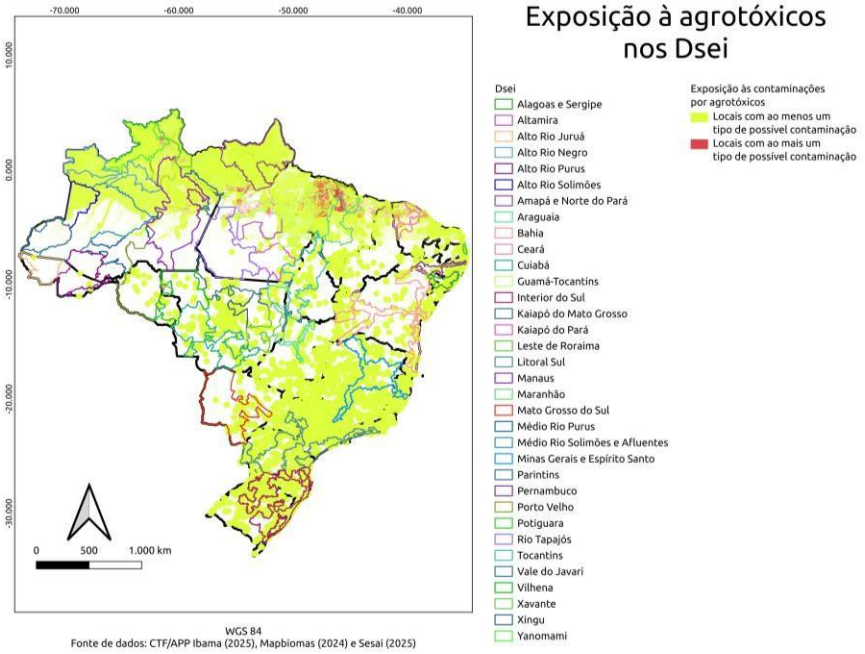


Figura 2. Exposição dos 34 Distritos Sanitários Especiais Indígenas às possíveis contaminações por agrotóxicos no contexto do Brasil.

Fonte: Elaboração Própria, 2025.

Neste sentido, recomenda-se que em trabalhos futuros, sejam mapeados e sistematizados dados levantados em pesquisas realizadas em territórios indígenas para identificação dos *hotspots* com base nas concentrações obtidas, bem como inclusão dos municípios considerados prioritários pela Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Agrotóxicos e a base de dados do Sisagua. Além disso, levantamentos de denúncias realizadas ao Ministério Público também podem ser um dado importante para análise quantitativa, já que podem não contemplar as localizações por serem informações sensíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidenciou que a extensão das áreas agrícolas e a ampla cobertura territorial das zonas de influência das pistas de pulverização aérea configuram um cenário de risco potencial significativo de exposição a agrotóxicos em territórios indígenas no Brasil. Os resultados demonstram que a exposição potencial aos agrotóxicos é heterogênea no território brasileiro, refletindo desigualdades regionais associadas à expansão agropecuária e à pulverização aérea, o que evidencia a necessidade de estratégias de monitoramento adaptadas a cada contexto regional.

O presente estudo buscou integrar bases de dados ambientais, geoespaciais e institucionais em usando a ferramenta SIG, permitindo mapear possíveis *hotspots* de risco cumulativo e priorizar Dsei mais vulneráveis. Por fim, a abordagem proposta se trata de análises preliminares que, no entanto, se mostram eficientes para identificação de Dsei prioritários para o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assunção, T. O. G., & Pereira, R. O. (2025). Ocorrência de misturas de agrotóxicos na água de consumo humano no Brasil. *33º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*: Brasília-DF.

Bursztejn, S., & Benetti, A. D. (2023). Presença dos dez agrotóxicos mais comercializados nos sistemas de abastecimento de água brasileiros. *32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*: Belo Horizonte-MG.

Cossu, L. O., Aquino, S. F. De., Mota Filho, C. R., Smith, C. J., Vignola, M. (2024). Review on Pesticide Contamination and Drinking Water Treatment in Brazil: The Need for Improved Treatment Methods. ACS EST Water 2024, 4, 3629−3644.

IBAMA. (2025). Relação das pessoas jurídicas que efetuaram a inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais – CTF/APP. Disponível em: <http://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/CTF/APP/AC/pessoasJuridicas.html>. Acesso em: 15 set. 2025.

Lima, F. A. N. de S. (2015). *Saúde, ambiente e contaminação hídrica por agrotóxicos na Terra Indígena Marãiwatsédé, Mato Grosso*. Dissertação de mestrado em saúde coletiva, do programa de Pós-Graduação do Instituto de Saúde Coletiva da Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá-MT.

Lima, F. A. N. de S., Pignati, W. A., & Pignati, M. G. (2020). A extensão do 'agro' e do tóxico: saúde e ambiente na terra indígena Marãiwatsédé, Mato Grosso.

MAPBIOMAS. (2024). Projeto MapBiomas – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_10/lulc/coverage/brazil_coverage_2024.tif>. Acesso em: 10 set. 2025.

Ribeiro, H. M.; Sá Neto, C. E. de. Meios de extermínio na sociedade de risco: a pulverização de agrotóxicos em terras indígenas brasileiras. *Revista Jurídica Luso-Brasileira*, Lisboa, ano 5, n. 3, p. 727-751, 2019.

SELOMA, A. S. O., & SHALABY, A. A. (2021). Effect of Water pH and Direct Exposure to Sunlight on Chemical Stability of Fungicide Chlorothalonil. *Journal of Plant Protection and Pathology*, v. 12, n. 8, p. 543-548.

USEPA. (1978). Identification and description of chemical deactivation/detoxification methods for the safe disposal of selected pesticides. Solid waste management series (United States. Office of Solid Waste).

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112883

APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AIA NAS FASES DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA NO NORDESTE BRASILEIRO

APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE EIA EN LAS FASES DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UNA INDUSTRIA DE CALZADO EN EL NORESTE DE BRASIL

APPLICATION OF AN EIA METHODOLOGY IN THE INSTALLATION AND OPERATION PHASES OF A FOOTWEAR INDUSTRY IN NORTHEAST BRAZIL

Ítalo Esaú Silva Barbosa[1], Thiago Silva Ricardo[2], Lidielly de Oliveira Rodrigues[3] e Monique da Silva Albuquerque Pinheiro[4].

[1]Discente do curso Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, italo.esau09@aluno.ifce.edu.br, 0009-0001-1601-2677;
[2]Discente do curso Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, thiago.ricardo09@aluno.ifce.edu.br, 0009-0003-6342-6359;
[3]Discente do curso Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, lidielly.rodrigues06@aluno.ifce.edu.br, 0009-0002-1934-5925;
[4]Docente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, monique.albuquerque@ifce.edu.br, 0000-0002-8280-6272.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento sustentável
Environmental, Social and Governance (ESG).

Eje Temático 07 – Desarrollo sostenible
Ambiental, Social y Gobernanza (ESG).

RESUMO

O presente artigo, intitulado Aplicação de uma metodologia de AIA para a implementação de uma indústria calçadista no Nordeste brasileiro, apresenta os resultados de um estudo conduzido por meio da metodologia check-list, com o objetivo de identificar, classificar e discutir os impactos ambientais associados às fases de instalação e operação de uma indústria calçadista na região nordestina do Brasil. A análise evidenciou um total de 32 impactos, dos quais 19 foram considerados negativos e 13 positivos, revelando uma predominância dos efeitos adversos sobre os benéficos. Em relação aos meios afetados, constatou-se que o meio antrópico foi o mais impactado, com 18 ocorrências negativas, superando os meios físico e biótico, o que reforça a necessidade de compreender a interação homem-meio de forma integrada. Entre os impactos negativos, nove apresentaram caráter irreversível, enquanto dez foram classificados como reversíveis; além disso, 16 impactos negativos mostraram-se permanentes, sendo três deles simultaneamente irreversíveis e permanentes, com efeitos de duração indefinida. Destaca-se que nove impactos negativos e irreversíveis recaem sobre os meios antrópico e físico, acentuando os riscos sociais e ambientais da atividade. A análise de magnitude demonstrou que 11 impactos negativos atingiram nível elevado, em contraste com apenas um impacto positivo nessa categoria. Quanto à duração, três impactos negativos foram considerados de longa duração, dez de média e cinco de curta, enquanto os impactos positivos se distribuíram em duas ocorrências de longa duração, três de média e cinco de

curta. A avaliação espacial indicou que a maioria dos impactos negativos se concentrou em escala local (15), seguida de abrangência pontual (2) e regional (1), enquanto os impactos positivos apresentaram maior dispersão: seis pontuais, quatro locais e três regionais. Concluiu-se com o estudo que, embora parte dos impactos negativos seja reversível, sua intensidade e permanência superam os efeitos benéficos, que se mostraram, em sua totalidade, reversíveis e de menor magnitude. O uso da ferramenta check-list se mostrou fundamental, permitindo identificar de forma rápida e sistemática os impactos ambientais, priorizar os riscos mais críticos e orientar a tomada de decisão para a implantação da indústria, contribuindo significativamente para assegurar que as decisões considerem não apenas o potencial econômico, mas também os riscos socioambientais de longo prazo, fortalecendo a prática de planejamento ambiental responsável no setor calçadista.

Palavras-chave: Avaliação de impacto ambiental, Método check-list, Indústria calçadista, Nordeste brasileiro

RESÚMEN

El presente artículo, titulado Aplicación de una metodología de AIA para la implementación de una industria de calzado en el noreste de Brasil, presenta los resultados de un estudio realizado mediante la metodología de check-list, con el objetivo de identificar, clasificar y discutir los impactos ambientales asociados a las fases de instalación y operación de una industria de calzado en la región noreste de Brasil. El análisis evidenció un total de 32 impactos, de los cuales 19 fueron considerados negativos y 13 positivos, revelando una predominancia de los efectos adversos sobre los beneficiosos. En relación con los medios afectados, se constató que el medio antrópico fue el más impactado, con 18 ocurrencias negativas, superando a los medios físico y biótico, lo que refuerza la necesidad de comprender la interacción hombre-medio de manera integrada. Entre los impactos negativos, nueve presentaron carácter irreversible, mientras que diez fueron clasificados como reversibles; además, 16 impactos negativos se mostraron permanentes, siendo tres de ellos simultáneamente irreversibles y permanentes, con efectos de duración indefinida. Se destaca que nueve impactos negativos e irreversibles recaen sobre los medios antrópico y físico, acentuando los riesgos sociales y ambientales de la actividad. El análisis de magnitud demostró que 11 impactos negativos alcanzaron un nivel elevado, en contraste con solo un impacto positivo en esta categoría. En cuanto a la duración, tres impactos negativos fueron considerados de larga duración, diez de media y cinco de corta, mientras que los impactos positivos se distribuyeron en dos de larga duración, tres de media y cinco de corta. La evaluación espacial indicó que la mayoría de los impactos negativos se concentraron a escala local (15), seguidos de puntos (2) y regional (1), mientras que los impactos positivos mostraron mayor dispersión: seis puntuales, cuatro locales y tres regionales. Las conclusiones evidencian que, aunque parte de los impactos negativos es reversible, su intensidad y permanencia superan los efectos beneficiosos, que se mostraron, en su totalidad, reversibles y de menor magnitud. El uso de la herramienta check-list resultó fundamental, permitiendo identificar de manera rápida y sistemática los impactos ambientales, priorizar los riesgos más críticos y orientar la toma de decisiones para la implantación de la industria, contribuyendo significativamente a asegurar que las decisiones consideren no solo el potencial económico, sino también los riesgos socioambientales a largo plazo, fortaleciendo la práctica de planificación ambiental responsable en el sector del calzado.

Palabras clave: Evaluación de impacto ambiental, Método de lista de verificación, Industria

del calzado, Nordeste de Brasil

ABSTRACT

This article, entitled Application of an EIA Methodology for the Implementation of a Footwear Industry in Northeastern Brazil, presents the results of a study conducted using the check-list methodology, aiming to identify, classify, and discuss the environmental impacts associated with the installation and operation phases of a footwear industry in the northeastern region of Brazil. The analysis revealed a total of 32 impacts, of which 19 were considered negative and 13 positive, showing a predominance of adverse effects over beneficial ones. Regarding the affected media, it was found that the anthropic environment was the most impacted, with 18 negative occurrences, surpassing the physical and biotic media, which reinforces the need to understand human-environment interaction in an integrated manner. Among the negative impacts, nine were irreversible, while ten were classified as reversible; moreover, 16 negative impacts were permanent, three of which were simultaneously irreversible and permanent, with effects of indefinite duration. It is noteworthy that nine negative and irreversible impacts affect the anthropic and physical media, accentuating the social and environmental risks of the activity. Magnitude analysis showed that 11 negative impacts reached a high level, in contrast with only one positive impact in this category. Regarding duration, three negative impacts were considered long- term, ten medium-term, and five short-term, while positive impacts were distributed as two long-term, three medium-term, and five short-term. Spatial assessment indicated that most negative impacts were concentrated at a local scale (15), followed by point (2) and regional (1), whereas positive impacts showed greater dispersion: six point-scale, four local, and three regional. The conclusions indicate that, although some negative impacts are reversible, their intensity and permanence outweigh the beneficial effects, which were all reversible and of lower magnitude. The use of the check-list tool proved essential, allowing rapid and systematic identification of environmental impacts, prioritization of the most critical risks, and guidance for decision-making in industry implementation, significantly contributing to ensure that decisions consider not only economic potential but also long-term socio-environmental risks, strengthening responsible environmental planning practices in the footwear sector.

Keywords: Environmental impact assessment, Checklist method, Footwear industry, Northeast Brazil

INTRODUÇÃO

A indústria calçadista, especialmente em polos produtivos do Nordeste brasileiro, representa um dos setores mais dinâmicos da economia regional, com forte geração de empregos e relevante contribuição social. Contudo, suas atividades também implicam expressivos impactos ambientais, decorrentes do uso intensivo de água, energia e produtos químicos nas etapas de curtimento, colagem, acabamento e tratamento de resíduos. Tais processos podem resultar na emissão de solventes orgânicos voláteis, na produção de efluentes com metais pesados e no acúmulo de resíduos sólidos de difícil degradação,

afetando os meios físico, biótico e antrópico de forma significativa (Santos e Pires, 2018). Diante disso, torna-se indispensável avaliar de maneira sistemática os efeitos dessa atividade sobre o ambiente, de modo a orientar decisões e políticas que conciliem crescimento econômico e sustentabilidade.

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) constitui-se em um dos principais instrumentos de gestão ambiental, sendo amplamente utilizada para prever, identificar e analisar os efeitos de empreendimentos sobre os diferentes meios ambientais. Entre os diversos métodos aplicáveis, o check-list apresenta-se como uma ferramenta prática, permitindo listar e classificar consequências ambientais de forma sistemática. Esse método possibilita o vislumbramento de impactos tanto positivos quanto negativos, evitando omissões relevantes e favorecendo a compreensão do caráter transformador das atividades antrópicas (Silva, 1999).

A literatura aponta que o check-list apresenta simplicidade, clareza e rapidez na elaboração, o que o torna apropriado em contextos de escassez de dados ou quando a análise precisa ser disponibilizada em curto prazo (Carvalho e Lima, 2010; Cremonez et al., 2014). Entretanto, sua natureza predominantemente qualitativa pode levar a certo grau de subjetividade, já que não contempla, de maneira aprofundada, parâmetros quantitativos de avaliação. Mesmo assim, sua flexibilidade permite a incorporação de informações complementares, como a espacialização dos impactos por meio de ferramentas de geoprocessamento (Ranieri et al., 1998).

O método check-list ainda se destaca por sua ampla utilização em estudos de impacto devido à facilidade de aplicação e ao potencial de destacar os efeitos mais significativos em relação aos demais, mesmo em situações de limitações informacionais (Ribeiro et al., 2017). Além disso, o uso dessa metodologia deve estar associado a uma análise crítica e interpretativa, de modo a reduzir a superficialidade da avaliação e ampliar a compreensão das interações entre os diferentes meios ambientais (Sánchez, 2013). Dessa forma, a combinação entre a objetividade da listagem e a subjetividade do julgamento técnico pode contribuir para uma avaliação mais equilibrada.

METODOLOGIA

Este estudo adotou o método Check-List (Listagem de Controle) como instrumento de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) aplicados à expansão da indústria calçadista no Nordeste brasileiro. O método consiste na elaboração de uma listagem organizada dos

potenciais impactos, vinculando-os às atividades típicas das fases de instalação e operação do empreendimento. Segundo Gallardo (2004), sua principal vantagem é oferecer uma visão sintética e sistemática dos impactos mais prováveis associados a um projeto, facilitando sua identificação e posterior classificação.

A elaboração da matriz de atividades e impactos ambientais baseou-se em revisão bibliográfica sobre o setor coureiro-calçadista, com destaque para Rossi et al. (2021), Souza et al. (2013) e Chagas et al. (2021). Esses autores descrevem o processo produtivo de calçados como composto por etapas de curtimento, tingimento, montagem e acabamento, que envolvem elevado consumo de água e energia, além da geração de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas. Com base nessas informações, elaborou-se a matriz apresentada nos quadros 1 e 2, relacionando as principais atividades da empresa e seus respectivos impactos ambientais, conforme os princípios da produção mais limpa e da gestão ambiental integrada.

A partir dessa listagem inicial, os impactos foram descritos e classificados conforme critérios amplamente empregados em AIA: natureza (positiva ou negativa), reversibilidade, duração temporal, magnitude e abrangência espacial (pontual, local ou regional). Esse processo, ainda que simplificado, possibilitou sistematizar as possíveis consequências ambientais e sociais do deslocamento da atividade calçadista para a região Nordeste, oferecendo subsídios para interpretação crítica dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Quadros 1 e 2, respectivamente referentes as fases de implantação e operação, apresentam os impactos ambientais identificados para a indústria calçadista, relacionados às suas principais atividades geradoras. A construção desses quadros resultou da aplicação prática da metodologia check-list, considerando para fins de classificação e atividades da industria calçadista os trabalhos de Rossi et al. (2021), Souza et al. (2013) e Chagas et al. (2021) e para escolher os aspectos analisados, como por exemplo magnitude e duração e etc, foi utilizado o trabalho de Costa et al. que aplicou uma metodologia check-list para os impactos ambientais gerados pela pavimentação asfáltica em uma avenida relevante no estado do Piauí.

Quadro 1. Check-list: Fase de Implantação

Atividade	Ações Impactantes do Objeto de Estudo	Sistema Ambiental Impactado	Caracterização do Impacto

	Fase de Implantação	**MF**	**MB**	**MA**	**CAR**	**MAG**	**DUR**	**ES**	**TEMP**	**PLAS**
Descarga inadequada de efluentes líquidos sem tratamento.	Risco de contaminação de mananciais	x	x	x	-	G	L	EL	TT	S
Descarga de águas residuais do curtimento e tingimento.	Lançamento de efluentes em corpos d'água (durante obras de terraplanagem)	x	x	x	-	G	M	EL	TP	S
Uso de colas, tintas e solventes voláteis na montagem.	Liberação de COVs (solventes materiais de construção)	x	x	x	-	G	C	EL	TP	R
Armazenamento inadequado de solventes, colas e resíduos tóxicos	Risco de contaminação por resíduos químicos	x	x	x	-	G	M	EP	TP	R
Migração de trabalhadores rurais para polos industriais.	Deslocamento compulsório de mão de obra e êxodo rural			x	-	M	C	ER	TT	R
Crescimento populacional em torno dos polos industriais.	Aumento da pressão sobre a infraestrutura urbana	x		x	-	M	M	EL	TP	S
Remoção da cobertura vegetal para construção de galpões e estradas de acesso.	Supressão da vegetação nativa para instalação fabril	x	x	x	-	G	M	EL	TT	R
Barulho das obras, iluminação noturna, movimentação de caminhões.	Afugentamento da fauna		x		-	M	C	EL	TT	R
Reserva legal, reflorestamento e corredores ecológicos.	Criação de áreas de compensação ambiental	x	x		+	M	L	EP	TT	R
Pavimentação de estradas e construção de acessos viários.	Melhoria da expansão de vias e da infraestrutura logística	x		x	+	M	M	ER	TT	R
Contratos informais, terceirizações sem direitos trabalhistas.	Risco de precarização do trabalho			x	-	M	M	EL	TP	R

Legenda: MF - Meio Físico, MB - Meio Biótico, MA - Meio Antrópico, CAR - Caráter, (+) - Positivo, (-) - Negativo, MAG - Magnitude, G - Grande, M - média, P - pequena, DUR - Duração, C - Curta, M - Média, L - Longa, ES - Espaço atingido, EP - Espaço Pontual, EL - Espaço Local, ER - Espaço Regional, TEMP - Temporalidade, TT - Temporária, TP - Permanente, PLAS - Plástica, R - Reversível, S - Irreversível.

Fonte: Autores (2025).

A avaliação indicou que os impactos negativos são expressivos: cinco afetaram simultaneamente os três meios (físico, biótico e antrópico), enquanto oito atingiram pelo menos dois desses meios. O meio antrópico foi o mais comprometido, com oito impactos adversos, demonstrando a significativa interferência da indústria nas condições sociais e econômicas locais. Isso evidencia que a relação do homem com o meio ambiente deve ser de interação, não de distanciamento.

Dos 11 impactos identificados, nove foram negativos e apenas dois positivos. Entre os adversos, três são irreversíveis e seis reversíveis; não há impactos positivos irreversíveis. Cinco impactos negativos possuem caráter permanente, sendo que dois deles, ao mesmo tempo irreversíveis e permanentes, configuram danos acumulativos, impossíveis de retorno ao estado original e de duração indefinida. Em termos de intensidade, cinco negativos apresentam grande magnitude, enquanto os positivos não alcançaram essa classificação.

Quanto à duração, um impacto negativo foi de longa duração, cinco de média e três de curta. Entre os positivos, um apresentou longa e outro média duração, nenhum apresentou curta duração. Em relação à abrangência espacial, um impacto negativo e um positivo foram regionais; sete negativos atingiram a escala local, enquanto nenhum positivo alcançou essa categoria. Os resultados indicam que, embora haja benefícios associados à indústria, os impactos adversos predominam em número, intensidade e permanência, exigindo gestão ambiental criteriosa para promover desenvolvimento sustentável.

Quadro 2. Check-list: Fase de Operação

Atividade	**Ações Impactantes do Objeto de Estudo**	**Sistema Ambiental Impactado**			**Caracterização do Impacto**					
	Fase de Operação	**MF**	**MB**	**MA**	**CAR**	**MAG**	**DUR**	**ES**	**TEMP**	**PLAS**
Descarga inadequada de efluentes líquidos sem tratamento.	Risco de contaminação de mananciais	x	x	x	-	G	L	EL	TT	S
Descarga de águas residuais do curtimento e tingimento.	Lançamento de efluentes em corpos d'água	x	x	x	-	G	M	EL	TP	S
Uso de colas, tintas e solventes voláteis na montagem.	Liberação de COVs	x	x	x	-	G	L	EL	TP	R
Armazenamento inadequado de solventes, colas e resíduos tóxicos.	Risco de contaminação por resíduos químicos	x	x	x	-	G	M	EP	TP	R
Projetos de remediação de áreas contaminadas e revegetação.	Recuperação de áreas degradadas	x	x		+	P	M	EP	TT	R
Processo de curtimento, lavagem e tingimento do couro.	Aumento do consumo hídrico	x	x	x	-	M	M	EL	TT	S
Instalação de sistemas de reuso e reciclagem de água no processo produtivo.	Investimento em tecnologias de reuso	x		x	+	P	C	EP	TP	R
Operação contínua de prensas, costura mecanizada, sistemas de climatização e iluminação fabril.	Maior demanda energética	x		x	-	M	C	EL	TT	S
Adoção de energia solar em galpões e uso de biomassa em caldeiras.	Utilização de fontes renováveis	x		x	+	M	C	ER	TT	R
Corte, lixamento e modelagem de couros, solados e componentes sintéticos.	Geração de resíduos de couro/borracha	x	x	x	-	G	C	EL	TT	S
Construção de ETEs industriais ou coletivas no polo calçadista.	Implantação de estação de tratamento	x		x	+	G	C	EP	TT	R
Instalação de filtros em chaminés e sistemas de exaustão.	Utilização e melhoria tecnológica para filtros e controle de emissões	x	x	x	+	M	C	EP	TT	R
Implantação e operação de fábricas.	Geração de empregos diretos e indiretos			x	+	M	C	EL	TP	R
Pagamento de tributos e impostos pela indústria.	Incremento da arrecadação			x	+	M	M	EL	TP	R

	municipal/estadual									
Atração de fornecedores, empresas de logística e serviços associados.	Diversificação da indústria local			x	+	M	C	EL	TP	R
Programas de treinamento profissional e qualificação técnica.	Capacitação da mão de obra			x	+	P	C	EL	TP	R
Contratos informais, terceirizações sem direitos trabalhistas.	Risco de precarização do trabalho			x	-	M	M	EL	TP	R
Exposição contínua a solventes, colas e movimentos repetitivos.	Potenciais doenças ocupacionais			x	-	G	C	EL	TT	R
Implantação de CIPA, exames médicos periódicos e EPIs.	Criação de programas de saúde e segurança no mercado calçadista			x	+	P	C	EP	TP	R
Logística/transporte.	Aumento do tráfego de cargas	x		x	-	M	M	EL	TT	S

Legenda: MF - Meio Físico, MB - Meio Biótico, MA - Meio Antrópico, CAR - Caráter, (+) - Positivo, (-) - Negativo, MAG - Magnitude, G - Grande, M - média, P - pequena, DUR - Duração, C - Curta, M - Média, L - Longa, ES - Espaço atingido, EP - Espaço Pontual, EL - Espaço Local, ER - Espaço Regional, TEMP - Temporalidade, TT - Temporária, TP - Permanente, PLAS - Plástica, R - Reversível, S - Irreversível.

Fonte: Autores (2025).

A análise revelou que os impactos negativos possuem amplo alcance: seis atingiram simultaneamente os três meios e oito incidiram sobre pelo menos dois. O meio antrópico foi o mais afetado, com dez impactos adversos, evidenciando a forte interferência social e econômica da indústria. Ao revelar que o homem também é atingido pelos impactos ambientais, esses resultados, reforçam que a relação entre sociedade e natureza é complexa, exigindo atenção à interação dinâmica entre ambos.

Dos 20 impactos identificados, dez foram negativos e dez positivos. Entre os adversos, seis são irreversíveis e quatro reversíveis; não há impactos positivos irreversíveis. Quatro impactos negativos possuem caráter permanente, sendo um simultaneamente irreversível e permanente, configurando dano acumulativo e duradouro. Um impacto negativo irreversível e permanente afetou todos os três meios diretamente. Em termos de magnitude, seis negativos foram de grande intensidade, enquanto nenhum positivo alcançou tal classificação.

Quanto à duração, dois impactos negativos tiveram longa, cinco tiveram média e três curta duração. Não se apresentou impactos positivos de duração longa, mas sim três de média e nove de curta duração. Em termos de abrangência, um positivo alcançou escala regional, ao passo que nenhum negativo na fase de operação chegou a essa abrangência. Em nível local, nove impactos negativos e quatro positivos; em pontual, um negativo e cinco positivos. Em conclusão, embora a atividade industrial gere benefícios, e um impacto positivo tenha alcançado âmbito regional, os impactos negativos se destacam em magnitude e

irreversibilidade, mostrando que políticas ambientais estratégicas são essenciais para equilibrar desenvolvimento econômico e sustentabilidade ecológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise evidenciou que os impactos negativos possuem grande alcance: onze afetaram simultaneamente os três meios (físico, biótico e antrópico) e quatorze incidiram sobre pelo menos dois deles. O meio antrópico foi o mais comprometido, com dezoito impactos adversos, mostrando que a atividade industrial interfere significativamente nas condições sociais e econômicas locais. Esses dados refutam a ideia de distanciamento entre homem e natureza, na medida em que mostra que os impactos negativos no ambiente acabam chegando ao ser humano.

Dos 31 impactos identificados, dezenove foram negativos e doze positivos. Entre os adversos, nove são irreversíveis e dez reversíveis, sem registro de impactos positivos irreversíveis. Nove negativos são permanentes, sendo três simultaneamente irreversíveis e permanentes, caracterizando danos acumulativos de duração indefinida. Nove dos impactos negativos e irreversíveis incidem diretamente sobre os meios antrópico e físico.

Conclui-se que a metodologia check-list mostrou-se adequada por tornar os resultados mais claros e objetivos, embora apresente limitações, como certa subjetividade e a possível desconsideração de impactos de longo prazo. Assim, ainda que existam benefícios com a instalação da indústria calçadista, os impactos negativos prevalecem em número e intensidade, gerando danos irreversíveis e exigindo gestão ambiental rigorosa para mitigar riscos e assegurar a sustentabilidade regional.

Quanto à magnitude, onze impactos negativos apresentaram grande intensidade, e apenas um positivo atingiu o mesmo nível. Em duração, três negativos foram longos, dez médios e seis curtos; entre os positivos, um de longa, três de média, e oito de curta duração. Em abrangência espacial, um impacto negativo e dois positivos tiveram alcance regional; dezesseis negativos e quatro positivos foram locais; e, em escala pontual, registraram-se dois negativos e seis positivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, A. C., e J. P. Lima. 2010. “O uso do método check-list na análise de impactos ambientais: vantagens e limitações.” Revista Brasileira de Gestão Ambiental 4 (2): 45–58.

Cremonez, F. E., et al. 2014. "Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas em empreendimentos no Brasil." Revista Brasileira de Ciências Ambientais 32: 64–78.

Ranieri, V. E. L., et al. 1998. Avaliação de impactos ambientais: conceitos e métodos. São Paulo: Edusp.

Ribeiro, G. A., et al. 2017. "Métodos de avaliação de impactos ambientais: aplicações e tendências." Revista de Estudos Ambientais 19 (1): 101–17.

Sánchez, L. E. 2013. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Silva, J. A. 1999. Metodologias de avaliação de impactos ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária.

Gallardo, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo. Análise das práticas de gestão ambiental da construção da pista descendente da Rodovia dos Imigrantes. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

ROSSI, Marta et al. Avaliação do ciclo de vida de uma cadeia de suprimentos de calçados de couro. International Journal of Sustainable Engineering , v. 14, n. 4, p. 686-703, 2021.

SOUZA, R. P. DE; ARAÚJO, M. M. F.; SILVA, F. M. DA. Impactos ambientais no setor coureiro-calçadista em Campina Grande – PB: uma análise quanto à utilização do cromo no processo produtivo. In: LIRA, W. S. (org.). Desenvolvimento e sustentabilidade socioambiental: estudos aplicados. João Pessoa: UFPB, 2013.

CHAGAS, D. T.; SILVA, F. R.; LIMA, R. S.; OLIVEIRA, M. P. Gestão de resíduos produzidos na indústria calçadista e implantação de programas ambientais. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 10, n. 1, p. 189-202, 2021.

Costa et al. "Check List dos Impactos Ambientais Gerados pela Pavimentação Asfáltica em uma Importante Avenida no Estado do Piauí." A Construção Civil: em uma Perspectiva Econômica, Ambiental e Social 2 (2022): 95–96. São Paulo: Editora Científica Digital. https://doi.org/10.37885/220408681.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112895

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM STEAM: EDUCAÇÃO AMBIENTAL E O DESAFIO DO TRATAMENTO DE ÁGUAS

APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO CON STEAM: EDUCACIÓN AMBIENTAL Y EL DESAFÍO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

MEANINGFUL LEARNING WITH STEAM: ENVIRONMENTAL EDUCATION AND THE CHALLENGE OF WATER TREATMENT

Socorro Dias Morais[1], Camila Silvestre Moreira [2], Francisca Sara Rodrigues Moreira [3]

[1]Mestranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *Campus* Juazeio do Norte, Brasil, redias1301@gmail.com, 0009-0001-5730-3577;
[2]Graduanda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *Campus* Juazeio do Norte, Brasil, csm97834489@gmail.com, 0009-0005-2264-4469;
[3] Mestranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *Campus* Juazeio do Norte, Brasil, saramoreira1081@gmail.com, 0009-0007-2992-648X.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Educación Ambiental y Concienciación para el Saneamiento

RESUMO

A presente proposta educacional integrou os princípios da Educação Ambiental, conforme estabelecido pela Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), à metodologia ativa da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e à abordagem interdisciplinar STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática). Essa combinação visa promover uma educação mais crítica, criativa e conectada aos desafios contemporâneos, como o tratamento da água, tema central do projeto realizado com alunos do projeto Partiu IFCE, na disciplina de Ensino de Ciências, durante o primeiro semestre de 2025. O conteúdo de "Separação de Misturas", abordado em sala de aula, foi contextualizado com foco no processo de potabilização da água. A proposta desafiou os estudantes a planejarem, construírem e apresentarem maquetes funcionais de Estações de Tratamento de Água (ETA), representando todas as etapas do tratamento, desde a captação até a distribuição. A atividade foi estruturada em etapas: aula expositiva, planejamento, construção, apresentação e avaliação. A avaliação foi realizada com base em uma rubrica que considerou critérios como participação, compreensão conceitual e reflexão crítica sobre o aprendizado. Os resultados demonstraram grande engajamento dos alunos, que criaram protótipos diversos utilizando materiais acessíveis. Alguns projetos se destacaram por apresentar soluções inovadoras, como mecanismos automatizados para o controle das etapas do tratamento, uso de conceitos interdisciplinares e simulação detalhada da cloração. As apresentações permitiram que os estudantes explicassem o funcionamento de seus modelos e realizassem testes práticos com amostras de água, estimulando o pensamento crítico e a aplicação prática dos conhecimentos.

A atividade também favoreceu o desenvolvimento de competências socioemocionais, como o trabalho em equipe, a comunicação e a argumentação, além de consolidar a integração entre teoria e prática. O uso da rubrica avaliativa garantiu um processo de avaliação mais objetivo, com feedbacks formativos que contribuíram para o aprimoramento das aprendizagens. Como conclusão, o projeto mostrou-se eficaz ao transformar conteúdos abstratos em experiências concretas de aprendizagem, alinhadas aos princípios da Educação Ambiental e da abordagem STEAM.

Palavras-chave: Saneamento, tecnologia, ABP.

RESÚMEN

La presente propuesta educativa integró los principios de la Educación Ambiental, conforme lo establece la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley N.º 9.795/1999), con la metodología activa del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y el enfoque interdisciplinario STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas). Esta combinación busca promover una educación más crítica, creativa y conectada con los desafíos contemporáneos, como el tratamiento del agua, tema central del proyecto realizado con los estudiantes del programa "Partiu IFCE" en la asignatura de Enseñanza de las Ciencias durante el primer semestre de 2025. El contenido de "Separación de Mezclas", trabajado previamente en clase, fue contextualizado con un enfoque en el proceso de potabilización del agua. La propuesta desafió a los estudiantes a planificar, construir y presentar maquetas funcionales de Estaciones de Tratamiento de Agua (ETA), representando todas las etapas del tratamiento, desde la captación hasta la distribución. La actividad se estructuró en etapas: clase expositiva, planificación, construcción, presentación y evaluación. La evaluación se realizó con base en una rúbrica que consideró criterios como participación, comprensión conceptual y reflexión crítica sobre el aprendizaje. Los resultados demostraron un gran compromiso por parte de los estudiantes, quienes crearon diversos prototipos utilizando materiales accesibles. Algunos proyectos se destacaron por sus soluciones innovadoras, como mecanismos automatizados para el control de las etapas del tratamiento, integración de conceptos interdisciplinarios y simulación detallada de la cloración. Las presentaciones permitieron a los estudiantes explicar el funcionamiento de sus modelos y realizar pruebas prácticas con muestras reales de agua, estimulando el pensamiento crítico y la aplicación práctica del conocimiento. La actividad también favoreció el desarrollo de habilidades socioemocionales como el trabajo en equipo, la comunicación y la argumentación, además de reforzar la integración entre teoría y práctica. El uso de la rúbrica de evaluación garantizó un proceso evaluativo más objetivo, con retroalimentaciones formativas que contribuyeron a la mejora del aprendizaje. En conclusión, el proyecto demostró ser eficaz al transformar contenidos abstractos en experiencias de aprendizaje concretas, alineadas con los principios de la Educación Ambiental y el enfoque STEAM.

Palabras clave: Saneamiento, Tecnología, ABP.

ABSTRACT

The present educational proposal integrated the principles of Environmental Education, as

established by the National Environmental Education Policy (Law No. 9.795/1999), with the active methodology of Problem-Based Learning (PBL) and the interdisciplinary STEAM approach (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics). This combination aims to promote a more critical, creative education connected to contemporary challenges, such as water treatment — the central theme of the project carried out with students from the "Partiu IFCE" program in the Science Education course during the first semester of 2025. The topic of "Separation of Mixtures," previously covered in class, was contextualized with a focus on the water potabilization process. The proposal challenged students to plan, build, and present functional models of Water Treatment Plants (WTPs), representing all treatment stages, from collection to distribution. The activity was structured into stages: lecture, planning, construction, presentation, and evaluation. Evaluation was conducted using a rubric that considered criteria such as participation, conceptual understanding, and critical reflection on learning. The results showed strong student engagement, with diverse prototypes created using accessible materials. Some projects stood out for their innovative solutions, such as automated mechanisms for process control, interdisciplinary concept integration, and detailed simulation of chlorination. The presentations allowed students to explain their models and perform practical tests using real water samples, stimulating critical thinking and practical application of knowledge. The activity also promoted the development of socio-emotional skills such as teamwork, communication, and argumentation, reinforcing the integration of theory and practice. The use of the evaluation rubric ensured a more objective assessment process, with formative feedback that contributed to learning improvement. In conclusion, the project proved effective in transforming abstract content into concrete learning experiences aligned with the principles of Environmental Education and the STEAM approach.

Keywords: Sanitation, Technology, PBL.

INTRODUÇÃO

A instituição da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), sob a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, garante que os estudos sobre os temas de Meio Ambiente sejam realizados de maneira transversal no campo escolar. Esse tipo de educação deve estar presente em todos os níveis de ensino, promovendo uma compreensão crítica sobre as questões ambientais, desempenhando um papel fundamental na formação de cidadãos conscientes e comprometidos com a sustentabilidade. Relatórios internacionais, como o da UNESCO (2021), destacam que a educação ambiental é uma ferramenta essencial para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e da degradação dos ecossistemas.

Estudos apontam que, embora a Educação Ambiental esteja presente em currículos escolares e políticas públicas, sua aplicação prática ainda enfrenta desafios, como a abordagem superficial dos conteúdos, a falta de formação dos educadores e a ausência de uma integração interdisciplinar efetiva (Buss e Silva, 2021).

Nesse sentido, a abordagem STEAM tem ganhado destaque por incentivar uma aprendizagem ativa e conectada aos desafios contemporâneos. Ao integrar ciência, tecnologia, engenharia, artes e matemática, o modelo STEAM estimula o desenvolvimento de competências cognitivas, criativas e socioemocionais nos alunos, favorecendo a resolução de problemas de maneira crítica e interdisciplinar (Yakman, 2008). Ou seja, a abordagem STEAM fortalece a Educação Ambiental ao unir interdisciplinaridade, inovação tecnológica e práticas reflexivas. Essa combinação facilita a compreensão, o envolvimento ativo dos estudantes e a construção de soluções mais sustentáveis e socialmente comprometidas.

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é uma metodologia ativa que favorece o desenvolvimento de competências investigativas e colaborativas por meio da resolução de problemas contextualizados. No ensino de Química, especialmente no eixo "Separação de Misturas", a abordagem STEAM pode ser integrada à ABP oferecendo uma oportunidade valiosa para integrar conceitos químicos com práticas ambientais, promovendo a conscientização ecológica entre os estudantes.

Ao propor desafios reais, como o processo de potabilização da água, os alunos são levados a mobilizar conhecimentos interdisciplinares científicos, tecnológicos e artísticos na busca por soluções sustentáveis. Essa articulação contribui para a formação de estudantes mais críticos, criativos e preparados para lidar com os desafios do século XXI (Moran, 2018; Yakman, 2008).

O Partiu IF é um Programa Nacional de Promoção de Igualdade de Oportunidades para acesso de estudantes da rede pública de ensino à Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tencológica , onde são ofertadas aulas e atividades voltadas para a recuperação das aprendizagens de estudantes do 9º ano do ensino Fundamental II, no intuito de enfrentar as desigualdades etnico-racial (MEC, 2024).

Este trabalho teve como objetivo oferecer de forma prática, aos alunos do projeto Partiu IF, atividades estimulando a criatividade e o senso crítico em relação a educação ambiental no eixo da Ciência com o tema tratamento de água.

MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta foi desenvolvida no âmbito da disciplina de Ensino de Ciências, ofertada no primeiro semestre de 2025 à Turma do Projeto Partiu IFCE. A metodologia adotada fundamentou-se na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), a qual posiciona o estudante

como protagonista do processo de ensino-aprendizagem e favorece o desenvolvimento de competências cognitivas, socioemocionais e técnicas por meio da resolução de problemas reais. O ponto de partida consistiu na mobilização dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema "separação de misturas", abordado em aulas anteriores. Esse conteúdo foi retomado e articulado ao eixo "tratamento de água", possibilitando a compreensão da aplicação dos processos físicos e químicos nas diferentes etapas de potabilização. Como atividade central, os estudantes foram desafiados a planejar e construir uma maquete funcional de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), contemplando todas as etapas do processo — desde a captação em mananciais até a distribuição final à população.

Durante a formação, os alunos desenvolveram diversos protótipos, incluindo modelos de Estações de Tratamento de Água (ETA), filtros e diferentes sistemas de purificação, utilizando materiais de baixo custo. As equipes tiveram a tarefa de explicar o funcionamento de seus projetos e realizar testes práticos in loco, utilizando amostras reais de água a serem tratadas. As soluções apresentadas contemplaram uma ou mais etapas de tratamento, permitindo explorar diferentes abordagens. As equipes apresentaram propostas diversificadas, discutindo coletivamente as vantagens e desvantagens de cada protótipo. Destacaram-se alguns projetos que incorporaram soluções inovadoras, como mecanismos automatizados de preenchimento e controle das etapas do sistema, utilizando conceitos integrados de Química, Física e Biologia. Houve ainda protótipos que simularam a etapa de cloração de forma detalhada, além do uso de recursos de automação, como bobina e bomba de água submersa, para otimizar o processo

O projeto seguiu as seguintes etapas: Aula expositiva, Planejamento da maquete, Construção**,** Apresentação e socialização – Exposição dos trabalhos, explicação das etapas do tratamento e relação com os desafios ambientais locais**,** Avaliação formativa – Utilização da rubrica avaliativa (Quadro 1) para analisar participação, compreensão conceitual e capacidade de aplicação prática.

Quadro 1: Rubrica avaliativa

Critério	Excelente	Bom	Regular	Insuficiente
Participação	Participa ativamente em todas as discussões e	Participa na maioria das discussões e atividades.	Participa ocasionalmente, mas não se envolve totalmente.	Não participa das discussões ou atividades.

	atividades propostas.			
Compreensão e conhecimento dos Conceitos	Demonstra excelente compreensão dos conceitos sobre a temática proposta, aplicando-os corretamente durante a atividade.	Demonstra boa compreensão, mas com algumas falhas na aplicação.	Demonstra compreensão limitada, com várias falhas na aplicação.	Não demonstra compreensão dos conceitos.
Reflexão sobre o Aprendizado	Reflete criticamente sobre os conhecimentos adquiridos, estabelecendo relações conscientes entre o conteúdo abordado na atividade e a importância do uso responsável e do tratamento da água.	Reflete parcialmente sobre os conhecimentos adquiridos, estabelecendo relações conscientes entre o conteúdo abordado na atividade e a importância do uso responsável e do tratamento da água.	Reflete de forma limitada sobre os conhecimentos adquiridos, estabelecendo relações conscientes entre o conteúdo abordado na atividade e a importância do uso responsável e do tratamento da água.	Não reflete criticamente sobre os conhecimentos adquiridos, estabelecendo relações conscientes entre o conteúdo abordado na atividade e a importância do uso responsável e do tratamento da água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As soluções apresentadas nas exposições e esplanação do conteudo em estudo, evidenciaram não apenas a compreensão técnica, mas também a criatividade e a capacidade de aplicar conhecimentos interdisciplinares.

A aplicação da rubrica de aprendizagem possibilitou uma avaliação estruturada e transparente do desempenho dos estudantes, permitindo registrar, em tempo real, seu nível de participação, engajamento e capacidade de interpretação ao longo da dinâmica. Cada critério foi pontuado com base em observações diretas, assegurando objetividade no processo avaliativo. Como complemento, realizou-se um momento de feedback coletivo, no qual foram destacados tanto os pontos fortes quanto os aspectos a serem aprimorados. Os critérios adotados na rubrica foram: Participação, Compreensão e Conhecimento sobre a Estação de

Tratamento de Água e Reflexão sobre o Aprendizado, com classificação nos níveis Excelente, Bom, Regular e Insuficiente. A atividade, além de fomentar o pensamento crítico e a criatividade, reforçou a articulação entre teoria e prática, permitindo que os estudantes visualizassem, de forma concreta, como se dá o processo de potabilização da água.

A proposta mostrou-se eficaz para envolver os alunos de maneira ativa, participativa e interdisciplinar, em consonância com a abordagem STEAM. Na figura 1 mostra um dos protótipo elaborado para demonstrar um sistema de tratamento de água utilizando o tema separação de mistura.

Figura 1. Foto de um dos protótipos.
Fonte: Autores (2025)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade evidenciou alto nível de engajamento dos estudantes, que se mostraram capazes de transformar conceitos teóricos em soluções práticas e funcionais. O trabalho em equipe, aliado à experimentação e ao raciocínio crítico, resultou em protótipos com potencial de aplicação em contextos reais de tratamento de água. Além de desenvolver competências técnicas, a dinâmica promoveu habilidades de comunicação, argumentação e inovação, fortalecendo a integração entre teoria e prática no processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. *Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de abril de 1999. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm.

Buss, Aldineia, e Mariela Mattos da Silva. "Fragilidades da Educação Ambiental na Escola Pública: A Formação dos Professores." *Revista de Educação Pública* 30 (2021): 1–14. https://doi.org/10.29286/rep.v30ijan/dez.8982.

Ministério da Educação (MEC). *Partiu IF*. Acessado em 25 de setembro de 2025. https://www.gov.br/mec/pt-br/partiu-if.

Moran, José M. *Metodologias ativas para uma aprendizagem mais significativa*. São Paulo: USP, 2018. https://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2018/02/Metodologias-Ativas.pdf.

UNESCO. *Learn for Our Planet: A Global Review of How Environmental Issues Are Integrated in Education*. Paris: UNESCO, 2021. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377362.

Yakman, Georgette. "STEAM Education: An Overview of Creating a Model of Integrative Education." Paper presented at the PATT-19 Conference, Salt Lake City, UT, 2008.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112914

ATITUDE CONSCIENTE: EDUCAÇÃO E AÇÃO COMUNITÁRIA NO SANEAMENTO DE ÁREAS COSTEIRAS

ACTITUD CONSCIENTE: EDUCACIÓN Y ACCIÓN COMUNITARIA EN EL SANEAMIENTO DE ZONAS COSTERAS

CONSCIOUS ATTITUDE: EDUCATION AND COMMUNITY ACTION IN COASTAL AREA SANITATION

Valmir Ramos da Silva [1], Ângela Maria dos Santos Schepp [2]

[1] Graduando em Gestão Ambiental; Centro Universitário Maurício de Nassau (UNINASSAU), Cabo de Santo Agostinho – PE, Brasil imaginemesempre@hotmail.com, 0009-0009-1468-4224;

[2] Mestra em Extensão Rural da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf); asantosschepp@gmail.com. (Orientadora).

Eixo Temático VII – Desenvolvimento Sustentável:
Educação ambiental e conscientização para o saneamento.

Eje Temático: VII – Desarrollo Sostenible:
Educación ambiental y concienciación para el saneamiento.

RESUMO

O projeto Atitude Consciente nasceu para enfrentar, de forma integrada e continuada, o problema do descarte inadequado de resíduos sólidos em ambientes costeiros, além de áreas urbanas e comunidades rurais do estado de Pernambuco. Implementado a partir de 2018, o projeto combina mutirões de limpeza, atividades de educação ambiental, capacitação de agentes locais e ações de articulação institucional com prefeituras, escolas, cooperativas e organizações da sociedade civil, visando promover mudança de comportamento, corresponsabilidade social e conservação de ecossistemas sensíveis como praias, manguezais e fozes de rios.

A metodologia adotada articula cinco componentes principais: (1) planejamento e mobilização social por meio de mídias locais e redes comunitárias; (2) realização de mutirões em três formatos, comunitário, colaborativo e corporativo, com triagem e pesagem padronizadas; (3) registro e classificação dos resíduos segundo categorias técnicas (recicláveis, rejeitos, resíduos perigosos) por meio do Formulário Nacional Mutirão de Limpeza; (4) encaminhamento logístico e social dos materiais, destinando recicláveis a cooperativas locais e rejeitos ao destino sanitário apropriado; e (5) avaliação e retroalimentação das ações através de indicadores quantitativos e pesquisas qualitativas com participantes e parceiros. Essa abordagem permite mensurar resultados imediatos (peso e composição dos resíduos coletados, número de voluntários) e capturar sinais de mudança de atitudes e práticas por meio de avaliações pré/pós ação.

Entre 2018 e 2025 o projeto organizou mais de 25 mutirões, mobilizando variadas escalas de público, de grupos locais pequenos a grandes ações com cerca de 500 voluntários, e resultando

na remoção acumulada de mais de 13 toneladas de resíduos, dos quais aproximadamente 5 toneladas foram recicláveis. Eventos de destaque incluem a ação realizada em 21 de setembro de 2024 em Barreiros–PE, reconhecida pelo Instituto Limpa Brasil como a melhor do estado e a 7ª a nível nacional. Relatos qualitativos apontam aumento do conhecimento ambiental entre escolares e maior disposição de pequenas comércios locais em separar resíduos, embora a consolidação de práticas sustentáveis dependa de infraestrutura e políticas públicas locais.

Os principais desafios identificados são a sustentabilidade financeira das ações, a logística de transporte e destinação em territórios dispersos, a criação de fluxos permanentes para materiais recicláveis e a necessidade de monitoramento longitudinal para aferir mudanças comportamentais perenes. Como recomendações, propõe-se a institucionalização de programas municipais de educação ambiental, formalização de parcerias com cooperativas, implantação de pontos de entrega voluntária e incorporação de indicadores de resíduos costeiros em planos municipais de saneamento. Conclui-se que a combinação entre ação direta e educação continuada constitui um modelo replicável para ampliar a governança local de resíduos e contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados a cidades sustentáveis, consumo responsável e vida na água.

Palavras-chave: Educação ambiental, Mobilização social, Resíduos sólidos, Saneamento rural, Sustentabilidade

RESÚMEN

El Proyecto Actitud Consciente nació para enfrentar, de manera integrada y continua, el problema de la disposición inadecuada de residuos sólidos en entornos costeros, además de en áreas urbanas y comunidades rurales del estado de Pernambuco. Implementado desde 2018, el proyecto combina jornadas de limpieza, actividades de educación ambiental, capacitación de agentes locales y acciones de articulación institucional con ayuntamientos, escuelas, cooperativas y organizaciones de la sociedad civil, con el objetivo de promover el cambio de comportamiento, la corresponsabilidad social y la conservación de ecosistemas sensibles como playas, manglares y desembocaduras de ríos.

La metodología adoptada articula cinco componentes principales: (1) planificación y movilización social a través de medios locales y redes comunitarias; (2) realización de jornadas de limpieza en tres formatos, comunitario, colaborativo y corporativo, con clasificación y pesaje estandarizados; (3) registro y clasificación de los residuos según categorías técnicas (reciclables, rechazos, residuos peligrosos) mediante el Formulario Nacional de Jornada de Limpieza; (4) encaminamiento logístico y social de los materiales, destinando los reciclables a cooperativas locales y los rechazos al destino sanitario adecuado; y (5) evaluación y retroalimentación de las acciones mediante indicadores cuantitativos e investigaciones cualitativas con participantes y socios. Este enfoque permite medir resultados inmediatos, como el peso y la composición de los residuos recolectados, el número de voluntarios y detectar señales de cambio de actitudes y prácticas a través de evaluaciones antes y después de las acciones.

Entre 2018 y 2025, el proyecto organizó más de 25 jornadas de limpieza, movilizando públicos de diversas escalas, desde pequeños grupos locales hasta grandes acciones con cerca de 500 voluntarios, resultando en la remoción acumulada de más de 13 toneladas de residuos, de las cuales aproximadamente 5 toneladas fueron reciclables. Entre los eventos destacados se incluye la acción realizada el 21 de septiembre de 2024 en Barreiros–PE, reconocida por el Instituto

Limpa Brasil como la mejor del estado de Pernambuco y la séptima a nivel nacional. Los informes cualitativos señalan un aumento del conocimiento ambiental entre los estudiantes y una mayor disposición de los pequeños comercios locales para separar los residuos, aunque la consolidación de prácticas sostenibles depende de la infraestructura y las políticas públicas locales.

Los principales desafíos identificados son la sostenibilidad financiera de las acciones, la logística de transporte y disposición en territorios dispersos, la creación de flujos permanentes para materiales reciclables y la necesidad de un monitoreo longitudinal para evaluar cambios conductuales duraderos. Como recomendaciones, se propone la institucionalización de programas municipales de educación ambiental, la formalización de alianzas con cooperativas, la implementación de puntos de entrega voluntaria y la incorporación de indicadores de residuos costeros en los planes municipales de saneamiento. Se concluye que la combinación entre acción directa y educación continua constituye un modelo replicable para ampliar la gobernanza local de los residuos y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con ciudades sostenibles, consumo responsable y vida submarina.

Palabras clave: Educación ambiental, Movilización social, Residuos sólidos, Saneamiento rural, Sostenibilidad

ABSTRACT

The Conscious Attitude Project was created to address, in an integrated and continuous way, the problem of improper solid waste disposal in coastal environments, as well as in urban areas and rural communities in the state of Pernambuco. Implemented since 2018, the project combines cleanup drives, environmental education activities, training of local agents, and institutional coordination actions with municipalities, schools, cooperatives, and civil society organizations, aiming to promote behavioral change, social co-responsibility, and the conservation of sensitive ecosystems such as beaches, mangroves, and river mouths.

The adopted methodology integrates five main components: (1) planning and social mobilization through local media and community networks; (2) implementation of cleanup drives in three formats, community, collaborative, and corporate, with standardized sorting and weighing; (3) recording and classification of waste according to technical categories (recyclables, rejects, hazardous waste) using the National Cleanup Drive Form; (4) logistical and social routing of materials, sending recyclables to local cooperatives and rejects to appropriate sanitary destinations; and (5) evaluation and feedback of actions through quantitative indicators and qualitative research with participants and partners. This approach allows for the measurement of immediate results, such as the weight and composition of collected waste, number of volunteers, and detection of attitude and behavior changes through pre- and post-action assessments.

Between 2018 and 2025, the project organized more than 25 cleanup drives, engaging audiences of various scales, from small local groups to large actions with around 500 volunteers, resulting in the cumulative removal of over 13 tons of waste, of which approximately 5 tons were recyclable. Notable events include the action held on September 21, 2024, in Barreiros–PE, recognized by the Instituto Limpa Brasil as the best in the state of Pernambuco and the 7th best nationwide. Qualitative reports indicate an increase in environmental awareness among students and a greater willingness of small local businesses to separate waste, although the consolidation

of sustainable practices depends on local infrastructure and public policies.

The main challenges identified include the financial sustainability of actions, transport and disposal logistics in dispersed territories, the creation of permanent flows for recyclable materials, and the need for longitudinal monitoring to assess long-term behavioral changes. As recommendations, the institutionalization of municipal environmental education programs, formalization of partnerships with cooperatives, implementation of voluntary delivery points, and incorporation of coastal waste indicators into municipal sanitation plans are proposed. It is concluded that the combination of direct action and continuous education constitutes a replicable model to strengthen local waste governance and contribute to the Sustainable Development Goals related to sustainable cities, responsible consumption, and life below water.

.

Keywords: Environmental education, Rural sanitation, Solid waste, Social mobilization, Sustainability

INTRODUÇÃO

A gestão inadequada de resíduos sólidos constitui um dos maiores desafios ambientais da atualidade, especialmente em regiões costeiras, rurais e periféricas urbanas, onde a infraestrutura de saneamento básico é frequentemente insuficiente. Nesse contexto, a educação ambiental emerge como ferramenta essencial para promover a conscientização e a mudança de comportamentos, visando à sustentabilidade socioambiental. O projeto Atitude Consciente foi iniciado em 2018 no estado de Pernambuco, Brasil, com o objetivo de combater o descarte irregular de resíduos por meio de ações práticas de limpeza e processos educativos contínuos. A experiência se insere no âmbito do saneamento rural e urbano, destacando-se pela abordagem integrada que associa mobilização comunitária, educação ambiental e destinação adequada de resíduos. Este trabalho relata a trajetória do projeto entre 2018 e 2025, apresentando sua metodologia, resultados alcançados, impactos e lições aprendidas, com vistas a contribuir para a discussão sobre políticas públicas e ações comunitárias no tema do saneamento sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto Atitude Consciente baseia-se em uma metodologia participativa, que combina educação ambiental, mobilização social e ações práticas de limpeza. As atividades são realizadas em diferentes territórios: zonas costeiras (praias, manguezais), áreas urbanas (bairros, centros comunitários) e zonas rurais. O público envolvido inclui moradores, estudantes, comerciantes,

agricultores, pescadores e turistas.

As ações são divulgadas por meio de redes sociais (@institutoecoeducar) e atividades presenciais em escolas, associações comunitárias e feiras livres. Os mutirões de limpeza são organizados em três formatos: (a) Colaborativo – com voluntários engajados; (b) Corporativo – com empresas e poder público; (c) Comunitário – focado em bairros e zonas rurais.

Após capacitação pelo Projeto Correntes Marítimas (TerraMar/MMA), adotou-se o Formulário Nacional Mutirão de Limpeza para registro e caracterização dos resíduos coletados. Os materiais recicláveis são destinados a cooperativas locais, e os rejeitos, encaminhados ao aterro sanitário controlado (Portal Sul Consórcio). Os dados quantitativos (número de voluntários, volume de resíduos) são compilados em planilhas e analisados de forma descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre 2018 e 2025, o projeto realizou mais de 25 mutirões de limpeza, com participação média de 250 voluntários por ação e total de 13 toneladas de resíduos coletados, sendo 5 toneladas de recicláveis encaminhadas a cooperativas. As 5 toneladas de resíduos recicláveis encaminhadas às cooperativas locais representaram aproximadamente 38,5% do total removido. Essa destinação focada fortaleceu a cadeia de reciclagem, garantindo que os rejeitos e materiais perigosos remanescentes, ou seja, cerca de 8 toneladas, ou 61,5% do total coletado, tivessem o destino sanitário apropriado, neste caso o Aterro Sanitário do Portal Sul Consórcio no Município de Rio Formoso. Destaca-se a ação de 21 de setembro de 2024 em Barreiros–PE, que removeu expressivo volume de resíduos e recebeu reconhecimento do Instituto Limpa Brasil como melhor ação de Pernambuco e 7ª melhor do Brasil. Em 2025, foi realizada a maior ação no Litoral Sul de Pernambuco, com aproximadamente 500 voluntários e mais de 1 tonelada de resíduos removidos.

Após cada coleta realizada nos mutirões, o material recolhido passa por um processo sistemático de segregação por categorias (recicláveis, rejeitos e materiais perigosos), em pontos de triagem organizados pelos coordenadores de campo. Cada item ou fração é inicialmente contabilizado e registrado, e em seguida os volumes e pesos são aferidos. Os dados resultantes desta segregação, incluindo número de itens, categorias, peso total e peso por categoria, são compilados e preenchidos no Formulário Nacional de Mutirão de Limpeza, que posteriormente é encaminhado oficialmente ao Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas para

integração às bases nacionais de monitoramento e para subsidiar a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão de resíduos.

Para reforçar a discussão sobre a composição, os registros detalhados do mutirão de Barreiros (20/09/2025), que removeu 1.077 kg de resíduos, oferecem um panorama da natureza dos poluentes. Neste evento, o plástico constituiu o grupo predominante em termos de número de itens. Na amostra triada e contabilizada, o volume de plástico foi expressivo, destacando-se categorias como: Garrafas PET (497 itens), tampas, lacres e argolas (368 itens), e embalagens de alimento (311 itens). Em contraste, materiais como vidro (pedaços de vidro) somaram 100 itens e metal (latas de bebida) apenas 23 itens na mesma triagem.

Embora o número de itens indique a onipresença do plástico, a maior parte da massa classificada como rejeito (61,5% do total acumulado) foi composta por materiais não passíveis de reciclagem, contaminados ou de grande peso e volume. Por exemplo, no referido mutirão de Barreiros, 250 kg do peso total (1.077 kg) foram identificados como um torrão de látex aglomerado, um resíduo não convencional de alta densidade que, juntamente com o latão encontrado (4 kg), demonstrou como a massa total de rejeitos é fortemente influenciada por materiais pesados e de difícil destinação, em vez de apenas pelos pequenos fragmentos plásticos. A inclusão desses dados específicos, registrados no Formulário Nacional (**abaixo**), é fundamental para direcionar futuras ações de prevenção e gestão, focando tanto na redução do descarte de plásticos leves quanto na identificação de fontes de resíduos industriais ou de grande porte que comprometem a balança da segregação.

Em 2021, no âmbito do projeto Combate ao Lixo do Mar do Ministério do Meio Ambiente (MMA), foi produzida a exposição fotográfica intitulada “Correntes Marítimas”. Essa exposição passou a ser incorporada como ferramenta pedagógica no Projeto Atitude Consciente, sendo utilizada em oficinas, nas atividades em escolas e em eventos comunitários. As imagens e as narrativas da exposição têm contribuído para sensibilizar públicos diversos sobre as fontes, trajetórias e impactos do lixo marinho, aproximando a comunidade das problemáticas de transporte de resíduos e fortalecendo mensagens de prevenção e corresponsabilização.

A aplicação da exposição “Correntes Marítimas” como recurso pedagógico específico, notadamente nas atividades em escolas, foi fundamental para a análise qualitativa do projeto. Os relatos obtidos, que já indicam melhoria no conhecimento ambiental de estudantes e aumento do conhecimento ambiental entre escolares, ganham profundidade ao considerar o efeito visual e

narrativo da exposição. Este recurso conseguiu traduzir, de forma tangível, a complexidade das rotas de poluição e o transporte dos resíduos, aproximando os jovens participantes de problemáticas globais e mostrando como o descarte feito localmente afeta ecossistemas costeiros e marinhos distantes. O sucesso dessa ferramenta reside em sua capacidade de transformar um problema abstrato em uma realidade visível, reforçando a urgência da prevenção e da corresponsabilidade social, o que se alinha diretamente com a maior disposição observada para a separação dos resíduos.

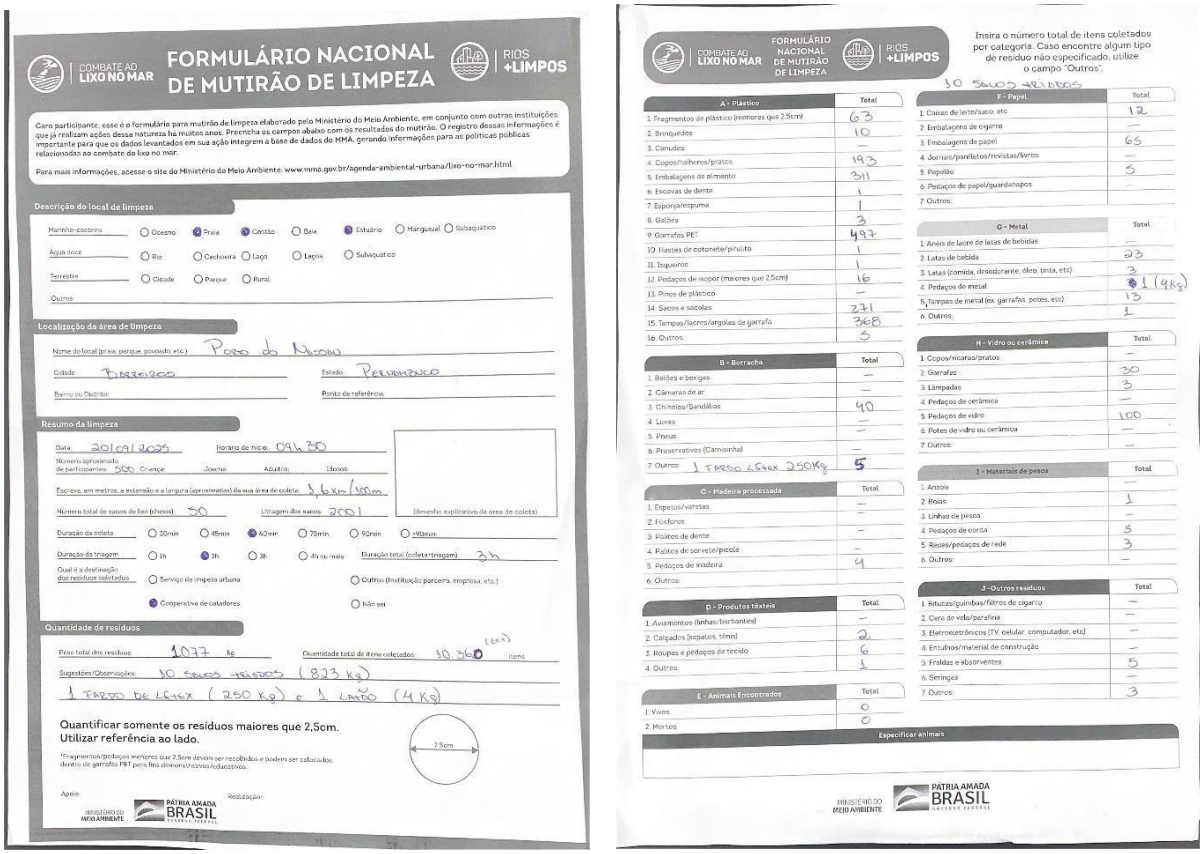


Figura 1. Formulário Nacional de Mutirão de Limpeza preenchido na Ação do dia 20/09/2025 – Barreiros - PE
Fonte: MMA, 2022.

Os resultados demonstram que a combinação entre limpeza e educação ambiental gera impacto duradouro, sensibilizando a população e fomentando a corresponsabilidade. A parceria com cooperativas fortalece a economia local e a cadeia de reciclagem. Entretanto, persistem desafios como a dificuldade de transporte de voluntários e a expansão para áreas rurais, onde o acesso e a mobilização são mais complexos.

A discussão evidencia que projetos contínuos e com forte engajamento local são eficazes

para enfrentar a poluição por resíduos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 (Cidades Sustentáveis) e 12 (Consumo Responsável).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto Atitude Consciente demonstra que a integração entre educação ambiental, mobilização comunitária e parcerias institucionais é estratégica para promover a gestão sustentável de resíduos e o saneamento básico em contextos rurais e urbanos. Os resultados alcançados reforçam a importância de ações continuadas e da valorização dos atores locais. Como perspectivas, sugere-se a ampliação das ações para o interior do estado, o fortalecimento de parcerias com prefeituras e empresas, e a sistematização de metodologias que possam ser replicadas em outras regiões. A experiência serve como referência para políticas públicas de saneamento e educação ambiental, destacando o papel da sociedade civil na construção de territórios mais limpos e saudáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Limpa Brasil, ao Projeto Correntes Marítimas (TerraMar/MMA), às cooperativas de reciclagem, aos voluntários e às prefeituras parceiras pelo apoio essencial à realização das ações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO LIMPA BRASIL. Relatório Nacional de Mutirões de Limpeza 2024. São Paulo: Instituto Limpa Brasil, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar. Brasília: MMA, 2020.

JACOBI, Pedro; TOLEDO, Renata Ferraz de. Educação ambiental e mobilização social em projetos de saneamento básico. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2017.

TERRAMAR. Metodologia de Mutirões de Limpeza: guia para aplicação do Formulário Nacional. Recife: Projeto Correntes Marítimas, 2023.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

HTTPS://DOI.ORG/10.5281/ZENODO.19112957

COMPOSTO ORGÂNICO DE CASCAS DOS FRUTOS DE CACAU NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMÃO

COMPUESTO ORGÁNICO DE CÁSCARAS DE FRUTOS DE CACAO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE PAPAYA

ORGANIC COMPOUND FROM COCOA FRUITS SHELLS IN THE PRODUCTION OF PAPAYA SEEDLINGS

Narcísio Cabral de Araújo[1], Felipe Campos da Silva[2]

[1]Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Doutor em Engenharia Agrícola e Professor do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna - BA, Brasil. E-mail: narcisioaraujo@ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0589-8924;
[2]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna - BA, Brasil. E-mail: felipe.campos@gfe.ufsb.edu.br

Eixo Temático 07 – Agricultura
Valorização de resíduos: biossólidos e outros.

Eje Temático 07 – Agricultura
Valorización de residuos: biosólidos y otros.

Thematic Axis 07 – Agriculture
Waste recovery: biosolids and others.

RESUMO

Considerando a potencialidade da reciclagem de nutrientes contidas nas cascas dos frutos do cacau e os altos preços dos fertilizantes minerais e substratos comerciais utilizados nas produções de mudas, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade de mudas de mamão cultivada em substrato alternativo preparado com composto orgânico resultante da compostagem de cascas de frutos de cacau. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado composto por sete tratamentos e dezoito repetições. Os tratamentos foram caracterizados por sete diferentes substratos, sendo um controle, formulados por substrato comercial e outros seis substratos alternativos, formulados com diferentes proporções de composto orgânico, resultante da compostagem de cascas de frutos de cacau e dois tipos de solo (um franco argiloso e o outro franco arenoso), ou seja, S1 - Substrato comercial Carolina Soil (controle); S2 - Solo franco-arenoso + composto orgânico, na proporção 1:1 (v/v – uma parte em volume de solo para uma parte em volume de composto orgânico); S3 - Solo franco-arenoso + composto orgânico, na proporção 1:2 (v/v); S4 - Solo franco-arenoso + composto orgânico, na proporção 1:3 (v/v); S5 - Solo franco-argiloso + composto orgânico, na proporção 1:1 (v/v); S6 - Solo franco-argiloso + composto orgânico, na proporção 1:2 (v/v); e S7: Solo franco-argiloso + composto orgânico, na proporção 1:3 (v/v – uma parte de solo para três parte do composto orgânico). Foram analisados percentual de emergência (PE) e índice de qualidade de Dickson (IQD). A análise estatística constatou

diferença estatística significativa ($p < 0,01$), entre tratamentos, para todas as variáveis analisadas. A máxima média para todas as variáveis analisadas, foi observada para as mudas produzidas no substrato alternativo composto por solo franco argiloso mais composto orgânico preparado na proporção de uma parte de solo para duas partes de composto (S3 – 1:2). As mudas com as melhores qualidades também foram as produzidas com o S3.

Palavras-chave: Reciclagem de nutrientes, Substrato alternativo, resíduos de atividades agrícolas, Compostagem.

RESÚMEN

Considerando el potencial para reciclar nutrientes contenidos en las cáscaras de las mazorcas de cacao y los altos precios de los fertilizantes minerales y sustratos comerciales utilizados en la producción de plántulas, este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de plántulas de papaya cultivadas en un sustrato alternativo preparado con compost orgánico obtenido de cáscaras de mazorcas de cacao compostadas. El experimento se realizó en un invernadero utilizando un diseño completamente aleatorizado con siete tratamientos y dieciocho réplicas. Los tratamientos consistieron en siete sustratos diferentes: un control, formulado con un sustrato comercial, y seis sustratos alternativos, formulados con diferentes proporciones de compost orgánico obtenido de cáscaras de mazorcas de cacao compostadas, y dos tipos de suelo (uno franco arcilloso y otro franco arenoso): S1 - Sustrato Commercial Carolina Soil (control); S2 - Suelo franco arenoso + compost orgánico, en una proporción 1:1 (v/v – una parte de tierra por una parte de compost orgánico); S3 - Suelo franco arenoso + compost orgánico, en una proporción 1:2 (v/v); S4 - Suelo franco arenoso + compost orgánico, en una proporción 1:3 (v/v); S5: Suelo franco arcilloso + compost orgánico, en proporción 1:1 (v/v); S6: Suelo franco arcilloso + compost orgánico, en proporción 1:2 (v/v); y S7: Suelo franco arcilloso + compost orgánico, en proporción 1:3 (v/v: una parte de suelo por tres partes de compost orgánico). Se analizaron el porcentaje de emergencia (PE) y el índice de calidad de Dickson (DQI). El análisis estadístico encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,01$) entre los tratamientos para todas las variables analizadas. La media máxima para todas las variables analizadas se observó para las plántulas producidas en el sustrato alternativo compuesto por suelo franco arcilloso más compost orgánico preparado en proporción 1 parte de suelo por dos partes de compost (S3 - 1:2). Las plántulas con mejor calidad también fueron las producidas con S3.

Palabras clave: Reciclaje de nutrientes, Sustrato alternativo, Residuos agrícolas, Compostaje.

ABSTRACT

Considering the potential for recycling nutrients contained in cocoa pod husks and the high prices of mineral fertilizers and commercial substrates used in seedling production, this study aimed to evaluate the quality of papaya seedlings grown in an alternative substrate prepared with organic compost obtained from composted cocoa pod husks. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized design with seven treatments and eighteen replicates. The treatments consisted of seven different substrates: a control, formulated with a commercial substrate, and six alternative substrates, formulated with

different proportions of organic compost obtained from composted cocoa pod husks, and two soil types (one clay loam and the other sandy loam): S1 - Commercial Carolina Soil substrate (control); S2 - Sandy loam soil + organic compost, in a 1:1 ratio (v/v – one part soil to one part organic compost); S3 - Sandy loam soil + organic compost, in a 1:2 (v/v) ratio; S4 - Sandy loam soil + organic compost, in a 1:3 (v/v) ratio; S5 - Clay loam soil + organic compost, in a 1:1 (v/v) ratio; S6 - Clay loam soil + organic compost, in a 1:2 (v/v) ratio; and S7: Clay loam soil + organic compost, in a 1:3 ratio (v/v - one part soil to three parts organic compost). The emergence percentage (PE) and Dickson quality index (DQI) were analyzed. The statistical analysis found a statistically significant difference ($p < 0.01$) between treatments for all analyzed variables. The maximum mean for all analyzed variables was observed for seedlings produced in the alternative substrate composed of clay loam soil plus organic compost prepared in a ratio of one part soil to two parts compost (S3 - 1:2). The seedlings with the best quality were also those produced with S3.

Keywords: Nutrient recycling, Alternative substrate, agricultural waste, Composting.

INTRODUÇÃO

A região Sul da Bahia é considerada como a maior produtora de cacau do estado. Na etapa de colheita dos frutos de cacau, para extração das amêndoas, a casca externa do fruto (epicarpo) é descartada e na maioria dos casos, considerada como resíduo com pouco ou nenhum valor comercial. Segundo Figueiredo et al. (2018), do fruto do cacau, a casca pode representar cerca de 80%, ou seja, para uma tonelada de frutos colhidos, 800 kg corresponde a cascas. Geralmente, esses resíduos são abandonados nas plantações e utilizados apenas como fertilizantes para o cacaueiro, podendo propagar pragas que acabam requerendo a necessidade e uso de produtos químicos (CARDOSO et al., 2002).

Sob o ponto de vista agrícola, a principal vantagem do uso de resíduos relaciona-se com o fornecimento de nutrientes neles contidos e/ou com benefícios ligados ao seu conteúdo orgânico, que pode manter, ou mesmo elevar, o teor de matéria orgânica do solo (PIRES; MATTIAZZO, 2008). Neste caso, o tratamento das cascas dos frutos do cacau para produzir composto orgânico pode ser considerado uma alternativa para minimizar a poluição ambiental e consequentemente custos com aquisição de fertilizantes sintéticos, comumente utilizado no cultivo agrícola. Pois, ao analisar extrato líquido de cascas de frutos de cacau, Sodré et al. (2012) encontraram consideáveis concentrações de macro e micronutrientes.

Considerando que, a cultura do mamão possui um período produtivo relativamente curto, duração de três a quatro anos, tem-se a necessidade de um alto investimento para renovação continua de seus pomares, principalmente com relação a aquisição de mudas de boa

qualidade (OLIVEIRA et al., 2020). E que na produção de mudas, alguns dos insumos utilizados são os fertilizantes e substratos, que atualmente estão sendo comercializados com preços bem elevados, é justificável realizar pesquisa que objetive avaliar a eficácia da aplicação de substrato alternativo formulado por composto orgânico resultante do tratamento de resíduos sólidos do meio rural, que comumente são descartados no meio ambiente sem nenhum controle, como acontece com as cascas dos frutos do cacau.

Portanto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade de mudas de mamão cultivada em substrato alternativo preparado com composto orgânico resultante da compostagem de cascas de frutos de cacau.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no localizada no Campus Jorge Amado (CJA) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), localizada na Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Ilhéus-BA.

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação com dimensões de 7,0 m de comprimento, 3,0 m de largura por 2,30 m de altura coberta com lona plástica transparente de 150 micras e com revestimento lateral com tela preta de nylon com capacidade de retenção de 50% da luz.

Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado com sete tratamentos e doze repetições. Os tratamentos foram definidos por: S1 - Substrato comercial Carolina Soil (controle); S2 - Solo franco-arenoso + composto orgânico, na proporção 1:1 (v/v – uma parte em volume de solo para uma parte em volume de composto orgânico); S3 - Solo franco-arenoso + composto orgânico, na proporção 1:2 (v/v); S4 - Solo franco-arenoso + composto orgânico, na proporção 1:3 (v/v); S5 - Solo franco-argiloso + composto orgânico, na proporção 1:1 (v/v); S6 - Solo franco-argiloso + composto orgânico, na proporção 1:2 (v/v); e S7: Solo franco-argiloso + composto orgânico, na proporção 1:3 (v/v – uma parte de solo para três parte do composto orgânico).

Os solos utilizados na preparação dos substratos foram coletados da camada de 0-20 cm em duas áreas de uma fazenda particular localizada no município de Buerarema, BA. As caracterizações físicas e de salinidade dos solos foram realizadas laboratório de irrigação e salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos e de salinidade dos solos utilizados no experimento.

Solos	pH $_{(ES)}$	CE $_{(ES)}$	RAS	PS	d	α	Salinidade	Classe do solo
F. argiloso	-	dS m^{-1}	-	%	g cm^{-3}	%	-	-
	5,55	0,47	0,83	55,00	1,08	60,44	Não salino	Normal
F. arenoso	6,09	0,39	0,92	28,33	2,26	53,29		

Legenda: pH $_{(ES)}$ – pH do estrato de saturação do solo; **CE** $_{(ES)}$ – Condutividade elétrica estrato de saturação do solo; **RAS** – Razão de adsorção de sódio; **PS** – Percentagem de saturação; **d** – Densidade do solo; **α** – Porosidade.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A caracterização química dos solos foi realizada em um laboratório particular localizado na Cidade de Itabuna, BA (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos dos solos utilizados no experimento.

Solo	pH	CE	CO	MO	Mg	Ca	Al	H+Al	SB	CTC $_{(t)}$	CTC $_{(T)}$	V
		dS/m	.....g/dm^3.....		.....cmolc/dm^3.....							%
F. Argiloso	5,04	0,047	0,00	0,00	0,90	0,20	0,30	4,62	1,58	1,88	6,20	25,52
F. Arenoso	6,02	0,094	5,74	10,0	0,40	0,50	0,40	1,98	1,54	1,94	3,52	43,73
Solo	**P**	**K**	**Fe**	**Mn**	**Zn**	**Cr**	**Co**	**S**	**N-NO_3**	**N-NO_2**	**N-NH_4**	**N_t**
	.....mg/dm^3.....											
F. Argiloso	<10,0	19,32	3,80	2,79	1,30	<0,10	<0,25		0,34	0,00	1,58	1,92
F. Arenoso	2,35	25,60	6,94	3,17	1,62	1,13	<0,25	1,12	0,90	0,00	1,72	2,62

Legenda: pH (H_2O) – pH em água; **CE** – Condutividade elétrica; **CO** – Carbono orgânico; **MO** – Matéria orgânica; **Mg** – Magnésio; **Ca** – Cálcio; **Al** – Alumínio trocável; **H+Al –** Acidez potencial; **SB –** Soma de base; **CTC** $_{(t)}$ - Capacidade de troca catiônica efetiva; **CTC** $_{(T)}$ - Capacidade de troca catiônica potencial; **V –** Saturação de base; **P** – Fósforo; **K** – Potássio; **Mn** – Manganês; **Zn** – Zinco; **Cr** – Cromo; **Co** – Cobre; **S** – Enxofre; **N-NO_3** – Nitrato; **N-NO_2** – Nitrato; **N-NH_4** – Amônia; **N_t** – Nitrogênio total mineral.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O composto orgânico foi produzido através da compostagem de cascas dos frutos de cacau (Figura 1A e 1B), em uma fazenda particular localizada no município de Buerarema, BA. Para o processo de compostagem, foi realizados em leiras com dimensões de 3,30 m de comprimento por 2,0 m de largura, subdividido em quatro células individuais, cada uma com dimensões de 1,65 m de comprimento por 1,0 m de largura, delimitadas com bambus. Das quatro células, duas foram preenchidas formando em cada célula uma leira com 152,15 kg de cascas dos frutos de cacau previamente fragmentadas manualmente, com auxílio de um compactador manual, do tipo pilão de madeira (Figura 1C). As outras duas células eram deixadas para o revolvimento do material (Figura 1C).

Figura 2. Casacas de frutos de cacau coletada *in loco* (1A) e sendo fragmentadas manualmente, com auxílio de um compactador manual, do tipo pilão de madeira (1B), mini pátio de compostagem contendo as cascas dos frutos do cacau (1C).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Quando estava chovendo, as baias eram cobertas com uma lona preta e nos dias sem chuva era mantida sem cobertura. O processo de compostagem foi concluído aos 149 dias, quando composto orgânico foi coletado e colocado para secagem natural em uma estufa agrícola com 4,3 m de comprimento por 3,3 m de largura, coberta com telhas transparente de fibra de vidro e revestimentos laterais com lona plástica transparente de 150 micras. Posteriormente, o composto foi peneirado, em uma malha de 4 mm e realizada a caracterização físico-química (Tabela 3)

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos do composto orgânico produzido nas leiras de compostagem das cascas dos frutos do cacau.

Parâmetros Analisados			
pH	7,73	Potássio - K^+ (mg/dm^3)	445,56
CE (dS/m)	0,884	Enxofre - S (mg/dm^3)	26,50
Umidade (%)	39,80	Manganês - Mn (mg/dm^3)	6,96
Carbono Orgânico - CO (g/dm^3)	51,72	Ferro - Fe (mg/dm^3)	2,22
Matéria orgânica – MO (g/dm^3)	90,00	Zinco - Zn (mg/dm^3)	0,70
Amônia - N-NH_4 (mg/dm^3)	1,72	Cromo - Cr (mg/dm^3)	0,17
Nitrato - N-NO_3 (mg/dm^3)	12,70	Cobre - Cu (mg/dm^3)	<0,25
Nitrogênio mineral - N (mg/dm^3)	1,30	Cálcio - Ca^{2+} (cmolc/dm^3)	0,8
Fósforo - P (mg/dm^3)	97,56	Magnésio - Mg^{2+} (cmolc/dm^3)	4,3

De posse do composto orgânico, substrato comercial e dos solos, procedeu-se com a preparação dos substratos alternativos. Nesse procedimento, quantidades volumétricas dos solos mais composto orgânico eram separadas e misturas até obter uma fase homogênea, conforme os tratamentos definidos anteriormente. Na sequência, sacos de polietileno com largura de 7 cm, comprimento de 18,5 cm e espessura de 0,6 mm, foram identificados, preenchidos com os substratos.

Depois, foram umedecidos e deixados em capacidade de campo (CC), por 24 horas, antes da semeadura. Na semeadura utilizou-se três sementes por saco de mamão cultivar papaia Sunrise Solo. As sementes, com pureza de 99% e germinação de 65% foram semeadas na profundidade de 1,5 cm, ou seja, seguindo as recomendações contidas na embalagem.

Para manter os substratos na capacidade de campo, um sistema de irrigação por

microaspersão era acionado automaticamente três vezes ao dia (7h, 12h e 17h), com tempo de 10 minutos para cada evento de irrigação.

Aos 35 dias após a semeadura (DAS), as plantas foram contadas para avaliar o percentual de emergência (PE, %), quantificando-se o número de plântulas emergidas em relação ao número sementes plantadas. Essa variável foi calculada através da Equação 1.

$$PE = qse/qss \times 100 \quad (1)$$

Onde: PE Percentual de emergência (%); qse - quantidade de sementes emergidas; e qss - quantidade de sementes semeadas.

Neste mesmo período (35 DAS), foi realizado o desbaste, deixando apenas a planta mais vigorosa por saco.

Aos 60 DAS, com as plantas ainda nos sacos, foram realizadas medições de altura da planta (AP) e diâmetro caulinar (DC). Posteriormente, as plantas foram cortadas rente ao substrato, seccionadas em parte aérea, raízes e levados para secagem em estufa, com temperatura controlada em 65 °C, até obter massa constante. Após a secagem, o material foi retirado da estufa e pesado, para determinações das fitomassas secas da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST), sendo os resultados expressos em gramas por planta.

A partir desses dados, procedeu-se com os cálculos para determinação do índice de qualidade de Dickson (IQD), através da Equação 2 (DICKSON et al., 1960).

$$IQD = MST/((AP/DC) + (MSPA/(MSR) \quad (2)$$

Essas variáveis, foram submetidos à análise de variância, e quando identificada diferença estatísticas significativa, pelo teste F, foi aplicado o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade na comparação das médias, utilizando-se do software computacional ASSISTAT, Versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4, contém os resultados referentes as análises estatísticas das variáveis percentagem de emergência (PE) e índice de qualidade de Dickson (IQD), das mudas do mamoeiro cultivado em substrato comercial e alternativo formulado com composto orgânico de cascas de frutos de cacau e dois tipos de diferentes solos. A análise de variância constatou diferença estatística significativa ($p < 0,01$), entre tratamento para todas essas variáveis estudadas.

Tabela 4. Quadrado médio da análise de variância e médias para as variáveis percentagem de emergência (PE) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas do mamoeiro cultivado em substrato comercial e alternativo formulado com composto orgânico de cascas de frutos de cacau e dois tipos de solos.

		Quadrado Médio	
FV	**GL**	**PE**	**IQD**
Substratos	6	1419,753**	0,00620**
Resíduo	77	404,040	0,00072
DMS	-	24,83	0,032
CV%	-	32,89	52,76
		Médias	
Substratos		%	-
S1		58,33b	0,042b
S2		61,11ab	0,049b
S3		58,33b	0,101a
S4		47,22b	0,051b
S5		61,11ab	0,042b
S6		58,33b	0,032b
S7		83,33a	0,040b

FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; ($^{ns,\ **,\ *}$) - Não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A máxima média do PE foi de 83,33% obtida com o cultivo no substrato S7 e a mínima foi de 42,22% com o substrato S4. As médias do PE dos tratamentos S1, S3, S4 e S6 não diferenciaram estatisticamente entre si. Também não foi observado diferença estatística significativa entre si entre as médias dos tratamentos S2 e e S5, sendo que as médias do PE obtidas com a semeaduras nesses substratos, foram superiores ao do controle (S1 - Substrato comercial Carolina Soil).

Para o índice de qualidade de Dickson (IQD) foi observado que houve diferença estatística significativa entre si para as médias das plantas cultivadas no substrato alternativo S3, as demais não diferenciaram estatisticamente. A máxima média do IQD foi de 0,101 também obtida com o tratamento S3. A mínima média do IQD foi de 0,032 obtido com o tratamento S6.

A média do IQD das mudas do mamoeiro produzida no substrato alternativo S5, foi igual a das mudas produzidas no substrato comercial, Carolina Soil (S1).

Considerando que o índice de qualidade de Dickson (IQD), é um indicador utilizado para avaliar a robustez e o equilíbrio da biomassa das plantas, sendo que quanto maior o IQD, melhor será a qualidade da muda (Steffen et al., 2011), e que mudas com melhor qualidade apresentam maior valor de IQD em relação a mudas com menor índice (Lisboa et al., 2018),

pode-se inferir que as mudas do mamoeiro com melhor qualidade foram aquelas produzidas no substrato alternativo S3 (substrato alternativo preparado como solo franco arenoso + composto orgânico, na proporção 1:2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percentual de emergência das sementes do mamoeiro, não foi influenciada negativamente pelos substratos alternativos, pois com exceção do S4, o PE das mudas cultivadas nos demais substratos, foi igual ou superior ao observado no substrato comercial (S1).

A proporção mais adequada de solo arenoso e composto de cascas de frutos de cacau para a produção de mudas de mamoeiro é a de um para dois (uma parte de solo para duas partes de composto orgânico), pois em conformidade com os resultados o substrato alternativo preparado com uma parte de solo franco arenoso para duas partes de composto orgânico de cascas de frutos de cacau (S3 - 1:2), foi o que apresentou os melhores resultados para a qualidade das mudas do mamoeiro, quando comparado com todos os demais tratamentos avaliados.

A proporção mais adequada de solo argiloso e composto de cascas de frutos de cacau para a produção de mudas de mamoeiro é a de um para um (S5 – 1:1/uma parte de solo para uma parte de composto orgânico), pois, com exceção do substrato alternativo S3, essa proporção foi o que proporcionou os melhores resultados de qualidade das mudas do mamoeiro, quando comparado com o substrato comercial (controle).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de Iniciação Ciêntifica (IC) e a UFSB pelo auxílio financeiro concedido através de Edital de apóio a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, S. A.; SILVA, I. T.; ROCHA, B. R. P; SILVA, I. M. O. (2002). Utilização de resíduos de cacau para a produção de energia no Estado do Pará. Encontro de Energia no Meio Rural, ano 4. Disponível em: < http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=00000000220020002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 31 de agosto de 2025.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. (1960). Quality appraisal ofwhite spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36 (1): 10- 13.

FIGUEIREDO, M. R. P.; SALIBA, E. O. S.; BARBOSA, G. S. S. C.; LOPES, F. C. F.; SILVA, F. A.; SILVA, C. R. M.; NUNES, A. N. M.; FIGUEIREDO, C. P. (2018). Cocoa byproduct in diets for dairy heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47: 1 – 7. https://doi.org/10.1590/rbz4720170126

LISBOA, A. C.; MELO JÚNIOR, C. J. A. H. TAVARES, F. P. A.; ALMEIDA, R. B.; MELO, L. A.; MAGISTRALI, I. C. (2018). Crescimento e qualidade de mudas de Handroanthus heptaphyllus em substrato com esterco bovino. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38: e201701485: 1-6. 10.4336/2018.pfb.e201701485.

OLIVEIRA, S. J.; COSTA, Y. K. S.; RIBEIRO, N. M.; BIDÓIA, V. S.; SILVA, B. C.; FERNANDES, T. F. S.; CARVALHO, L. B. (2020). Produção de mudas de mamoeiro. *Revista Agronomia Brasileira*, 4: 1 – 8.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. (2008). Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura. Jaguariúna/SP: Embrapa meio ambiente, 9p. Circular Técnica, 19.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research (AJAR),* 11 (39): 3733 – 3740. 10.5897/AJAR2016.11522

SODRÉ, G. A.; VENTURINI, M. T.; RIBEIRO, D. O.; MARROCOS, P. C. L. (2012). Extrato da casca do fruto do cacaueiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacaueiro. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, 34 (3): 881-887.

STEFFEN, G. P. K. ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; SCHIEDECK, G. (2011). Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de Eucalyptus grandis e Corymbia citriodora. Pesquisa Florestal Brasileira, 31 (66): 75-82. 10.4336/2011.pfb.31.66.75.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112971

CONTROLE DE PERDAS E DESAFIOS NA UNIVERSALIZAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DE PARATINGA-BA

CONTROL DE PÉRDIDAS Y RETOS EN LA UNIVERSALIZACIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA EN LAS COMUNIDADES RURALES DE PARATINGA-BA

LOSS CONTROL AND CHALLENGES IN THE UNIVERSALIZATION OF WATER SUPPLY IN RURAL COMMUNITIES OF PARATINGA-BA

Melissa de Jesus Menezes[1], Vitor dos Santos Torres[2], Camila Leal Vieira[3] e Moisés Ferreira Eleutério Silva[4].

[1]Discente, Universidade Estadual de Feira de Santana,Feira de Santana, Brasil, melissamenezesj@gmail.com;
[2]Discente, Universidade Estadual de Feira de Santana,Feira de Santana, Brasil, vitormlsp457@gmail.com;
[3]Mestre, Universidade Estadual de Feira de Santana,Feira de Santana, Brasil, clvieira@uefs.br;
[4]Mestre, Senai Cimatec, Salvador, Brasil, moises.silva@fieb.org.br.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Desafios e oportunidades na universalização do saneamento rural.
Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Desafíos y oportunidades en la universalización del saneamiento rural.

RESUMO

O desperdício de recursos hídricos em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) representa um dos principais entraves à eficiência operacional e à sustentabilidade do saneamento, sobretudo em áreas rurais, historicamente marcadas por menor cobertura e maiores vulnerabilidades institucionais. As comunidades rurais no Brasil apresentam índices de acesso significativamente inferiores aos das áreas urbanas e, muitas vezes, contam com sistemas descentralizados e operados de forma comunitária, como ocorre em Paratinga, com apoio da Central de Associações de Caetité e da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB). Essas comunidades enfrentam desafios como escassez de recursos financeiros, infraestrutura precária, distância dos grandes centros e baixa priorização política, o que amplia as dificuldades de gestão. Este estudo teve como objetivo analisar as perdas hídricas em sistemas comunitários de Paratinga, identificando vulnerabilidades operacionais e discutindo implicações para a universalização do saneamento. A pesquisa concentrou-se no ano de 2024, utilizando dados de macromedição e micromedição das doze comunidades atendidas fornecidos pela CERB. No entanto, por somente três sistemas apresentarem registros completos, foram selecionados: o sistema integrado Volta da Serra–Teiú-Linha e os sistemas Leite e Paulista. Os índices de perda de água bruta e tratada foram calculados e comparados à média nacional de 2022 de 37,8%, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os resultados revelaram diferenças significativas entre as comunidades. Volta da Serra-Teiú-Linha apresentou índices médios inferiores à média nacional (31% e 26%), embora com picos de até 44% em abril e 42% em outubro. Já Leite (46% e 40%) e Paulista (50% e 51%) superaram amplamente a média, refletindo deficiências estruturais e de monitoramento. As fichas de operação destacaram vulnerabilidades como desgaste de micromedidores, registros inconsistentes e ausência de documentação atualizada, que ampliam perdas aparentes e comprometem a confiabilidade do controle. Conclui-se que a redução das perdas hídricas é estratégica para aumentar a

eficiência dos sistemas e liberar capacidade de atendimento, contribuindo para a equidade no acesso e para o avanço da universalização em comunidades rurais.

Palavras-chave: Saneamento rural, governança hídrica, Paratinga, índice de perdas

RESÚMEN

El desperdicio de recursos hídricos en los sistemas de abastecimiento de agua (SAA) representa uno de los principales obstáculos para la eficiencia operativa y la sostenibilidad del saneamiento, especialmente en las zonas rurales, históricamente caracterizadas por una menor cobertura y una mayor vulnerabilidad institucional. Las comunidades rurales de Brasil presentan índices de acceso significativamente inferiores a los de las zonas urbanas y, a menudo, cuentan con sistemas descentralizados y gestionados de forma comunitaria, como ocurre en Paratinga, con el apoyo de la Central de Asociaciones de Caetité y la Compañía de Ingeniería Hidráulica y Saneamiento de Bahía (CERB). Estas comunidades se enfrentan a retos como la escasez de recursos financieros, la precaria infraestructura, la lejanía de los grandes centros y la baja prioridad política, lo que aumenta las dificultades de gestión. El objetivo de este estudio fue analizar las pérdidas de agua en los sistemas comunitarios de Paratinga, identificando las vulnerabilidades operativas y discutiendo las implicaciones para la universalización del saneamiento. La investigación se centró en el año 2024, utilizando datos de macromedición y micromedición de las doce comunidades atendidas proporcionados por la CERB. Sin embargo, dado que solo tres sistemas presentaban registros completos, se seleccionaron: el sistema integrado Volta da Serra-Teiú-Linha y los sistemas Leite y Paulista. Se calcularon los índices de pérdida de agua bruta y tratada y se compararon con la media nacional de 2022, del 37,8 %, según el Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento (SNIS). Los resultados revelaron diferencias significativas entre las comunidades. Volta da Serra-Teiú-Linha presentó índices medios inferiores a la media nacional (31 % y 26 %), aunque con picos de hasta el 44 % en abril y el 42 % en octubre. Por su parte, Leite (46 % y 40 %) y Paulista (50 % y 51 %) superaron ampliamente la media, lo que refleja deficiencias estructurales y de supervisión. Las fichas de operación destacaron vulnerabilidades como el desgaste de los micromedidores, registros inconsistentes y la ausencia de documentación actualizada, lo que aumenta las pérdidas aparentes y compromete la fiabilidad del control. Se concluye que la reducción de las pérdidas de agua es estratégica para aumentar la eficiencia de los sistemas y liberar capacidad de servicio, contribuyendo a la equidad en el acceso y al avance de la universalización en las comunidades rurales.

Palabras clave: Saneamiento rural, gobernanza hídrica, Paratinga, índice de pérdidas

ABSTRACT

The waste of water resources in Water Supply Systems (WSS) represents one of the main obstacles to operational efficiency and sanitation sustainability, especially in rural areas, historically marked by lower coverage and greater institutional vulnerabilities. Rural communities in Brazil have significantly lower access rates than urban areas and often rely on decentralized, community-operated systems, as is the case in Paratinga, with support from the Caetité Association Center and the Bahia Water and Sanitation Engineering Company

(CERB). These communities face challenges such as scarce financial resources, poor infrastructure, distance from large centers, and low political priority, which increases management difficulties. This study aimed to analyze water losses in community systems in Paratinga, identifying operational vulnerabilities and discussing implications for universal sanitation. The research focused on the year 2024, using macro-measurement and micro-measurement data from the twelve communities served, provided by CERB. However, as only three systems had complete records, the following were selected: the Volta da Serra–Teiú-Linha integrated system and the Leite and Paulista systems. The raw and treated water loss rates were calculated and compared to the 2022 national average of 37.8%, according to the National Sanitation Information System (SNIS). The results revealed significant differences between communities. Volta da Serra-Teiú-Linha had average rates below the national average (31% and 26%), although with peaks of up to 44% in April and 42% in October. Leite (46% and 40%) and Paulista (50% and 51%) greatly exceeded the average, reflecting structural and monitoring deficiencies. The operation records highlighted vulnerabilities such as wear and tear on micro-meters, inconsistent records, and a lack of updated documentation, which increase apparent losses and compromise the reliability of control. It is concluded that reducing water losses is strategic for increasing system efficiency and freeing up service capacity, contributing to equity in access and advancing universalization in rural communities.

Keywords: Rural sanitation, water governance, Paratinga, loss index

INTRODUÇÃO

O saneamento rural no Brasil apresenta-se historicamente como um dos maiores desafios para a universalização dos serviços de abastecimento de água, sobretudo em função da dispersão populacional, das dificuldades técnicas de operação e da fragilidade institucional na gestão dos sistemas (Sepúlveda et al., 2025). Estudos apontam que, em comunidades rurais, a obtenção de água potável ainda depende majoritariamente de poços artesianos, muitas vezes sem tratamento ou monitoramento adequado da qualidade da água, ampliando riscos à saúde e à sustentabilidade do serviço (Nunes & Queiroz, 2016; Cavalcante et al., 2022).

Na Bahia, o modelo descentralizado da Central de Associações Comunitárias para a Manutenção de Sistemas de Abastecimento de Água, com destaque para a Central de Caetité, constitui um exemplo pioneiro de gestão comunitária. Criada a partir da cooperação entre a Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), governos estaduais e o banco alemão KfW, a Central vem atuando há mais de duas décadas no apoio às associações locais na administração, operação e manutenção dos sistemas (Benten, 2001; Brasil, 2019). Esse

arranjo institucional fortalece o associativismo, promove maior autonomia das comunidades e garante serviços mais próximos da realidade dos territórios, embora ainda enfrente desafios relacionados à sustentabilidade financeira, à eficiência energética e ao controle das perdas hídricas.

A gestão das perdas é um eixo central nesse debate, pois perdas excessivas comprometem não apenas a viabilidade operacional dos sistemas, mas também a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental. Como ressalta Petri (2024), reduzir perdas não constitui apenas uma medida técnica, mas uma necessidade urgente para preservar recursos hídricos e reduzir impactos ambientais. Claudino (2021) acrescenta que a eficiência no uso da água é um dos pilares da universalização, ao prolongar a disponibilidade do recurso e assegurar seu acesso de forma equitativa. Sob essa ótica, Andrigo (2022) destaca que a adoção de estratégias para detecção e mitigação de perdas é fundamental para aprimorar a confiabilidade do abastecimento e garantir que o direito humano à água seja efetivamente cumprido.

Nesse contexto, a experiência conduzida em Paratinga-BA, onde a Central de Caetité é responsável pela gestão do sistema de abastecimento, insere-se nesse contexto. O estudo teve como objetivo analisar os índices de perdas e avaliar a eficiência dos sistemas. O diagnóstico das perdas e o desenvolvimento de ferramentas de avaliação podem apoiar a sustentabilidade do modelo da Central, aumentar a eficiência operacional e, em última instância, aproximar a realidade local das metas de universalização do saneamento, reforçando sua relevância social e ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Paratinga, encontra-se localizado no Vale São-Franciscano da Bahia, conforme o ilustrado na Figura 1.

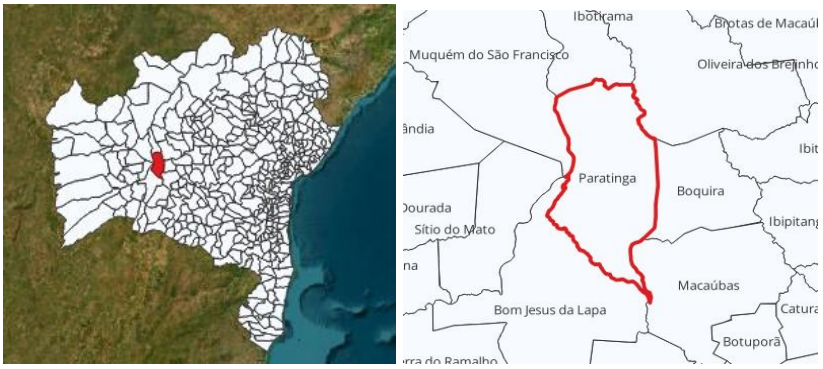


Figura 1. Localização do município em relação ao Estado da Bahia.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O clima predominante é classificado como semiárido, marcado por baixa pluviosidade anual e alta variabilidade climática. Segundo dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024), o município conta com 29.252 habitantes, destes, apenas 46,7% dos domicílios são abastecidos pela rede geral de água, e 58,1% residem em áreas rurais. O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Paratinga é gerido pela Central de Associações Comunitárias de Caetité, com suporte técnico da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB), responsável pela execução de políticas públicas de saneamento rural no estado. A CERB incorpora em seus projetos ações de educação sanitária, ambiental e controle social, estimulando a participação comunitária na gestão. Tais práticas são fortalecidas pelo Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável (PDRS – Bahia Produtiva), que assegura a sustentabilidade dos investimentos e fomenta a gestão descentralizada por meio das Centrais.

O estudo analisou inicialmente 12 comunidades rurais atendidas pelo SAA de Paratinga. Estes sistemas são : Volta da Serra-Teiú-Linha, Pereiro do Mocambo, Macambira e Mocambo, Salina, Ponte, Canafístula, Leite, Conceição, Paulista, Poção Santo Antônio, Lagoa de cima e Malhada do Juá. No entanto, apenas três — Volta da Serra-Teiú-Linha, Leite e Paulista — foram selecionadas, devido à disponibilidade de registros completos de macromedição em 2024, critério adotado para garantir consistência e reduzir incertezas associadas a falhas de leitura e desgaste de hidrômetros (Corrêa et al., 2021; Silva et al., 2023). Os dados, fornecidos pela CERB e pelas associações comunitárias, incluíram leituras mensais de macromedidores (captação e reservatório) e micromedidores domiciliares. O Índice de Perdas na Adução (IPA) foi calculado pela diferença entre volumes captados (Vp) e reservados (Vr), e o Índice de Perdas na Distribuição (IPD), entre volumes reservados (Vr) e

consumidos (Vd), ambos expressos em porcentagem.

$$IPA = \frac{Vp - Vd}{Vp} \times 100$$

onde

Vp= volume macromedido no poço (m^3)
Vd = volume micromedido na distribuição (m^3)

$$IPD = \frac{Vr - Vd}{Vr} \times 100$$

onde

Vr= volume macromedido no reservatório (m^3)
Vd = volume micromedido na distribuição (m^3)

Os cálculos foram realizados em base mensal e consolidados em médias anuais para cada comunidade. Posteriormente, os resultados foram comparados aos indicadores nacionais reportados pelo SNIS (2022), situando o desempenho de Paratinga frente ao panorama brasileiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos três sistemas rurais selecionados — Volta da Serra-Teiú-Linha, Leite e Paulista — revelou índices elevados de perdas hídricas ao longo de 2024, conforme a Figura 2, Figura 3 e Tabela 1.

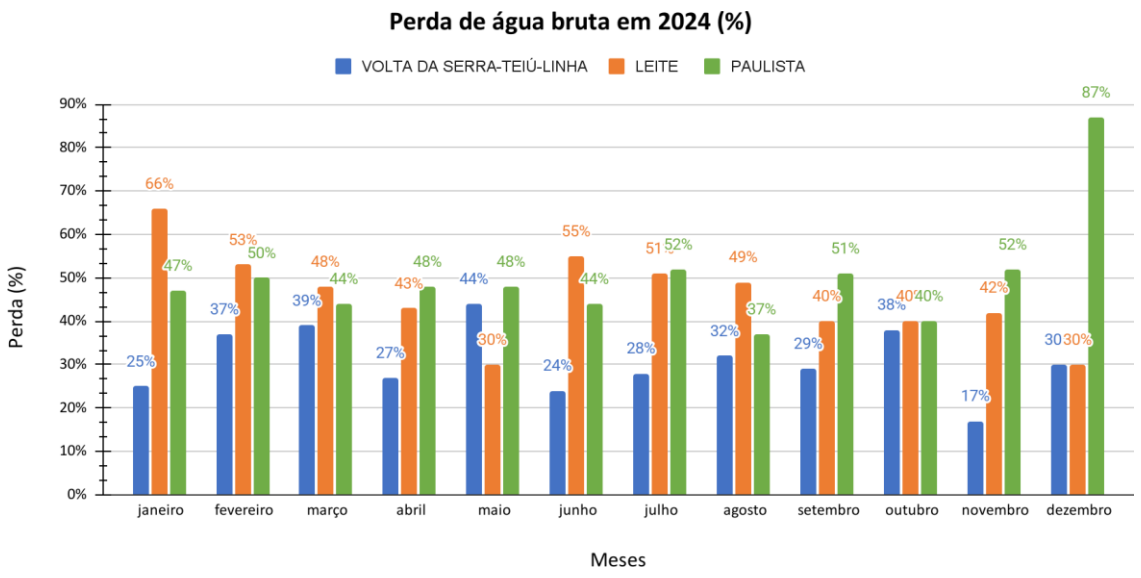


Figura 2. Índice de perdas na adução em Volta da Serra-Teiú-Linha, Leite e Paulista.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

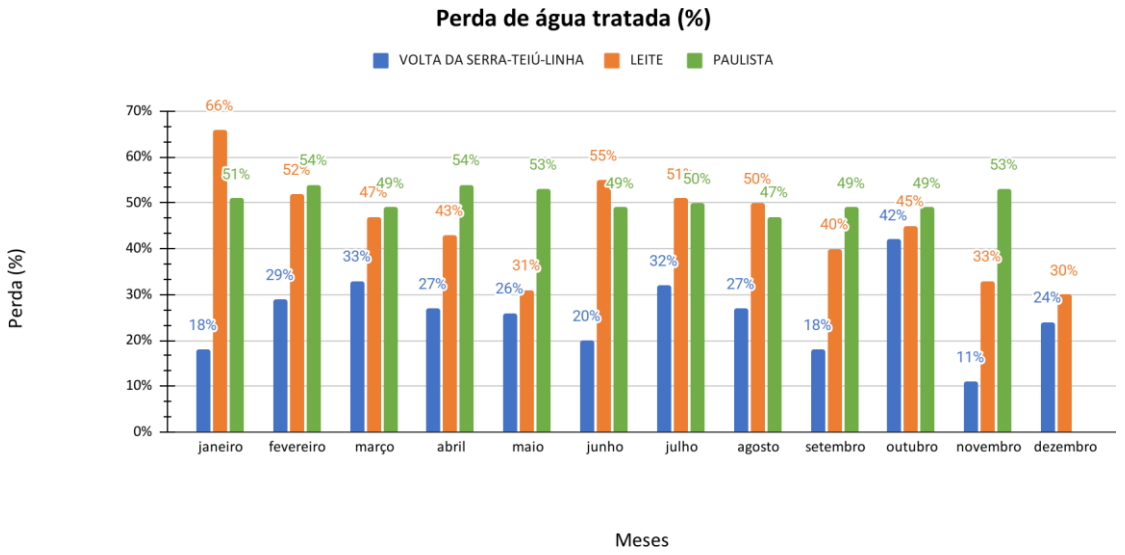


Figura 3. Índice de perdas na distribuição em Volta da Serra-Teiú-Linha, Leite e Paulista.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela 1. IPA e IPD médio do ano de 2024 para Volta da Serra-Teiú-Linha, Leite e Paulista.

Sistema	Perda de água bruta (%)	Perda de água tratada (%)
Volta da Serra-Teiú-Linha	31	26
Leite	46	40
Paulista	50	51

Fonte: Elaboração própria (2025).

O Índice de Perdas na Adução (IPA) e o Índice de Perdas na Distribuição (IPD) indicaram que parte considerável da água aduzida não chega ao consumidor final. As perdas médias anuais na distribuição foram de aproximadamente 26% em Volta da Serra, 40% em Paulista e 51% em Leite, sendo que estes dois últimos valores superam a média nacional de 37,8% reportada pelo SNIS (2022). Embora Volta da Serra apresente desempenho relativamente superior, oscilações mensais de até 42% em outubro evidenciam instabilidades operacionais. Além dos índices de perdas, verificou-se que a gestão das informações apresenta limitações relevantes.

Durante a investigação, observou-se também a existência de falhas na sistematização das informações, frequentemente registradas em fichas físicas com lacunas de preenchimento e dados dispersos. A documentação disponível mostrou-se desatualizada e insuficiente para refletir a real dimensão da rede, que atualmente ultrapassa o projeto original em localidades como Volta da Serra, ampliando o risco de perdas reais e aparentes. Esse descompasso entre infraestrutura e controle operacional limita o diagnóstico de eficiência e dificulta o

planejamento de manutenção. Situação semelhante foi relatada por Silva et al. (2023), ao apontar que falhas na micromedição e nos cadastros técnicos tendem a aumentar as perdas aparentes e reduzir a confiabilidade dos indicadores.

Os resultados sugerem que as perdas em Paratinga decorrem da combinação entre falhas estruturais — como vazamentos e deterioração da rede — e falhas administrativas, associadas à ausência de atualização cadastral e de equipamentos de medição precisos (Uzcategui, 2017; Costa et al., 2024). Essas fragilidades comprometem a sustentabilidade financeira e operacional dos sistemas e evidenciam lacunas nas políticas públicas de saneamento rural, que ainda privilegiam a expansão física dos sistemas em detrimento da operação e manutenção continuada.

Embora iniciativas como o Bahia Produtiva e a atuação da CERB representem avanços na consolidação do modelo comunitário, observa-se carência de capacitação técnica permanente e de suporte institucional às equipes locais. A falta de treinamento em leitura de hidrômetros, detecção de vazamentos e gestão de dados limita a eficiência operacional e amplia as perdas, agravadas pela rotatividade dos operadores e pela escassez de recursos financeiros. Essa realidade reforça a distância entre as metas de universalização e as condições reais das comunidades rurais, que carecem de políticas consistentes de assistência técnica e profissionalização da gestão comunitária.

Nesse contexto, o estudo evidencia a importância do modelo da Central de Caetité como arranjo institucional capaz de mitigar parte dessas vulnerabilidades. Contudo, para que esse modelo alcance maior eficiência, é essencial investir na modernização da medição, na setorização das redes e na digitalização do monitoramento, medidas apontadas na literatura como eficazes para reduzir perdas e otimizar a operação (Fritz et al., 2020).

Por fim, os achados deste estudo dialogam com os desafios da universalização do saneamento rural, reforçando que a redução das perdas não se limita a soluções técnicas, mas exige integração entre capacitação, governança local e políticas públicas estruturantes, condição indispensável para fortalecer a sustentabilidade e a resiliência das comunidades frente à escassez hídrica (Petri, 2024; Claudino, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo nas comunidades rurais de Paratinga revelou perdas hídricas significativas, superiores à média nacional de 37,8% em dois dos três sistemas avaliados. Volta da Serra-Teiú-Linha apresentou índices mais baixos, mas com oscilações relevantes, enquanto Leite e Paulista registraram valores médios próximos a 51%. As fichas operacionais da CERB permitiram identificar vulnerabilidades, como lacunas de dados, desgaste de micromedidores e documentação desatualizada da rede, reforçando a necessidade de atualização cadastral e de modernização tecnológica. Medidas como substituição de hidrômetros, maior setorização da rede, automação e controle de pressão, já apontadas pela literatura, mostram-se fundamentais para reduzir perdas e aumentar a eficiência. Nesse cenário, a gestão comunitária da Central de Caetité constitui arranjo estratégico, desde que apoiada por políticas públicas e investimentos contínuos.

Portanto, a análise aqui desenvolvida evidencia que a redução das perdas não é apenas um imperativo técnico-operacional, mas também social e ambiental, capaz de ampliar o acesso, reduzir desigualdades e contribuir para a universalização do saneamento nas comunidades rurais de Paratinga. A continuidade do estudo deve incluir o acompanhamento em longo prazo dos sistemas, a expansão do número de comunidades monitoradas e a integração de tecnologias de medição mais precisas, consolidando, assim, uma gestão hídrica mais eficiente e alinhada aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao SENAI CIMATEC pelo apoio financeiro e à Central Caetité pela disponibilização dos dados que possibilitaram a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrigo, Domingas Bacacheza. 2022. Avaliação do nível de perdas de água no sistema de abastecimento de água do município de Chókwè. Monografia (Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural) – Instituto Superior Politécnico de Gaza, Chókwè.

Benten, Edson. 2001. Relatório do Programa Bahia I: cooperação entre o governo da Bahia e o banco alemão KfW. Salvador: CERB.

Brasil. 2019. Caderno Temático: Gestão Alternativa do Saneamento Rural. Brasília:

Ministério das Cidades.

Cavalcante, I. M., C. R. R. R. Souza, e C. M. W. S. Abreu. 2022. "Educação em saneamento e filtração de água em área rural do semiárido: uma experiência em Campina Grande, Paraíba." Extensio: Revista Eletrônica de Extensão 19 (43): 144–155. https://doi.org/10.5007/1807-0221.2022.e82944

Claudino, Cinthia Maria de Abreu, et al. 2021. "Avaliação das perdas em um sistema de abastecimento de água de pequeno porte no semiárido brasileiro por aspectos multicriteriais." Revista de Gestão de Água da América Latina 18: e13.

Corrêa, Sabrina da Silva, et al. 2021. "Análise dos impactos ambientais proporcionados pelas perdas de água em sistemas de distribuição de água." Brazilian Journal of Development 7 (3): 28096–28106.

Costa, Elza de Abreu, et al. 2024. "Êxito na redução de perdas totais em Ibatiba - Espírito Santo - ES." In Anais do 21º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA), João Pessoa: ABES.

Fritz, Rodrigo Tenório, et al. 2020. "Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água." Brazilian Journal of Development 6 (8): 56408–56416.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2024. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE.

Nunes, M. S. F., e A. F. Queiroz. 2016. "Estudo de caso do saneamento básico no Sítio Paul, Riacho de Santana-RN." Geotemas 6 (2): 96–111.

Petri, Amanda Luiza. 2024. Avaliação da gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: estudo de caso do Sistema de Água e Esgoto Pedra Branca em Palhoça/SC. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Sepúlveda, Philipe Werner, Hygor Aristides Victor Rossoni, Emerson Fonseca Silva, Vinícius Costa Guimarães, e Summer Cândido Silva. 2025. "Tecnologias coletivas e participativas para o saneamento rural: uma revisão sistemática de literatura." Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade 12 (30): 241–266.

Silva, Luana Ribeiro da, et al. 2023. "Elaboração de procedimentos para a avaliação de outorgas de captação de água para sistemas públicos de abastecimento com visão em redução de perdas de água." In Anais do 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), São Paulo: ABES.

Uzcategui, Joaquin Alexander da Silva. 2017. Redução de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água: Submedição dos Contadores e Consumos Ilícitos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19112987

DESAFIOS E POTENCIALIDADES DO REUSO DE ÁGUA NO CONTEXTO BRASILEIRO ASPECTOS CULTURAIS, ECONÔMICOS E BARREIRAS TECNOLÓGICAS

DESAFÍOS Y POTENCIAL DE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN EL CONTEXTO BRASILEÑO ASPECTOS CULTURALES, ECONÓMICOS Y TECNOLÓGICOS

CHALLENGES AND POTENTIAL OF WATER REUSE IN THE BRAZILIAN CONTEXT CULTURAL, ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL BARRIERS ASPECTS

Emanuel Silva[1], Iane Moreira[2], Victoria Soter[3] e Pedro Luna[4].

[1]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do ceará, IFCE, Ceará, Brasil, Ipmarcos21@gmail.com., nº de ORCID: 0009-0000-2595-1986;
[2]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do ceará, IFCE, Ceará, Brasil, iane.moreira09@aluno.ifce.edu.br, nº de ORCID: 0009-0003-5940-9441;
[3]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do ceará, IFCE, Ceará, Brasil, victoria.soter61@aluno.ifce.edu.br, nº de ORCID: 0009-0001-7417-9168;
[4]Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do ceará, IFCE, Ceará, Brasil, pedro.hugo62@aluno.ifce.edu.br, nº de ORCID: 0009-0001-9666-3647.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento sustentável
Desafios e oportunidades na universalização do saneamento rural.

Eje temático 07 – Desarrollo sostenible
Desafíos y oportunidades en la universalización del saneamiento rural.
.

RESUMO

O reúso de água no Brasil apresenta uma interação complexa de desafios culturais, econômicos e tecnológicos, juntamente com um potencial significativo para melhorar a sustentabilidade da água em meio a preocupações crescentes sobre a escassez de água. Este tópico é notável, pois o Brasil enfrenta um grave estresse hídrico, exacerbado pelas mudanças climáticas, urbanização e crescimento populacional. A implementação eficaz de estratégias de reúso de água pode abordar essas questões, mas o país luta com crenças culturais arraigadas, disparidades econômicas e limitações tecnológicas que impedem o progresso. Como tal, compreender essas dinâmicas é crucial para promover práticas sustentáveis de gestão de água que sejam culturalmente apropriadas e economicamente viáveis.

As atitudes culturais em relação à água no Brasil são profundamente enraizadas, muitas vezes a veem como um recurso sagrado que deve ser administrado com reverência. Práticas tradicionais como a coleta de água da chuva refletem uma compreensão indígena do equilíbrio ecológico, mas a modernização apresenta desafios a esses costumes. Fatores econômicos também desempenham um papel fundamental, com investimentos substanciais necessários para o tratamento de águas residuais e desenvolvimento de infraestrutura. No entanto, as restrições de financiamento e a dependência de subsídios muitas vezes dificultam a implementação de iniciativas de reutilização de água, particularmente em áreas rurais, onde populações vulneráveis enfrentam barreiras sistêmicas de acesso.

Barreiras tecnológicas complicam ainda mais o panorama da reutilização de água. Comunidades marginalizadas muitas vezes não têm acesso a tecnologias avançadas de gestão de água, o que pode exacerbar desigualdades socioeconômicas (Ditty et al. 2024). Além disso, os desafios institucionais e a infraestrutura inadequada limitam a capacidade de integrar soluções inovadoras de forma eficaz. A interação entre essas barreiras destaca a necessidade de estruturas de políticas abrangentes e inclusivas que promovam o acesso equitativo aos recursos hídricos, ao mesmo tempo em que integram práticas culturais locais e avanços tecnológicos (Narzetti et al. 2021)

Em última análise, o sucesso da reutilização de água no Brasil depende do envolvimento e propriedade da comunidade. A comunicação eficaz sobre os riscos à saúde, benefícios e a importância de práticas sustentáveis pode aumentar a aceitação e a participação do público em iniciativas de gestão de água. À medida que o Brasil navega em seu caminho em direção à sustentabilidade hídrica aprimorada, abordar os aspectos culturais, econômicos e tecnológicos interligados da reutilização de água será essencial para promover sistemas de água resilientes e equitativos (Nkhoma et al. 2021).

Palavras-chave: Reuso de águas, Importância do reuso, Reuso em pequenas comunidades, Semiárido, Escassez hídrica

RESÚMEN

La reutilización del agua en Brasil presenta una compleja interacción de retos culturales, económicos y tecnológicos, junto con un potencial significativo para mejorar la sostenibilidad del agua en medio de la creciente preocupación por la escasez de este recurso. Este tema es notable, ya que Brasil se enfrenta a una grave crisis hídrica, agravada por el cambio climático, la urbanización y el crecimiento demográfico. La implementación eficaz de estrategias de reutilización del agua puede abordar estas cuestiones, pero el país se enfrenta a creencias culturales arraigadas, disparidades económicas y limitaciones tecnológicas que impiden el progreso. Por lo tanto, comprender estas dinámicas es fundamental para promover prácticas sostenibles de gestión del agua que sean culturalmente apropiadas y económicamente viables.

Las actitudes culturales hacia el agua en Brasil están profundamente arraigadas, y a menudo se considera un recurso sagrado que debe administrarse con reverencia. Las prácticas tradicionales, como la recogida de agua de lluvia, reflejan una comprensión indígena del equilibrio ecológico, pero la modernización plantea retos a estas costumbres. Los factores económicos también desempeñan un papel fundamental, ya que se necesitan inversiones sustanciales para el tratamiento de las aguas residuales y el desarrollo de infraestructuras. Sin embargo, las restricciones financieras y la dependencia de las subvenciones a menudo dificultan la implementación de iniciativas de reutilización del agua, especialmente en las zonas rurales, donde las poblaciones vulnerables se enfrentan a barreras sistémicas de acceso.

Las barreras tecnológicas complican aún más el panorama de la reutilización del agua. Las comunidades marginadas a menudo no tienen acceso a tecnologías avanzadas de gestión del agua, lo que puede exacerbar las desigualdades socioeconómicas (Ditty et al. 2024). Además, los retos institucionales y la infraestructura inadecuada limitan la capacidad de integrar soluciones innovadoras de manera eficaz. La interacción entre estas barreras pone de relieve la necesidad de estructuras políticas amplias e inclusivas que promuevan el acceso equitativo

a los recursos hídricos, al tiempo que integran las prácticas culturales locales y los avances tecnológicos (Narzetti et al. 2021).

En última instancia, el éxito de la reutilización del agua en Brasil depende de la implicación y la implicación de la comunidad. Una comunicación eficaz sobre los riesgos para la salud, los beneficios y la importancia de las prácticas sostenibles puede aumentar la aceptación y la participación del público en las iniciativas de gestión del agua. A medida que Brasil avanza hacia una mayor sostenibilidad hídrica, será esencial abordar los aspectos culturales, económicos y tecnológicos interrelacionados de la reutilización del agua para promover sistemas hídricos resilientes y equitativos (Nkhoma et al. 2021).

Palabras clave: Reutilización del agua, Importancia de la reutilización, Reutilización en pequeñas comunidades, Semiárido, Escasez de agua

ABSTRACT

Water reuse in Brazil presents a complex interplay of cultural, economic, and technological challenges, along with significant potential to improve water sustainability amid growing concerns about water scarcity. This topic is notable as Brazil faces severe water stress, exacerbated by climate change, urbanization, and population growth. Effective implementation of water reuse strategies can address these issues, but the country struggles with entrenched cultural beliefs, economic disparities, and technological limitations that impede progress. As such, understanding these dynamics is crucial to promoting sustainable water management practices that are culturally appropriate and economically viable.

Cultural attitudes toward water in Brazil are deeply rooted, often viewing it as a sacred resource that must be managed with reverence. Traditional practices such as rainwater harvesting reflect an indigenous understanding of ecological balance, but modernization presents challenges to these customs. Economic factors also play a key role, with substantial investments required for wastewater treatment and infrastructure development. However, funding constraints and dependence on subsidies often hinder the implementation of water reuse initiatives, particularly in rural areas, where vulnerable populations face systemic barriers to access.

Technological barriers further complicate the water reuse landscape. Marginalized communities often lack access to advanced water management technologies, which can exacerbate socioeconomic inequalities (Ditty et al. 2024). In addition, institutional challenges and inadequate infrastructure limit the ability to effectively integrate innovative solutions. The interaction between these barriers highlights the need for comprehensive and inclusive policy frameworks that promote equitable access to water resources while integrating local cultural practices and technological advances (Narzetti et al. 2021).

Ultimately, the success of water reuse in Brazil depends on community involvement and ownership. Effective communication about health risks, benefits, and the importance of sustainable practices can increase public acceptance and participation in water management initiatives. As Brazil navigates its path toward improved water sustainability, addressing the interlinked cultural, economic, and technological aspects of water reuse will be essential to promoting resilient and equitable water systems (Nkhoma et al. 2021).

Keywords: Water reuse, Importance of reuse, Reuse in small communities, Semi-arid, Water scarcity

INTRODUÇÃO

O reuso de água emerge como uma estratégia essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em um país como o Brasil, que enfrenta desafios significativos relacionados à escassez hídrica e à poluição das fontes de água (Santos et al. 2020). A introdução do reuso de água no contexto brasileiro não se limita apenas a aspectos técnicos, mas envolve uma complexa intersecção de fatores culturais, econômicos e barreiras tecnológicas (Santos et al. 2020).

Culturalmente, a percepção da população sobre a água e seu valor intrínseco influencia diretamente a aceitação e a implementação de práticas de reuso. A falta de informação e educação ambiental contribui para mitos e preconceitos acerca da qualidade da água reciclada, impactando a disposição da sociedade em aceitar essa prática (Bass *et al.* 2022). Em muitas regiões, a água é vista como um recurso abundante e gratuito, o que pode dificultar a adoção de medidas que promovam sua reutilização.

Economicamente, o reuso de água apresenta tanto potencialidades quanto desafios, a reutilização pode reduzir custos operacionais para indústrias e serviços públicos, além de promover a sustentabilidade econômica em áreas afetadas por crises hídricas (Cunha et al. 2021). O investimento em tecnologias de reuso pode resultar em economias significativas a longo prazo, embora os custos iniciais possam ser elevados (Capodaglio, 2020). Por outro lado, os investimentos iniciais em infraestrutura e tecnologia para tratamento e distribuição de água reutilizada podem ser elevados, exigindo políticas públicas que incentivem e viabilizem esses projetos (Santos e Vieira, 2020).

As barreiras tecnológicas também desempenham um papel fundamental na implementação do reuso de água. A necessidade de tecnologias adequadas para o tratamento eficiente da água, que garantam padrões de qualidade seguros para diferentes usos, é um desafio constante. Além disso, a integração entre sistemas de abastecimento de água potável e de reuso requer planejamento e inovação (Santos et al. 2020).

Dessa forma, o reuso de água no Brasil representa uma oportunidade significativa para enfrentar a crise hídrica, mas demanda uma abordagem multidimensional que considere

as especificidades culturais, as realidades econômicas e as inovações tecnológicas necessárias para sua efetiva implementação. O estudo então tem o objetivo de buscar definir os principais problemas atuais do reuso de águas, e diagnosticar possíveis soluções e medidas mitigadoras para essa problemática.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo refere-se principalmente a uma revisão literária, sobre o tema do reuso de águas no brasil, tendo em vista diversos vieses, como aspectos culturais, econômicos e tecnológicos, para acerca do tema, buscando assim um desenvolvimento, principalmente de diversos aspectos e visões distintas sobre o tema, com a finalidade de ao final do estudo, obter as melhores soluções e/ou escolhas possíveis para a temática abordada.

Esse estudo refere-se principalmente a uma revisão literária, sobre o tema do reuso de águas no brasil, tendo em vista diversos vieses, como aspectos culturais, econômicos e tecnológicos, para acerca do tema, buscando assim um desenvolvimento, principalmente de diversos aspectos e visões distintas sobre o tema, com a finalidade de ao final do estudo, obter as melhores soluções e/ou escolhas possíveis para a temática abordada.

Foi então procurado em livros, revistas, sendo estas impressas ou eletrônicas, com o banco de dados diretamente do google acadêmico e Scielo. Para a principal busca, optamos por utilizar palavras chave, sendo elas “reuso de águas”, “importância do reuso”, “reuso em pequenas comunidades” e “reuso de águas no Brasil”. Assim pudemos encontrar mais de 400 resultados, sendo eles entre artigos, teses, dissertações e livros. E todos os materiais selecionados foram analisados qualitativamente, de forma a buscar os melhores resultados possíveis para o estudo do tema.

A seleção dos materiais para esta pesquisa baseou-se em publicações dos últimos 19 anos, para que assim existisse a possibilidade de encontrar um número maior de artigos científicos sobre o assunto. Foram escolhidos alguns itens como artigos, monografias, dissertações, teses e livros escritos em português ou inglês que possibilitasse o acesso integral aos textos, excluíram-se os materiais literários que não estavam nas línguas desejadas no assunto sugerido e os que possuíam uma linguagem de difícil compreensão.

A partir disso tudo pudemos discorrer melhor sobre o tema e identificar as causas, problemas e possíveis soluções para o atual problema do reuso de águas no Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perspectivas culturais moldam significativamente as atitudes e práticas relacionadas à reutilização de água e tratamento de águas residuais no Brasil. Essas perspectivas abrangem uma variedade de crenças, normas e valores que estão profundamente enraizados em diferentes comunidades, influenciando seu relacionamento com a água como um recurso.

Em muitas culturas brasileiras, a água é considerada um elemento sagrado, que incorpora vida e pureza. Essa reverência é frequentemente refletida em rituais e práticas tradicionais que enfatizam a necessidade de uma gestão respeitosa da água. Por exemplo, costumes específicos relacionados ao descarte e tratamento de águas residuais são prevalentes, com comunidades frequentemente aderindo a tabus que desencorajam fontes de água poluentes devido à crença de que tais ações perturbam a harmonia entre humanos e natureza. Essas práticas tradicionais frequentemente demonstram uma rica compreensão do equilíbrio ecológico e da sustentabilidade, apresentando métodos inovadores de conservação de água, como coleta de água da chuva e sistemas de filtragem natural.

Na perspectiva dos papeis de gênero e as diferenças geracionais também desempenham um papel importante na formação de abordagens culturais para a reutilização da água. Em muitas comunidades, as mulheres são as principais responsáveis pela coleta e gestão da água, o que as posiciona como principais partes interessadas no uso sustentável dos recursos hídricos. Seus insights e experiências são vitais para o desenvolvimento de práticas eficazes de tratamento de águas residuais que ressoem com os costumes e necessidades locais. Envolver as mulheres nos processos de tomada de decisão não só aumenta o sucesso das iniciativas de saneamento, mas também as capacita dentro das suas comunidades.

Já na questão econômica, o valor da água é essencial para o crescimento sustentável, mas é frequentemente negligenciado na formulação de políticas e decisões de investimento. Os tomadores de decisão nos setores público e privado exigem dados econômicos robustos para otimizar os benefícios das iniciativas de gestão sustentável da água. Essa abordagem necessita de uma estrutura de avaliação econômica mais ampla que vá além dos custos e benefícios diretos, abrangendo efeitos indiretos, como criação de empregos e expansão da receita tributária regional (Hernández et al. 2006).

A reutilização de água surgiu como uma solução viável para combater a escassez de

água, particularmente em aplicações agrícolas. No entanto, a implementação de sistemas de reutilização de água demanda recursos financeiros significativos para a instalação de estações de tratamento de águas residuais e sistemas de irrigação. Portanto, conduzir uma análise completa de custo-benefício continua sendo vital para a tomada de decisões informadas sobre investimentos em reutilização de água. Apesar da importância crítica de tais análises, não existe nenhuma metodologia universal que possa acomodar os diversos contextos e aplicações de reutilização de água (Narzetti et al. 2021). A personalização dos métodos de análise de custo-benefício existentes para se adaptarem às configurações locais é o ponto-chave para avaliar eficazmente os benefícios líquidos das iniciativas de reutilização de água na irrigação (Narzetti et al. 2021). O financiamento continua sendo um obstáculo significativo no planejamento e execução de projetos de reuso de água. Muitos esquemas existentes dependem fortemente de subsídios, o que complica sua sustentabilidade financeira (Narzetti et al. 2021). A implementação bem-sucedida de projetos de reuso de água recuperada também necessita da consideração de vários fatores externos, incluindo estruturas regulatórias, conscientização social e impactos ecológicos. Negligenciar esses aspectos contribuiu para o fracasso de algumas iniciativas de reuso de água, destacando a necessidade de estudos de viabilidade abrangentes que levem em conta as dimensões econômica, tecnológica, social e ambiental (Hernández et al. 2006).

No Brasil, investimentos significativos - estimados em US$357 bilhões em um período de 14 anos - foram alocados aos setores de abastecimento de água e saneamento, visando predominantemente áreas urbanas (Santos et al. 2023). As áreas rurais, que frequentemente abrigam populações vulneráveis e enfrentam desafios distintos, recebem atenção limitada nessas estratégias de investimento. Essa disparidade reflete questões mais amplas de desigualdade e acesso dentro do setor agrícola brasileiro, onde pequenas propriedades familiares, constituindo uma grande parcela das unidades agrícolas, lutam contra obstáculos sistêmicos que dificultam sua participação no mercado (Narzetti et al. 2021) . Abordar essas disparidades econômicas é primordial para promover o acesso equitativo aos recursos hídricos e aumentar a eficácia geral das iniciativas de reutilização de água no país.

Uma das principais barreiras é a tecnológica, é o acesso desigual a tecnologias avançadas de gestão de água. A integração de tecnologias inteligentes de água para

monitoramento em tempo real e tomada de decisão baseada em dados é muito importante para práticas eficientes de gestão de água. No entanto, as comunidades marginalizadas muitas vezes não têm os recursos e a infraestrutura necessários para aceder a estas tecnologias, o que pode agravar as disparidades socioeconômicas existentes (Ditty et al. 2024). Essa exclusão digital limita os benefícios potenciais das inovações tecnológicas, dificultando a distribuição equitativa dos recursos hídricos entre diferentes regiões.

Já no viés da governança dos recursos hídricos no Brasil é marcada uma estrutura complexa de políticas e regulamentações que visam abordar os desafios multifacetados associados ao reúso e gestão da água. O Brasil opera sob um sistema de governança multinível que inclui os níveis federal, estadual e municipal, o que frequentemente resulta em papeis sobrepostos que podem prejudicar a eficiência das políticas públicas, particularmente no setor de Abastecimento de Água e Saneamento (AAS) (Santos et al. 2023).

O cenário regulatório foi significativamente remodelado com a promulgação da Lei nº 14.026 em 15 de julho de 2020, que teve como objetivo acelerar a universalização dos serviços de AASI, esta lei estabeleceu um regulador federal, a Agência Nacional de Águas (ANA), com responsabilidades reforçadas para coordenar e implementar padrões de referência aplicáveis às agências subnacionais (Santos et al. 2023). No entanto, a ausência de normas regulatórias que abordem tarifas sociais ou subsídios na agenda indica uma falta de apoio a iniciativas a favor dos pobres, perpetuando potencialmente as desigualdades no acesso aos serviços de água (Santos et al. 2023).

Embora o quadro regulatório tenha feito progressos, os desafios legais e institucionais continuam prevalecentes. Por exemplo, os regulamentos muitas vezes exigem provas de propriedade para as famílias que solicitam conexões de serviço de água, o que pode inadvertidamente excluir comunidades marginalizadas que podem não ter posse formal de terra (Santos et al. 2023). Consequentemente, é essencial uma abordagem política abrangente para conciliar os requisitos legais com o imperativo de garantir o acesso equitativo aos serviços de água para todos os segmentos da sociedade (Santos et al. 2023).

Preocupações com a saúde pública desempenham um papel crítico na aceitação e implementação de estratégias de reúso de água no Brasil. A percepção dos riscos à saúde associados ao reúso de água influencia significativamente as atitudes públicas e a formulação de políticas em relação à sua viabilidade. Pesquisas indicam que a comunicação eficaz sobre

os riscos à saúde e as soluções tecnológicas que os mitigam é essencial para promover a confiança pública nos sistemas de água reutilizada (Handam et al. 2021).

A degradação da qualidade da água apresenta inúmeros riscos à saúde, particularmente em contextos onde a água poluída é utilizada para fins recreativos ou de higiene. Em todo o mundo, patógenos como vírus e protozoários encontrados em esgotos podem levar a sérios problemas de saúde, incluindo doenças gastrointestinais e infecções respiratórias. No Brasil, o monitoramento da qualidade da água foca principalmente nos níveis de E. coli, o que não captura adequadamente o espectro de patógenos presentes nas águas residuais. Essa supervisão destaca a necessidade urgente de métodos de teste mais abrangentes que incluem uma gama mais ampla de vírus e micróbios (Handam et al. 2021). Ao utilizar técnicas avançadas de rastreamento de fontes microbianas, os formuladores de políticas podem identificar melhor as fontes de poluição e desenvolver estratégias de remediação direcionadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no trabalho e estudo realizado pudemos concluir que, o grande paradoxo que emerge das reflexões sobre a atual gestão da água no Brasil é que embora a água um recurso abundante, o alto índice de desperdício, que vem desde a esfera cultural e a percepção de que a água é um recurso ilimitado tem nos imposto sérios desafios à sustentabilidade ambiental e principalmente a igualdade social. A crescente escassez de água que pudemos perceber durante o passar dos anos, desencadeada por mudanças climáticas variáveis e pelas necessidades de uma população que de forma exagerada vem em crescente, coloca uma demanda urgente por uma reavaliação dos padrões de consumo e principalmente da gestão da água.Incumbe assim ao balanço hídrico nacional a incorporação de algum tipo de água de reúso, uma das poucas medidas viáveis e atualmente obrigatórias para os cenários atuais, que são disponíveis para resolver a escassez e as disputas sobre o uso de recursos. Além de conservar as fontes de água, a possível disponibilidade de reúso da água melhora a disponibilidade e o uso responsável da água. Estudos comprovam que a implementação de sistemas de reúso pode atingir uma redução valiosa da pressão sobre as fontes de água potável, além de fornecer soluções sustentáveis para setores como agricultura, indústria, etc. Tornando assim, um dos principais potências de remediação e controle para a problemática

abordada no trabalho, vindo cada vez mais como a alternativa mais sustentável e viável, assim é possível diminuir a grande pressão atual que existe, sobre os mananciais de abastecimento, aumentando a oferta da água que tem uma melhor qualidade, podendo ser usada para fins mais nobres, como o abastecimento humano potável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ana Silvia Pereira Santos and J. Vieira. "REÚSO DE ÁGUA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ASPECTOS DE REGULAMENTAÇÃO NO BRASIL E EM PORTUGAL." Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, 8 (2020): 50-68. https://doi.org/10.9771/gesta.v8i1.36462.

Ana Silvia Pereira Santos, R. F. Gonçalves, M. C. Melo, Maíra Araújo de Mendonça Lima and Bruna Magalhães de Araújo. "Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reuso no Brasil." Revista Sustinere, 8 (2020). https://doi.org/10.12957/sustinere.2020.48976.

Bass, Daniel, Brandon McFadden, Marco Costanigro, and Kent Messer. 2022. Vieses implícitos e explícitos para água reciclada e água encanada. Water Resources Research 58. https://doi.org/10.1029/2021WR030712.

Capodaglio, Andrea. 2020. Reuso de águas residuais urbanas adequado à finalidade: Análise de problemas e tecnologias disponíveis para abordagens sustentáveis de múltiplas barreiras. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 51: 1619–1666. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1763231.

Ditty, J. M., and M. E. Totti. 2019. "Water Use and User Attitudes: Common-Pool Resources and Longitudinal Change in a Brazilian Community." Nature and Culture 14 (2): 168–89. https://doi.org/10.3167/nc.2019.140204.

Handam, N. B., A. B. L. G. D. Silva, A. S. Martins, and J. A. A. D. Santos. 2021. "Agricultural Reuse: Comparison between Brazilian and International Quality Standards." International Journal of Hydrology 5 (1): 28–31. https://doi.org/10.15406/ijh.2021.05.00262.

Hernández, F., A. Urkiaga, L. de las Fuentes, B. Bis, E. Chiru, B. Balazs, and T. Wintgens. 2006. "Feasibility Studies for Water Reuse Projects: An Economical Approach." Desalination 187 (1–3): 253–61. https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.084.

Hernández, F., A. Urkiaga, L. de las Fuentes, B. Bis, E. Chiru, B. Balazs, and T. Wintgens. 2006. "Feasibility Studies for Water Reuse Projects: An Economical Approach." Desalination 187 (1–3): 253–61. https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.084.

Narzetti, D. A., and R. C. Marques. 2021. "Access to Water and Sanitation Services in Brazilian Vulnerable Areas: The Role of Regulation and Recent Institutional Reform." *Water* 13 (6): 787. https://doi.org/10.3390/w13060787.

Nkhoma, P. R., K. Alsharif, E. Ananga, M. Eduful, and M. Acheampong. 2021. "Recycled Water Reuse: What Factors Affect Public Acceptance?" *Environmental Conservation* 48 (4): 278–86. https://doi.org/10.1017/S037689292100031X.

R. Cunha, L. Nakada, R. Longo and Rodrigo Custodio Urban. "AVALIAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM FOCO EM MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA." Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias

Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica (2021). https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.76528.

Santos, E., M. Carvalho, and S. Martins. 2023. "Sustainable Water Management: Understanding the Socioeconomic and Cultural Dimensions." *Sustainability* 15 (17): 13074. https://doi.org/10.3390/su151713074.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113014

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, SOCIOCULTURAL E DAS CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS COMUNIDADES DA ETNIA PANKARARU

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, SOCIOCULTURAL Y DE LAS CONDICIONES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LAS COMUNIDADES DE LA ETNIA PANKARARU

ENVIRONMENTAL, SOCIO-CULTURAL, AND WATER SUPPLY CONDITIONS DIAGNOSIS IN THE COMMUNITIES OF THE PANKARARU ETHNIC GROUP

Sandoval Cicero dos Santos [1], Victor Henrique de Souza Araujo[2] e Yovanka Pérez Ginoris[3].

[1]Estudante de Engenharia Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, scspankararu@gmail.com, ORCID nº0009-0002-6380-6661;
[2]Mestrando, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, victorhsa9@gmail.com, ORCID nº0009-0003-9414-045X;
[3]Professora de Magistério Superior, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, yovanka@unb.br, ORCID nº0000-0003-4137-9814.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Desafios e oportunidades na universalização do saneamento rural.

Eje Temático 07 – Desarrollo sostenible
Desafíos y oportunidades en la universalización del saneamiento rural.

Thematic Axis 07 – Sustainable Development
Challenges and opportunities in universalizing rural sanitation.

RESUMO

A presente pesquisa, de caráter exploratório teve como objetivo geral realizar os diagnósticos ambiental, sociocultural assim como do serviço de abastecimento de água em aldeias do povo Pankararu. localizadas no estado de Pernambuco, com vista a subsidiar a proposição de soluções de abastecimento de água compatíveis com as características deste povo indígena. Para conhecer as características socioculturais deste povo indígena foi efetuado uma pesquisa bibliográfica sobre sua origem, cultura e religião, com ênfase em sua relação social, cultural e religiosa com água. O diagnóstico sobre o serviço de abastecimento de água foi realizado a partir de entrevistas aos líderes comunitários de 6 aldeias. A caracterização ambiental foi realizada a partir da coleta de informações físicas da área das bacias hidrográficas nas quais as comunidades estão inseridas, por meio de ferramentas de geoprocessamento pelo software QGIS versão 3.34. Foi verificado o significado que a água tem para o povo Pankararu, não só para desenvolver as atividades domésticas rotineiras, mas como fonte espiritual que deu origem a este povo indígena com suas tradições, religião e cultura. Além disso, foram identificados problemas de abastecimento e acessibilidade à água nas 6 comunidades. Esses problemas estão relacionados com a qualidade e quantidade da água de abastecimento. Cinco das comunidades possuem duas alternativas de abastecimento, enquanto a comunidade Serrinha apresenta uma situação crítica, sendo abastecida por caminhão-pipa com água proveniente de manancial superficial com adição prévia de cloro que não é recomendada para consumo humano pela legislação brasileira. A caracterização ambiental indicou que parte do território Pankararu

possui vegetação nativa do bioma caatinga preservada, importante para manter a disponibilidade hídrica nas comunidades. O mapa hidrogeológico da área pertencente ao povo Pankararu indicou a predominância do domínio de aquífero fissural da Suíte intrusiva Chorrochó que tem como principal característica a recarga lenta e dependente das condições climáticas, o que pode acarretar o esgotamento do manancial de abastecimento, sendo, portanto, necessária a preservação das áreas de recarga, de forma que se mantenha a disponibilidade hídrica nas fontes de captação.

Palavras-chave: Saneamento Indígena; Diagnóstico de saneamento; Pankararu; Acesso à água.

RESÚMEN

La presente investigación, de carácter exploratorio, tuvo como objetivo general realizar diagnósticos ambientales, socioculturales y del servicio de abastecimiento de agua en las aldeas del pueblo Pankararu, ubicadas en el estado de Pernambuco, con el fin de subsidiar la propuesta de soluciones de abastecimiento de agua compatibles con las características de este pueblo indígena. Para conocer las características socioculturales de este pueblo indígena, se realizó una investigación bibliográfica sobre su origen, cultura y religión, con énfasis en su relación social, cultural y religiosa con el agua. El diagnóstico sobre el servicio de abastecimiento de agua se realizó a partir de entrevistas a los líderes comunitarios de seis aldeas. La caracterización ambiental se llevó a cabo a partir de la recopilación de información física de la zona de las cuencas hidrográficas en las que se encuentran las comunidades, mediante herramientas de geoprocesamiento con el software QGIS versión 3.34. Se verificó el significado que tiene el agua para el pueblo Pankararu, no solo para desarrollar las actividades domésticas cotidianas, sino como fuente espiritual que dio origen a este pueblo indígena con sus tradiciones, religión y cultura. Además, se identificaron problemas de abastecimiento y accesibilidad al agua en las seis comunidades. Estos problemas están relacionados con la calidad y la cantidad del agua de abastecimiento. Cinco de las comunidades tienen dos alternativas de abastecimiento, mientras que la comunidad de Serrinha se encuentra en una situación crítica, ya que se abastece mediante camiones cisterna con agua procedente de manantiales superficiales a la que se le añade cloro, lo que no es recomendable para el consumo humano según la legislación brasileña. La caracterización ambiental indicó que parte del territorio Pankararu cuenta con vegetación nativa del bioma caatinga preservada, importante para mantener la disponibilidad de agua en las comunidades. El mapa hidrogeológico del área perteneciente al pueblo Pankararu indicó el predominio del dominio del acuífero fisural de la Suite intrusiva Chorrochó, cuya principal característica es la recarga lenta y dependiente de las condiciones climáticas, lo que puede provocar el agotamiento de la fuente de abastecimiento, siendo, por lo tanto, es necesario preservar las áreas de recarga, a fin de mantener la disponibilidad de agua en las fuentes de captación.

Palabras clave: Saneamiento indígena; Diagnóstico de saneamiento; Pankararu; Acceso al agua.

ABSTRACT

This exploratory research had the overall objective of conducting environmental and sociocultural assessments, as well as assessing the water supply service in villages of the Pankararu people, located in the state of Pernambuco, with a view to supporting the proposal

of water supply solutions compatible with the characteristics of this indigenous people. To understand the sociocultural characteristics of this indigenous people, a bibliographic study was conducted on their origin, culture, and religion, with an emphasis on their social, cultural, and religious relationship with water. The diagnosis of the water supply service was carried out based on interviews with community leaders from six villages. The environmental characterization was carried out based on the collection of physical information from the watershed areas in which the communities are located, using geoprocessing tools from the QGIS software, version 3.34. The significance of water for the Pankararu people was verified, not only for carrying out routine domestic activities, but also as a spiritual source that gave rise to this indigenous people with their traditions, religion, and culture. In addition, problems with water supply and accessibility were identified in the six communities. These problems are related to the quality and quantity of the water supply. Five of the communities have two supply alternatives, while the Serrinha community is in a critical situation, being supplied by tanker trucks with water from surface sources with the addition of chlorine, which is not recommended for human consumption by Brazilian law. The environmental characterization indicated that part of the Pankararu territory has preserved native vegetation from the caatinga biome, which is important for maintaining water availability in the communities. The hydrogeological map of the area belonging to the Pankararu people indicated the predominance of the fissural aquifer domain of the Chorrochó intrusive suite, whose main characteristic is slow recharge dependent on climatic conditions, which can lead to the depletion of the water supply, making it therefore necessary to preserve the recharge areas to maintain water availability in the catchment sources.

Keywords: Indigenous sanitation; Sanitation diagnosis; Pankararu; Access to water.

INTRODUÇÃO

A complexidade do cenário das políticas públicas de saneamento para as populações indígenas no Brasil está associada a um quadro epidemiológico marcado por taxas de incidência e prevalência de doenças como diarreia e parasitoses intestinais superiores às da população não indígena, refletindo o baixo nível de investimentos em saneamento e implantação de intervenções ineficazes por parte do estado (COIMBRA et al., 2013). PENA e HELLER (2008), relatam que mesmo em regiões como a Sudeste, na qual, em 2008, cerca de 91% das moradias eram atendidas por redes de abastecimento de água, a situação do abastecimento de água potável em terras indígenas era considerada precária.

Nos últimos anos, algumas políticas públicas avançaram com relação à ampliação dos serviços de saneamento básico em comunidades indígenas. Em 2010, foi criada a Secretaria Especial de Saúde Indígena – SESAI que possui como competência o planejamento e a execução das ações de saúde e de saneamento básico nas comunidades indígenas. As ações da SESAI, no âmbito do saneamento ambiental, fazem parte do Programa 2065: “Proteção e Promoção dos Direitos dos Povos Indígenas” e destinam-se ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, melhorias sanitárias domiciliares, monitoramento de qualidade da água

e manejo de resíduos sólidos nas áreas indígenas.

Apesar dos avanços, a formulação de políticas públicas e ações de saneamento nos territórios indígenas enfrenta obstáculos como a deficiência de informações fidedignas e de fácil acesso sobre a cobertura e a qualidade dos serviços de saneamento básico e de saúde indígena nas comunidades, os dados disponíveis são parciais, gerados pela FUNAI, FUNASA e organizações não governamentais, missões religiosas e instituições acadêmicas (SIMÕES et al., 2015). Tais informações são essenciais para desenvolver soluções tecnológicas, como forma de ampliar o acesso aos serviços de saneamento nessas comunidades, incluindo o abastecimento de água (BRASIL, 2019b).

Um aspecto que deve ser levado em consideração quando se trata de desenvolvimento de soluções tecnológicas em saneamento é o relacionado com as características socioculturais das comunidades rurais, termo proposto no Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) com definição mais ampla que o rural, representativo de um conjunto de fatores associados ao modo de vida dessas comunidades, desde a forma como se relacionam entre si até como se relacionam com seu habitat. As diferenças socioculturais, geográficas, econômicas e ambientais são essenciais em qualquer análise relacionada a vida dos seus integrantes, inclusive, das realidades sanitárias e das possíveis soluções propostas nesta área. A modo de exemplo, segundo as perspectivas cosmográficas indígenas, a água é o elo com o invisível e espiritual.

O povo Pankararu forma parte dos povos indígenas que residem na região Nordeste. A Terra Indígena Pankararu foi homologada no ano de 1987, no estado de Pernambuco, com direito de usufruir das terras, os indígenas permanecem até hoje em seus territórios usufruindo de alimentação, preservação, manutenção de suas crenças e tradições.

Atualmente o povo Pankararu tem uma população com mais de 8.000 habitantes e é assistido pelo serviço de saúde da Secretaria de Saúde indígena- SESAI, formado por diversos profissionais, dentre eles, os agentes indígenas de saneamento (AISAN), que atuam na atenção à saúde nas respectivas comunidades, desenvolvendo atividades que visam à saúde de qualidade e o bem-estar do povo Pankararu. No que se refere ao abastecimento de água, a maioria das aldeias são abastecidas por poços artesianos ou nascentes e possuem água encanada. Vários domicílios possuem cadastros das prefeituras municipais e recebem água do rio São Francisco por carro pipa fornecido pela prefeitura. Existem ainda domicílios que contam com armazenamento de água por cisternas para coleta de água da chuva (FUNAI,

2019). Com tudo, é necessário realizar uma verificação da qualidade desse serviço nas aldeias com vista a efetuar um diagnóstico e propor, caso seja necessário, melhorias na qualidade do serviço prestado e, por consequente, as condições vida do povo Pankararu.

Este trabalho teve como objetivo geral realizar os diagnósticos ambiental, demográfico, sociocultural assim como do serviço de abastecimento de água nas aldeias do povo Pankararu para auxiliar na proposição de soluções de abastecimento de água compatíveis com as características deste povo indígena.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa, de caráter exploratório, foi estruturada em quatro etapas principais:

1) Levantamento bibliográfico: Feito para conhecer a origem, cultura, religião e a relação social e espiritual do povo Pankararu com a água. Foram consultadas fontes específicas e relatos do autor do estudo, que pertence à etnia Pankararu.

   Levantamento sobre o abastecimento de água: Realizado através de entrevistas semiestruturadas de forma intensiva com líderes comunitários de seis aldeias Pankararu. O objetivo era coletar informações sobre a qualidade, quantidade, acessibilidade e demanda de água. O roteiro das entrevistas teve o total de 26 questões organizada em 4 seções: Dados gerais acesso à água, demanda de água e outras informações, conforme entreutura apresentada na Figura 1.

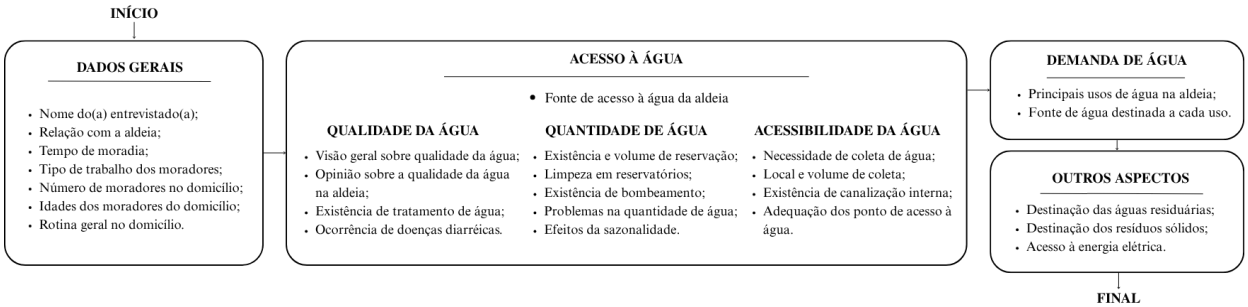


Figura 1. Estrutura da entrevista semiestruturada com líderes comunitarários das aldeias.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

2) Caracterização ambiental: Foram aplicadas ferramentas de geoprocessamento no software QGIS para coletar dados físicos das bacias hidrográficas do território. Com base em dados de fontes nacionais, foram criados produtos cartográficos para caracterizar aspectos como uso do solo e hidrogeologia.

3) Elaboração dos diagnósticos: Nesta etapa, as informações das fases anteriores foram integradas para elaborar os diagnósticos ambiental, sociocultural e de acesso à água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levantamento Bibiográfico

O levantamento bibliográfico sobre o histórico do Povo Pankararu e sua relação com a Água revelou que este recurso natural tem um significado profundo e intenso para o povo Pankararu, não se limitando ao uso para atender às necessidades básicas deste povo indígena. De acordo com a ancestralidade, o povo Pankararu se originou da água e da terra, conferindo à água uma importância espiritual. O vínculo com a água é essencial para manter suas origens, cultura e tradições, o que contribui para o fortalecimento da sua história e existência. Por fim, a sociedade Pankararu também tem uma relação com o sobrenatural, os "Encantados" e a água é um elo com o invisível e o espiritual.

Diagnóstico do Abastecimento de Água:

Nas entrevistas semiestruturadas com os líderes comunitários foram identificados problemas de abastecimento e acessibilidade à água nas seis aldeias estudadas. A principal questão relatada por todos os entrevistados foi a que as condições atuais de abastecimento não atendem às demandas das comunidades, com todas as comunidades apresentando um déficit de abastecimento que precisa ser complementado por caminhões-pipa. No que se refere às fontes de água, o sistema de abastecimento é diversificado. Quatro comunidades (Saco dos Barros, Brejo dos Padres, Jitó e Saco do Toco) são abastecidas pela nascente Fonte Grande, em a água é filtrada e bombeada para os reservatórios domiciliares. A comunidade Agreste é abastecida por um poço profundo e por caminhão-pipa. A comunidade Serrinha enfrenta a situação mais crítica, sendo abastecida exclusivamente por caminhão-pipa.

Sobre a qualidade da água, quatro dos cinco entrevistados associaram a boa qualidade à ausência de microrganismos. Todos os entrevistados também consideraram importantes os aspectos estéticos (transparência, odor e sabor). No entanto, a água fornecida por caminhão-pipa na comunidade Serrinha provém de um manancial superficial e é apenas clorada, o que não atende às exigências da Portaria N° 888/2021, que requer tratamento por filtração para ser destinada ao consumo humano. Isso representa um risco para a saúde da comunidade que estão expostas a doenças de veiculação hídrica.

Quanto a outros serviços de saneamento, todas as seis comunidades utilizam fossas sépticas para tratar as águas residuárias. Em relação aos resíduos sólidos, apenas na comunidade Saco dos Barros os resíduos são queimados; nas demais, há serviço de coleta da prefeitura municipal.

Diagnóstico Ambiental:

A caracterização ambiental indicou que parte do território Pankararu está inserido na bacia hidrográfica Moxotó, coberta por vegetação nativa da caatinga. Essa área preservada é crucial para a proteção de fontes de abastecimento como a nascente Fonte Grande e o poço profundo do Agreste. O mapa hidrogeológico mostrou que a área em que se localizam as comunidades é dominada por um aquífero fissural da Suíte intrusiva Chorrochó, cuja recarga é lenta e depende das condições climáticas. Isso pode levar ao esgotamento do manancial subterrâneo caso não seja priorizada a preservação das áreas de recarga, de forma que se mantenha a alta disponibilidade hídrica nas fontes de abastecimento atualmente utilizadas por essas comunidades. A seguir estão apresentados os mapas confeccionados para a etapa de caracterização ambiental.

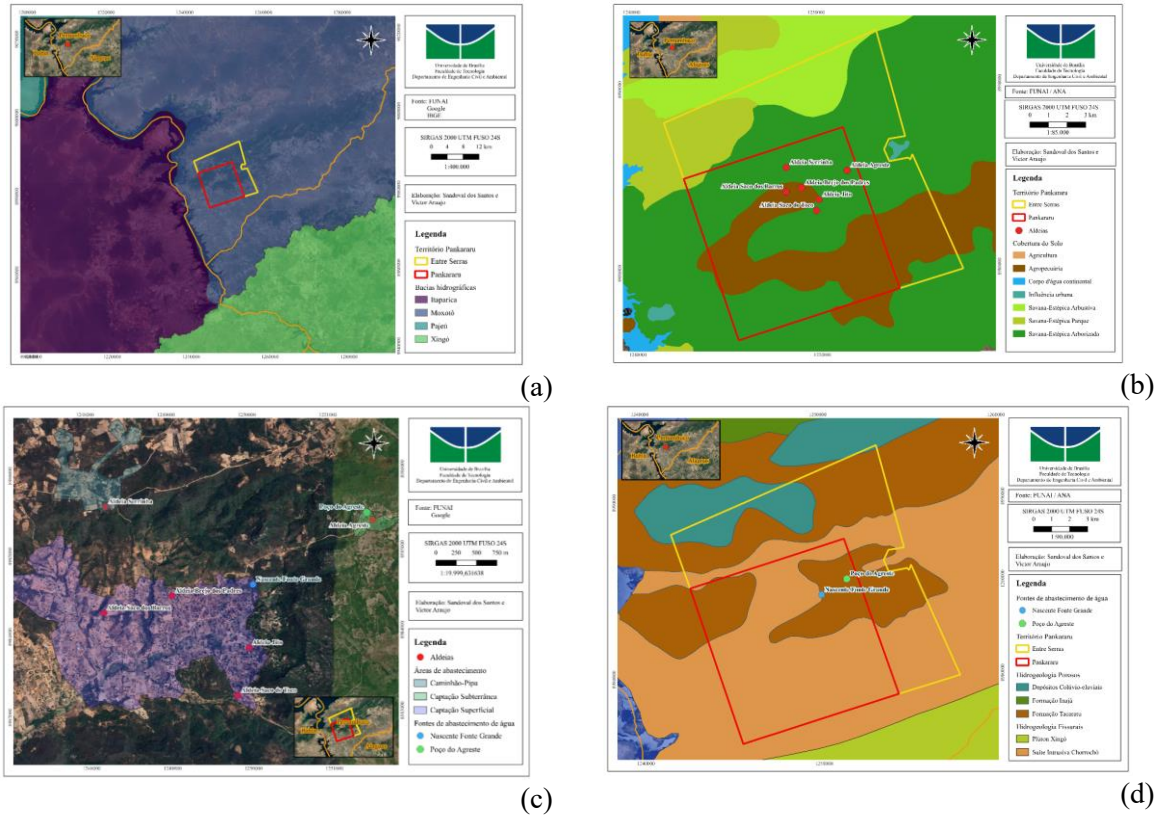


Figura 2. (a) Bacia hidrográfica de localização da terra indígena Pankararu; (b) Uso e cobertura do solo; (c)

Localização das fontes principais de abastecimento e (d) hidrogeologia do território.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo concluiu que o povo Pankararu mantém uma relação profunda com a água, que vai além do uso cotidiano para atividades domésticas, possuindo um significado espiritual fundamental para a cultura e a identidade da etnia. A água é vista não apenas como um recurso vital para a subsistência, mas também como a origem ancestral do povo, que, de acordo com a sua ancestralidade, "nasceu da água e da terra". Esse vínculo é essencial para a manutenção das suas origens, cultura e tradições, contribuindo para o fortalecimento da sua história.

Os diagnósticos realizados, abrangendo aspectos ambientais, socioculturais e de abastecimento, revelaram problemas e fragilidades que afetam a vida nas comunidades. Esses problemas estão relacionados com a qualidade e quantidade da água de abastecimento.

Em geral, 5 das comunidades possuem duas alternativas de abastecimento, enquanto a comunidade Serrinha apresenta uma situação crítica, sendo abastecida por caminhão-pipa com água proveniente de manancial superficial com adição prévia de cloro que não é recomendada para consumo humano pela legislação brasileira.

A caracterização ambiental indicou que parte do território Pankararu possui vegetação nativa do bioma caatinga, importante para manter o abastecimento por nascente e poço profundo nas comunidades. O mapa hidrogeológico da área pertencente ao povo Pankararu indicou a predominância do domínio de aquífero fissural da Suíte intrusiva Chorrochó que tem como principal característica a recarga lenta e dependente das condições climáticas, o que pode acarretar o esgotamento do manancial de abastecimento, sendo, portanto, necessária a preservação das áreas de recarga, de forma que se mantenha a alta disponibilidade hídrica nas fontes de captação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especilmente ao povo Pankararu e às lideranças comunitárias das aldeias Saco dos Barros, Brejo dos Padres, Jitó e Saco do Toco pela disponibilidade e colaboração com este estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Programa Nacional de Saneamento Rural / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2019b, 260 p.

COIMBRA, C. E., Santos, R. V., Welch J. R., Cardoso, A. M., Souza, M. C., Garnelo, L., Rassi, E., Follér, M., Horta B. L. The First National Survey of Indigenous People's Health and Nutrition in Brazil: rationale, methodology, and overview of results. BMC Public Health, V 13, N° 52. 2013.

DOS SANTOS, B. C. Zeladores de Encantos: Memórias do Tronco Velho Pankararu. Editora e-papers, 2021.

FUNAI - Fundação Nacional de Índio. Gestão Ambiental e Sustentabilidade nas Terras Indígenas da Caatinga: TI Pankararu e Entre Serras. Boletim Informativo CGGAM n. 01 - 2019.

PENA, J. L.; HELLER, L. Saneamento e saúde indígena: uma avaliação na população Xakriabá, Minas Gerais; Environmental sanitation and Indian health: an assessment on the Xakriabá population, Minas Gerais. Eng. sanit. ambient, v. 13, n. 1, p. 63–72, 2008.

SIMÕES, Bárbara dos Santos; MACHADO-COELHO, George Luiz Lins; PENA, João Luiz; FREITAS, Silvia Nascimento de. Condições ambientais e prevalência de infecção parasitária em indígenas Xukuru-Kariri, Caldas, Brasil. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 38, n. 1, p. 42-8. 2015.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113029

EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO FERRAMENTA DE SENSIBILIZAÇÃO PARA A MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

EDUCACIÓN AMBIENTAL COMO HERRAMIENTA DE SENSIBILIZACIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

ENVIRONMENTAL EDUCATION AS A TOOL FOR RAISING AWARENESS TO MITIGATE THE IMPACTS OF SOLID WASTE

José Moisés Cruz da Silva[1], Thainá Azevedo[2], Luísa Araújo [3] e Janiara Alves Batista[4].

[1]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, moises2308cruz@gmail.com, 0009-0006-2015-4957;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, thayazevedo26@outlook.com, 0009-0006-1218-4937;
[3]Mestra em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, luisaaraujo@uneb.br, 0000-0003-0494-4386;
[4] Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087;

EIXO 07– Desenvolvimento Sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Educación ambiental y concientización sobre saneamiento.

Thematic Axis 07 – Sustainable Development
Environmental education and sanitation awareness.

RESUMO

A geração crescente de resíduos sólidos no Brasil, impulsionada pela urbanização, pelo aumento populacional e pela intensificação dos padrões de consumo, configura-se como um dos principais desafios ambientais e de saúde pública contemporâneos. Apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabelecer diretrizes para redução, reutilização, reciclagem e destinação adequada, os índices de reciclagem ainda são baixos, evidenciando fragilidades estruturais, lacunas na gestão ambiental e insuficiente conscientização social. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo compreender a Educação Ambiental como uma ferramenta eficaz para sensibilizar a população quanto à problemática dos resíduos sólidos no cotidiano, incentivando a adoção de práticas sustentáveis que contribuam para a minimização de seus impactos ambientais. Trata-se de um estudo qualitativo fundamentado em revisão bibliográfica de artigos científicos publicados nos últimos cinco anos, selecionados por meio do Google Acadêmico. De forma complementar, foram examinados documentos legais e panoramas nacionais, como a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999) e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2022, que orientam a gestão sustentável e fortalecem a Educação Ambiental no país. A análise identificou que os resíduos sólidos urbanos englobam tipologias diversas orgânicos, inorgânicos, eletrônicos, da construção civil e agrícolas, cada qual com impactos distintos sobre o solo, a água e o ar, demandando soluções específicas de gestão. Nesse cenário, a Educação Ambiental, integrada às práticas pedagógicas e comunitárias, favorece a transversalidade entre áreas do conhecimento, amplia a reflexão crítica sobre padrões de consumo e estimula a construção de valores sociais orientados à sustentabilidade. Adicionalmente, estratégias inovadoras, como a logística reversa, aplicativos de monitoramento e iniciativas de economia circular, mostraram-

se relevantes para ampliar a participação social e reduzir impactos ambientais. Conclui-se que a Educação Ambiental, articulada a políticas públicas consistentes e apoiada por infraestrutura adequada, deve ser entendida como estratégia transformadora para a gestão de resíduos sólidos, contribuindo para a proteção ambiental, a saúde coletiva e a qualidade de vida.

Palavras-chave: Educação Ambiental; Resíduos Sólidos; Sustentabilidade; Gestão Ambiental.

RESUMEN

La creciente generación de residuos sólidos en Brasil, impulsada por la urbanización, el aumento poblacional y la intensificación de los patrones de consumo, se configura como uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública contemporáneos. A pesar de que la Política Nacional de Residuos Sólidos (Ley n.º 12.305/2010) establece directrices para la reducción, reutilización, reciclaje y disposición adecuada, los índices de reciclaje aún son bajos, lo que evidencia fragilidades estructurales, vacíos en la gestión ambiental y una insuficiente concienciación social. En este contexto, esta investigación tiene como objetivo comprender la Educación Ambiental como una herramienta eficaz para sensibilizar a la población respecto a la problemática de los residuos sólidos en la vida cotidiana, incentivando la adopción de prácticas sostenibles que contribuyan a la minimización de sus impactos ambientales. Se trata de un estudio cualitativo fundamentado en una revisión bibliográfica de artículos científicos publicados en los últimos cinco años, seleccionados a través de Google Académico. De forma complementaria, se examinaron documentos legales y panoramas nacionales, como la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley n.º 9.795/1999) y el Plan Nacional de Residuos Sólidos de 2022, que orientan la gestión sostenible y fortalecen la Educación Ambiental en el país. El análisis identificó que los residuos sólidos urbanos abarcan diversas tipologías orgánicos, inorgánicos, electrónicos, de la construcción civil y agrícolas, cada una con impactos distintos sobre el suelo, el agua y el aire, lo que demanda soluciones específicas de gestión. En este escenario, la Educación Ambiental, integrada a las prácticas pedagógicas y comunitarias, favorece la transversalidad entre áreas del conocimiento, amplía la reflexión crítica sobre los patrones de consumo y estimula la construcción de valores sociales orientados a la sostenibilidad. Adicionalmente, estrategias innovadoras como la logística inversa, aplicaciones de monitoreo e iniciativas de economía circular demostraron ser relevantes para ampliar la participación social y reducir los impactos ambientales. Se concluye que la Educación Ambiental, articulada con políticas públicas consistentes y apoyada por una infraestructura adecuada, debe entenderse como una estrategia transformadora para la gestión de residuos sólidos, contribuyendo a la protección ambiental, la salud colectiva y la calidad de vida.

Palabras clave: Educación Ambiental; Residuos Sólidos; Sostenibilidad; Gestión Ambiental.

ABSTRACT

The growing generation of solid waste in Brazil, driven by urbanization, population growth, and the intensification of consumption patterns, represents one of the main contemporary environmental and public health challenges. Although the National Solid Waste Policy (Law No. 12,305/2010) establishes guidelines for reduction, reuse, recycling, and proper disposal, recycling rates remain low, revealing structural weaknesses, gaps in environmental management, and insufficient social awareness. In this context, this research aims to understand

Environmental Education as an effective tool to raise public awareness of the issue of solid waste in daily life, encouraging the adoption of sustainable practices that help minimize its environmental impacts. This is a qualitative study based on a bibliographic review of scientific articles published in the last five years, selected through Google Scholar. Additionally, legal documents and national frameworks were examined, such as the National Environmental Education Policy (Law No. 9,795/1999) and the 2022 National Solid Waste Plan, which guide sustainable management and strengthen Environmental Education in the country. The analysis identified that urban solid waste encompasses diverse types organic, inorganic, electronic, construction, and agricultural each with distinct impacts on soil, water, and air, requiring specific management solutions. In this scenario, Environmental Education, integrated into pedagogical and community practices, promotes cross-disciplinary approaches, broadens critical reflection on consumption patterns, and stimulates the development of social values oriented toward sustainability. Furthermore, innovative strategies such as reverse logistics, monitoring applications, and circular economy initiatives proved to be relevant for expanding social participation and reducing environmental impacts. It is concluded that Environmental Education, articulated with consistent public policies and supported by adequate infrastructure, should be understood as a transformative strategy for solid waste management, contributing to environmental protection, public health, and quality of life.

Keywords: Environmental Education; Solid Waste; Sustainability; Environmental Management.

INTRODUÇÃO

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define resíduos sólidos como materiais, substâncias, objetos descartados resultantes de atividades humanas, cuja destinação final é realizada, proposta ou obrigatória, abrangendo estados sólido e semissólido, além de gases contidos em recipientes (BRASIL, 2010). No contexto do saneamento básico, a Lei nº 14.026/2020 estabelece que o mesmo é composto por quatro vertentes principais, incluindo a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2020). Desta forma, a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos se consolida como um dos pontos principais do saneamento, articulando saúde, meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Os resíduos sólidos configuram um desafio considerável para a gestão ambiental nas sociedades contemporâneas, impactando diretamente a saúde pública e o meio ambiente. Fatores como o crescimento populacional, urbanização acelerada, consumismo exacerbado de resíduos não biodegradáveis e destinação final inadequada desencadeiam uma maior geração de resíduos sólidos, exigindo soluções eficazes para o seu manejo, descarte e tratamento (Dos Reis et al, 2023; Ulian et al, 2021). O estudo de Fonseca et al. (2024) identificou que a gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos acarreta sérios impactos ambientais, como a

contaminação do solo, da água e do ar, além de promover a proliferação de vetores de doenças, o que afeta a saúde pública e contribui para o agravamento de problemas climáticos.

De Araújo et al. (2024) afirmam que os resíduos sólidos se tornam representativos, pois estão inseridos na rotina da sociedade, de sua geração ao descarte, causam dano ambiental significativo assolando a população. Entre os resíduos sólidos gerados diariamente, encontram-se os orgânicos, inorgânicos, eletrônicos, resíduos da construção civil (RCC) e agrícolas. De acordo com os dados disponíveis no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2022) a fração orgânica é a principal componente dos resíduos sólidos urbanos (RSU), representando 45,3% do total. Os resíduos recicláveis secos somam 33,6%, outros resíduos correspondem a 21,1% e rejeitos que somam 15,5%. Esses dados reforçam a necessidade de uma consciência ambiental e uma gestão adequada dos resíduos para mitigar os impactos ambientais e proteger os ecossistemas.

A geração de resíduos sólidos em excesso ainda persiste como uma grande dificuldade, a quantidade efetivamente reciclada ainda é baixa em relação ao total gerado, de acordo com Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2024), em 2023, apenas 8,3% dos Resíduos Sólidos Urbanos gerados foram enviados a reciclagem (ABREMA, 2024). Haja vista, a profundidade com relação aos problemas dos resíduos sólidos está relacionada não apenas a geração excessiva e o impacto ambiental, mas também à baixa taxa de reciclagem em relação ao volume total dos mesmos. Neste caso, a baixa taxa de reciclagem pode ser atribuída a fatores como a falta de infraestrutura adequada, a conscientização escassa por parte da população (Da Silva Pereira et al, 2020) e a ineficiência dos processos de coleta (ABREMA, 2024).

O Brasil possui um arcabouço legal robusto voltado para a proteção e conscientização ambiental, e a promoção de práticas sustentáveis. A Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, é um exemplo importante desse compromisso, pois institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Esta lei estabelece que a educação ambiental deve ser entendida como os processos em que indivíduos e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas à conservação do meio ambiente. Tais práticas são essenciais para garantir uma qualidade de vida saudável e a sustentabilidade do planeta (BRASIL, 1999).

Complementando essa diretriz, a PNRS representa um marco na gestão de resíduos sólidos no Brasil. A qual busca promover a gestão integrada e sustentável dos resíduos por meio de ações como redução, reutilização, reciclagem e destinação adequada dos resíduos

sólidos. Ao estabelecer diretrizes claras para a gestão de resíduos em todo o território nacional, a PNRS visa não apenas a proteção ambiental, mas também a melhoria da qualidade de vida humana, ao minimizar riscos à saúde pública, como a proliferação de doenças e a exposição a substâncias tóxicas (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo compreender a educação ambiental como ferramenta eficaz para sensibilizar a população sobre a problemática dos resíduos sólidos presentes no cotidiano, e estimular a adoção de práticas sustentáveis que mitiguem seus impactos ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, por meio de revisão bibliográfica. As principais palavras-chave utilizadas nas buscas foram: “educação ambiental”, “resíduos sólidos”, “mitigação de impactos ambientais” e “descarte correto de resíduos”. Como critério para seleção, consideramos artigos em português publicados entre 2020 e 2025, identificados a partir da base de dados do Google Acadêmico. Foi desconsiderado os trabalhos que não apresentavam metodologia clara ou resultados aplicáveis e estudos repetidos em diferentes bases. O material selecionado, passou por etapas como a leitura do título, resumo e depois texto completo. A investigação também contemplou a verificação de Panoramas e legislações brasileiras pertinentes ao estudo, tais como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999) e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos 2022, os quais são documentos que fornecem diretrizes legais para a gestão de resíduos e o fortalecimento da educação ambiental no país.

A análise foi organizada a partir das informações extraídas dos artigos, considerando a educação ambiental como ferramenta de sensibilização para a mitigação dos impactos decorrentes da geração de resíduos sólidos, os principais resultados e as limitações apontadas. A metodologia adotada baseou-se em análise descritiva, articulando os resultados à legislação e às diretrizes nacionais para destacar desafios e estratégias de mitigação dos impactos ambientais dos resíduos sólidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento populacional, a urbanização e os novos padrões de consumo intensificam a geração de resíduos sólidos, impondo desafios ambientais e de saúde pública. Esses resíduos incluem orgânicos, inorgânicos, eletrônicos, de construção civil e agrícolas, cuja correta classificação é fundamental para estratégias de gestão alinhadas à Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Enquanto os inorgânicos, como plásticos e metais, persistem no ambiente e exigem ações de redução e reciclagem (Figueira, 2020), os orgânicos, embora biodegradáveis, demandam técnicas como compostagem e biodigestores para evitar impactos que podem ser causados pela liberação do chorume e o metano (De Brito et al., 2025). Já os eletrônicos apresentam risco elevado de contaminação por metais pesados, sendo indispensável a logística reversa e a reciclagem (Freitas, 2024). Por sua vez, resíduos da construção civil e agrícolas, quando mal destinados, poluem solo e água, reforçando a importância da reutilização, reciclagem e conscientização ambiental para reduzir a pressão sobre os recursos naturais (Batista, 2022; CONAMA, 2014).

A Educação Ambiental (EA) é uma ferramenta essencial para conscientizar a comunidade sobre a gestão correta de resíduos sólidos, promovendo práticas sustentáveis que mitiguem seus impactos ambientais. De acordo com a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), essa prática deve ser integrada em todos os níveis do sistema educacional, abrangendo tanto a educação formal quanto a não formal. O objetivo é desenvolver a capacidade crítica das pessoas para compreenderem que muitos resíduos descartados de forma inadequada não são rejeitos, mas materiais que podem ser reutilizados ou reciclados, contribuindo para a redução do desperdício e a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1999).

Além disso, a Educação Ambiental desempenha um papel crucial na disseminação de informações sobre práticas como a correta separação e descarte de resíduos e a importância da logística reversa. A conscientização sobre a logística reversa, definida pela PNRS, visa garantir que resíduos sejam reintegrados ao ciclo produtivo, minimizando o impacto ambiental (BRASIL, 2010). Através de campanhas educativas, programas corporativos e o uso das mídias sociais, a população pode ser incentivada a participar ativamente da coleta seletiva e da reciclagem, compreendendo que essas práticas não só beneficiam o meio ambiente, mas também são essenciais para a sustentabilidade urbana e a economia circular. Outrossim, é fundamental que as cidades ofereçam sistemas de coleta seletiva eficazes ou que a população

estabeleça vínculos com agentes de reciclagem independentes, garantindo que os resíduos sejam devidamente processados e reaproveitados, contribuindo para a criação de um ambiente mais saudável e sustentável para todos (MMA, 2022).

Compreender o papel da Educação Ambiental na vida dos indivíduos significa promover a troca de saberes de forma coletiva e transformadora, em que o ser humano, juntamente com suas mudanças e influências, assume o papel central nesse processo. Nesse sentido, o campo da educação ambiental é extremamente amplo e, ao se voltar para as questões relacionadas a resíduos sólidos no contexto escolar, integra-se em diversas áreas do conhecimento permitindo uma abordagem diversificada, como a adoção de oficinas e a realização de pesquisas (Da Silva et al., 2023).

De Araújo et al. (2024) destacam que, mesmo diante da limitada inserção da EA na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é possível integrá-la de forma transversal às disciplinas, explorando desde o estudo da decomposição de materiais e impactos ambientais até a análise matemática da geração de resíduos. Essa abordagem reforça o papel da EA não apenas como conteúdo complementar, mas como estratégia essencial para a formação cidadã e para o desenvolvimento de competências que favoreçam a construção de uma sociedade mais sustentável.

A Educação Ambiental se constitui como um elemento estratégico pois permite estimular a reflexão crítica sobre os padrões de consumo e, consequentemente, reduzir a geração de resíduos. Deste modo, a EA deve assumir não apenas um caráter informativo, mas também de reavaliação cultural, promovendo mudanças de comportamento que possibilitem a transição da sociedade de consumo para uma sociedade sustentável (Simão et al., 2021).

O uso de recursos tecnológicos, como instrumentos de conscientização e mobilização social, levanta um ponto relevante e um debate construtivo sobre a Educação Ambiental como ferramenta para difundir informações sobre reciclagem, coleta seletiva e destinação adequada dos materiais. De acordo com De Oliveira Souza e De Assis (2020), a criação de um aplicativo voltado à gestão de resíduos em Belo Horizonte revelou-se eficaz para aproximar a população das práticas sustentáveis, ao disponibilizar dados sobre pontos de coleta e ao integrar conteúdos educativos de forma dinâmica. Isso reforça a ideia de que a inovação tecnológica, quando aplicada ao campo da EA, pode potencializar resultados, ampliar o alcance da informação e favorecer mudanças de comportamento, aspectos diretamente relacionados aos desafios

enfrentados na gestão dos resíduos sólidos recicláveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou discutir a relação entre geração de resíduos sólidos na sociedade atual e as contribuições que a Educação Ambiental pode adicionar a essa adversidade. E dessa maneira, a Educação Ambiental surge como uma ferramenta essencial para sensibilizar a população sobre a importância de adotar práticas sustentáveis, proporcionando uma mudança de comportamento que pode mitigar os impactos ambientais negativos.

No entanto, para que essa sensibilização seja eficaz, é necessário um comprometimento coletivo, que inclui principalmente a implementação de políticas públicas, a oferta de infraestrutura adequada para a coleta seletiva e o incentivo à participação ativa da sociedade. O crescimento da produção de resíduos, impulsionado pela elevação populacional e a urbanização, exige soluções eficazes que vão além do simples descarte, incluindo a reciclagem, reutilização e destinação adequada dos resíduos. Dessa forma, será possível avançar em direção a um modelo de gestão de resíduos mais sustentável, contribuindo para a preservação dos ecossistemas e a qualidade de vida das futuras gerações.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão às docentes e engenheiras Janiara Alves e Luísa Araújo, que atuam como orientadoras do projeto de iniciação científica em saúde e saneamento, pelas valiosas contribuições, pelo incentivo constante e pelo acompanhamento ao longo da pesquisa. Também agradecemos à Universidade do Estado da Bahia (UNEB), pela oportunidade de cursar a graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, a qual tem proporcionado uma formação acadêmica voltada para a construção de uma sociedade mais segura, saudável e ambientalmente sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024.* São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: https://www.abrema.org.br/panorama/. Acesso em: 07 set. 2025.

BATISTA, Marcelo Lopes. Gestão de resíduos na construção civil: ênfase no desenvolvimento sustentável Waste management in civil construction: emphasis on sustainable

development. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 23356-23373, 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999.** Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 79, p. 1–3, 28 abr. 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9795.htm. Acesso em: 7 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 465, de 5 de dezembro de 2014.** Dispõe sobre os requisitos e critérios técnicos mínimos necessários para o licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens de agrotóxicos e afins, vazias ou contendo resíduos. Diário Oficial da União: seção 1, n. 237, p. 110-111, 8 dez. 2014. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=684. Acesso em: 7 set. 2025.

DA SILVA, Fredson Pereira; VIANA, Ranniclebia Kelly Rodrigues; DA SILVA, Patrícia Barbosa. Educação Ambiental e resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 18, n. 7, p. 211-226, 2023.

DA SILVA PEREIRA, Cristina et al. Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru. **Nature and Conservation,** v. 13, n. 2, p. 58-66, 2020.

DE ARAÚJO, Thiago Henrique Pinto; VIESBA, Everton; ROSALEN, Marilena. Educação Ambiental e Resíduos Sólidos: Abordagens no Ensino**. HUMANIDADES E TECNOLOGIA (FINOM)**, v. 50, n. 1, p. 160-177, 2024.

DE BRITO, Monica Luci Oliveira et al. Caracterização de resíduos orgânicos de saneamento, urbanos e agroindustriais. **REVISTA DELOS**, v. 18, n. 67, p. e5318-e5318, 2025.

DE OLIVEIRA SOUZA, Luís Carlos; DE ASSIS, Camila Moreira. Uso de novas tecnologias para educação ambiental em prol da gestão dos resíduos sólidos recicláveis em Belo Horizonte/MG (vem reciclar). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 1021-1039, 2020.

DOS REIS, Caroline Vitória Gouveia; DE FREITAS, Ludmila. O USO DA COMPOSTAGEM NA EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO DESCARTE DE RESÍDUOS ORGÂNICOS. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 539-557, 2023.

FIGUEIRA, Lucas. Poluição ambiental no Brasil: descarte irregular de resíduos sólidos no meio ambiente. 2020.

FONSECA, Jordânia Passos; DE OLIVEIRA, Larissa Pereira; LEITE, Mariana Vieira. Impactos ambientais de resíduos sólidos urbanos. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 62, p. e3292-e3292, 2024.

FREITAS, Natiele Cunha. Panorama dos resíduos eletrônicos gerados no Brasil e o sistema de logística reversa: uma revisão de literatura. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos 2022. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022.

SIMÃO, Nathalia Machado; NEBRA, Silvia Azucena; DE MELLO SANTANA, Paulo Henrique. A educação para o consumo sustentável como estratégia para redução de resíduos sólidos urbanos. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 1007-1020, 2021.

ULIAN, Marcelo Henrique Santana et al. A educação ambiental no tratamento dos resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais. Ciências em Foco, v. 14, p. e021003-e021003.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113051

EDUCAÇÃO POPULAR EM SAÚDE E SANEAMENTO AMBIENTAL: FORMAÇÃO TRANSFORMADORA EM COMUNIDADES RURAIS E INDÍGENAS

EDUCACIÓN POPULAR EN SALUD Y SANEAMIENTO AMBIENTAL: FORMACIÓN TRANSFORMADORA EN COMUNIDADES RURALES E INDÍGENAS

POPULAR EDUCATION IN HEALTH AND ENVIRONMENTAL SANITATION: TRANSFORMATIVE TRAINING IN RURAL AND INDIGENOUS COMMUNITIES

Ana Marise Pereira Gomes[1], Rosany Lopes Martins[4].

[1]Fundação Nacional de Saúde - FUNASA/MS/TO, Palmas, Brasil, anamarisegomes@gmail.com, nº de ORCID 0009-0003-7466-7166;
[2]Distrito Sanitário Especial Indígena Tocantins - DSEI Tocantins, Palmas, Brasil, rosyufpa@fmail.com, nº de ORCID 0000-0001-7708-6576;

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento.

RESUMO

A Educação Popular em Saúde e Ambiental configura-se como uma estratégia essencial para o fortalecimento das políticas de saneamento básico no Brasil, sobretudo em comunidades rurais e indígenas. Nesse contexto, o processo pedagógico deve ser orientado por práticas educativas contextualizadas, capazes de articular aspectos históricos e conceituais do saneamento básico com dimensões práticas como educação popular, saneamento ambiental, gestão participativa comunitária, atenção básica em saúde, controle social, infraestrutura e instalações operacionais de saneamento, além da incorporação de tecnologias sociais adequadas à realidade local. A difusão do conhecimento e o acesso da população à informação possibilitam não apenas a ampliação da participação social, mas também a transformação de atitudes e comportamentos, promovendo melhorias na qualidade de vida, no meio ambiente e no fortalecimento dos serviços de saúde e saneamento ambiental. Observa-se, entretanto, que os gestores públicos enfrentam desafios na integração entre diferentes atores sociais, como Agentes Comunitários de Saúde, Agentes Indígenas de Saúde e de Saneamento, Agentes de Endemias, representantes do controle social e a própria comunidade. Nesse sentido, o presente artigo apresenta uma proposta de formação em Educação Popular em Saúde e Saneamento Ambiental, direcionada às populações rurais e indígenas, com o propósito de reduzir desigualdades territoriais, fortalecer práticas sustentáveis e promover a articulação intersetorial. A proposta formativa será implementada por equipe técnica multiprofissional, organizada de modo a contemplar diferentes eixos temáticos, distribuídos em cinco módulos: (i) planejamento e gestão participativa; (ii) educação popular em saúde e saneamento; (iii) território e memória social; (iv) mudanças climáticas e ambientais; e (v) cultura, saúde e sustentabilidade. O curso terá carga horária total de 120 horas e será desenvolvido com base em metodologias ativas e participativas, privilegiando a construção coletiva do conhecimento, a troca de saberes entre profissionais e comunidade, e a aplicação de práticas pedagógicas em campo que estimulem o protagonismo social. Espera-se que a formação de agentes populares,

profissionais de saúde e educadores contribua para o fortalecimento do controle social, a valorização dos saberes locais e a integração das ações de promoção da saúde com respeito à diversidade cultural. Como resultado, pretende-se consolidar uma rede de sujeitos capazes de atuar como protagonistas na transformação de seus territórios, promovendo a universalização do saneamento básico, a redução das iniquidades sociais e a melhoria das condições de saúde e qualidade de vida das populações envolvidas.

Palavras-chave: Comunidades Rurais, Educação Popular em Saúde, Formação de Agentes Populares, Participação Social, Saneamento Ambiental

RESÚMEN

La Educación Popular en Salud y Ambiental se configura como una estrategia esencial para el fortalecimiento de las políticas de saneamiento básico en Brasil, especialmente en comunidades rurales e indígenas. En este contexto, el proceso pedagógico debe estar orientado por prácticas educativas contextualizadas, capaces de articular aspectos históricos y conceptuales del saneamiento básico con dimensiones prácticas como educación popular, saneamiento ambiental, gestión comunitaria participativa, atención primaria en salud, control social, infraestructura e instalaciones operativas de saneamiento, así como la incorporación de tecnologías sociales adecuadas a la realidad local. La difusión del conocimiento y el acceso de la población a la información permiten no solo la ampliación de la participación social, sino también la transformación de actitudes y comportamientos, promoviendo mejoras en la calidad de vida, en el medio ambiente y en el fortalecimiento de los servicios de salud y saneamiento ambiental. No obstante, se observa que los gestores públicos enfrentan desafíos en la integración de diferentes actores sociales, tales como Agentes Comunitarios de Salud, Agentes Indígenas de Salud y de Saneamiento, Agentes de Endemias, representantes del control social y la propia comunidad. En este sentido, el presente artículo presenta una propuesta de formación en Educación Popular en Salud y Saneamiento Ambiental, dirigida a poblaciones rurales e indígenas, con el propósito de reducir desigualdades territoriales, fortalecer prácticas sostenibles y promover la articulación intersectorial. La propuesta formativa será implementada por un equipo técnico multiprofesional, organizado para abarcar diferentes ejes temáticos distribuidos en cinco módulos: (i) planificación y gestión participativa; (ii) educación popular en salud y saneamiento; (iii) territorio y memoria social; (iv) cambios climáticos y ambientales; y (v) cultura, salud y sostenibilidad. El curso tendrá una duración total de 120 horas y se desarrollará con base en metodologías activas y participativas, privilegiando la construcción colectiva del conocimiento, el intercambio de saberes entre profesionales y comunidad, y la aplicación de prácticas pedagógicas de campo que estimulen el protagonismo social. Se espera que la formación de agentes populares, profesionales de la salud y educadores contribuya al fortalecimiento del control social, la valorización de los saberes locales y la integración de las acciones de promoción de la salud con respeto a la diversidad cultural. Como resultado, se pretende consolidar una red de sujetos capaces de actuar como protagonistas en la transformación de sus territorios, promoviendo la universalización del saneamiento básico, la reducción de las inequidades sociales y la mejora de las condiciones de salud y calidad de vida de las poblaciones involucradas.

Palabras clave: Comunidades Rurales, Educación Popular en Salud, Capacitación de Agentes

Comunitarios, Participación Social, Saneamiento Ambiental

ABSTRACT

Popular Education in Health and Environmental Sanitation is an essential strategy for strengthening basic sanitation policies in Brazil, particularly in rural and indigenous communities. In this context, the pedagogical process must be guided by contextualized educational practices that integrate historical and conceptual aspects of basic sanitation with practical dimensions such as popular education, environmental sanitation, community participatory management, primary health care, social control, infrastructure and operational sanitation facilities, as well as the incorporation of social technologies appropriate to the local reality. The dissemination of knowledge and access to information by the population not only expands social participation but also fosters changes in attitudes and behaviors, promoting improvements in quality of life, the environment, and the strengthening of health and environmental sanitation services. However, public managers face challenges in integrating different social actors, including Community Health Agents, Indigenous Health and Sanitation Agents, Endemic Disease Agents, social control representatives, and the community itself. In this sense, the present article presents a proposal for training in Popular Education in Health and Environmental Sanitation, aimed at rural and indigenous populations, with the goal of reducing territorial inequalities, strengthening sustainable practices, and promoting intersectoral coordination. The training program will be implemented by a multiprofessional technical team, organized to cover different thematic axes distributed across five modules: (i) planning and participatory management; (ii) popular education in health and sanitation; (iii) territory and social memory; (iv) climate and environmental changes; and (v) culture, health, and sustainability. The course will have a total duration of 120 hours and will be developed based on active and participatory methodologies, emphasizing collective knowledge construction, knowledge exchange between professionals and the community, and the application of field-based pedagogical practices that encourage social protagonism. It is expected that the training of popular agents, health professionals, and educators will contribute to strengthening social control, valuing local knowledge, and integrating health promotion actions with respect for cultural diversity. Ultimately, the initiative aims to consolidate a network of actors capable of serving as protagonists in transforming their territories, promoting the universalization of basic sanitation, reducing social inequalities, and improving health conditions and quality of life for the populations involved.

Keywords: Rural Communities, Popular Health Education, Training of Popular Agents, Social Participation, Environmental Sanitation

INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico no Brasil ainda apresenta profundas desigualdades, especialmente em territórios rurais e indígenas, onde a precariedade dos serviços impacta diretamente a saúde pública e a qualidade de vida das populações. Essa realidade evidencia a necessidade de estratégias inovadoras e integradoras que articulem saúde, ambiente e participação social, de modo a enfrentar as múltiplas dimensões das iniquidades existentes (Custódio 2023).

Neste contexto, a Educação Popular em Saúde (EPS) emerge como uma prática essencial para a promoção, proteção e recuperação da saúde, uma vez que valoriza o diálogo entre saberes populares e científicos, reconhecendo a diversidade cultural como elemento estruturante para a construção de comunidades mais saudáveis e resilientes (Brasil 2014). O saneamento ambiental, quando articulado à educação popular, consolida-se como uma ponte para o enfrentamento das desigualdades e iniquidades presentes em diferentes regiões do país.

O projeto apresentado dialoga com a diversidade cultural e social dos territórios, oferecendo aos gestores uma nova perspectiva sobre a importância da educação popular nos serviços de saúde. Ao mesmo tempo, fortalece os movimentos sociais e os profissionais da saúde na construção de práticas transformadoras, voltadas à melhoria da qualidade de vida da população (Figueiredo Gomes 2014).

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de formação em Educação Popular em Saúde e Saneamento Ambiental, direcionada às populações rurais e indígenas, com o propósito de reduzir desigualdades territoriais, fortalecer práticas sustentáveis e promover a articulação intersetorial.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo adota uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em pesquisa bibliográfica, documental e em experiências de campo (Assis e Monteiro 2023).

A execução do projeto será realizada pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), por meio do Acordo de Cooperação Técnica com parceiros municipais. A implementação será conduzida pelos técnicos da Divisão de Saúde Ambiental (DISAM - TO), em parceria com os municípios e instituições formadoras. A formação é direcionada principalmente a Agentes Comunitários de Saúde, Agentes Indígenas de Saúde e de Saneamento, Agentes de Endemias, representantes do controle social e a comunidade local. O objetivo é capacitá-los com foco na educação popular em saúde e saneamento ambiental.

A formação é estruturada em cinco módulos temáticos, com carga horária total de 120 horas, conforme a Matriz Curricular (Quadro 1), abordando temas como gestão participativa, território e memória social, mudanças climáticas, cultura e práticas sustentáveis. O curso será desenvolvido com base em metodologias ativas e participativas, privilegiando a construção coletiva do conhecimento e a troca de saberes entre profissionais e comunidade.

Quadro 1: Matriz Curricular do Processo de Formação

MÓDULO I		
Área Temática	**O Planejamento e Organização do Trabalho em Nível Local**	**h/a**
Gestão participativa e educação popular em saúde	• Histórico e aspectos conceituais do SUS; • Arcabouço Legal; normativas estruturantes dos Agentes: Endemias, Saúde, Comunitárias e o Controle Social; • Humanização e ética na atenção à saúde; • A promoção e proteção à saúde; • O controle ambiental: endemias/zoonoses; • Atividades práticas.	40
MÓDULO II		
Área Temática	**Educação Popular em Saúde e Saneamento Ambiental como Agente de Mudança**	**h/a**
Saneamento Rural, Infraestrutura local e Gestão Ambiental	• Diagnóstico situacional participativo, sistematização de dados; • Identificação de riscos e danos à saúde;	

	• Educação ambiental e comunicação em saúde; • Construção de mapas-falantes das comunidades; • Atividades práticas.	40
MÓDULO III		
Área Temática	**O Território como Espaço de História e Memória**	**h/a**
Participação social e popular	• Território, condições de vida e situação de saúde; • A Unidade Básica de Saúde (UBS) como referência territorial; • Planejamento local a partir do território; • Saberes populares como instrumentos de transformação; • Atividades práticas.	40
MÓDULO IV		
Área Temática	**Mudanças Climáticas e Ambientais: Reflexões e Ações**	**h/a**
Água de qualidade e ação climática	• Água potável e para consumo humano; • Boas práticas e tecnologias sociais sustentáveis; • Atividades práticas.	40
MÓDULO V		
Área Temática	**Cultura, Educação Popular e Transformação Territorial**	**h/a**
Promoção, prevenção e transformação nos territórios	• Territórios saudáveis e sustentáveis; • Planejamento participativo e monitoramento; • Avaliação de práticas; • Atividades práticas.	40

Fonte: elaborado pelos autores.

A carga horária prevista para a execução deste Projeto é no mínimo de 120 horas, sendo 40 horas por módulo a ser realizado no prazo de 12 meses, com encontros uma vez em cada

mês. Entretanto, o desenvolvimento das atividades se dará de acordo com a viabilização realizada entre os entes envolvidos, observando suas respectivas interdisciplinaridades.

As atividades serão desenvolvidas conforme a viabilização entre os entes envolvidos, respeitando a interdisciplinaridade. Serão realizadas oficinas e produzidos materiais educativos em formato impresso e eletrônico. A formação de equipes de saúde, educadores, controle social e comunidade é estratégica para disseminar metodologias participativas e práticas aplicáveis no cotidiano laboral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente proposta não se limita à capacitação técnica, mas busca a transformação de atitudes e comportamentos, visando a consolidação de uma rede de sujeitos capazes de atuar como protagonistas na transformação de seus territórios. A formação de agentes populares, profissionais de saúde e educadores é estratégica para fortalecer o controle social e valorizar os saberes locais, sendo esperado a ampliação em 100% da atuação profissional e comunitária na metodologia prática da educação popular em saúde e saneamento ambiental em territórios rurais, bem como a execução de 100% das atividades construtivas, estimulando a criatividade e analisando as percepções sobre a educação popular a partir das experiências de campo.

Além disso, a metodologia adotada será pautada no diálogo e em atividades coletivas e emancipadoras, que reforçam a importância da valorização dos saberes locais e da integração intersetorial com os municípios. Espera-se que a aplicação de práticas pedagógicas em campo estimule o protagonismo social, resultando na mobilização de 100% das famílias na sensibilização para os cuidados e práticas de prevenção à saúde ambiental, conforme a realidade de cada município.

Adicionalmente, a utilização da arte ancestral e da educação popular é vista como uma prática fundamental para a integração e a autonomia nas comunidades rurais, contribuindo em 100% para a formação de uma cultura de prevenção e uso sustentável dos recursos. Dessa forma, a formação se consolida como um meio eficaz para promover a universalização do saneamento básico, a redução das iniquidades sociais e a melhoria das condições de saúde e qualidade de vida das populações envolvidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A capacitação de Agentes de Educação Popular em Saneamento Ambiental configura-se como uma estratégia eficaz para o enfrentamento das desigualdades socioambientais em comunidades rurais. Ao fomentar processos de conscientização e incentivar a construção coletiva de soluções, essa formação contribui para o fortalecimento da autonomia territorial e para a ampliação do alcance das políticas públicas de saneamento.

A atuação desses agentes, pautada por posturas firmes e acolhedoras, tem potencial para mitigar os impactos das iniquidades territoriais. As práticas educativas, de caráter coletivo e emancipador, promovem a aproximação entre profissionais e comunidades, favorecendo o acesso à saúde por meio de vínculos afetivos e relações pautadas no respeito mútuo.

A receptividade dos territórios, mesmo diante de lacunas estruturais, demonstra o potencial transformador da educação popular, reforçando a importância do trabalho conjunto dos agentes de campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às populações rurais e indígenas, bem como aos Agentes Comunitários de Saúde, Agentes Indígenas de Saúde e de Saneamento, Agentes de Endemias, profissionais de saúde e aos agentes comunitários, cuja colaboração, saberes e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho e para o fortalecimento das ações em saúde e saneamento ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assis, F. C. e Monteiro, R. 2023. "Metodologias Qualitativas e Quadros de Referência para a Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas". *REVISTA JurES* 16, no. 29 (junho): 1-28. https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/juresvitoria/article/view/1993/1627.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa. 2014. *II Caderno de Educação Popular em Saúde*. Brasília: Ministério da Saúde, https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/2_caderno_educacao_popular_saude.pdf.

Custódio, Aline Maria Baldez. 2023. "Desigualdade no acesso ao saneamento básico no Brasil: uma análise a partir das diferenças regionais e de situação do domicílio entre os anos de 2016 e 2022". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará.

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/75180/5/2023_dis_ambcustodio.pdf.

Figueiredo Gomes. 2014. *Panorama do Saneamento Básico no Brasil*. Vol. 1. Brasília: Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/arquivos/panorama_vol_01.pdf.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113066

EDUCAÇÃO, SAÚDE E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO PROJETO SUSTENTAR RURAL: PERCEPÇÕES DE COMUNIDADES RURAIS NO CARIRI CEARENSE

EDUCACIÓN, LA SALUD Y LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN EL PROYECTO SUSTENTAR RURAL: PERCEPCIONES DE COMUNIDADES RURALES EN EL CARIRI CEARENSE

EDUCATION, HEALTH AND WATER SUSTAINABILITY IN THE SUSTENTAR RURAL PROJECT: PERCEPTIONS OF RURAL COMMUNITIES IN THE CARIRI REGION OF CEARÁ

Jane Paulino Pereira[1], Daniel Salgado Pifano[2], Cleonice Almeida da Silva[3] e Alaíde Régia Sena Nery de Oliveira[4].

[1]Doutoranda, Univasf, Juazeiro, Brasil, janepaulino2@gmail.com, nº de ORCID 0009-0002-3893-3845;
[2]Doutor, Univasf, Juazeiro, Brasil, daniel.pifano@univasf.edu.com, nº de ORCID 0000-0001-8361-7337;
[3]Mestre, UFRRJ, Rio de Janeiro, Brasil, cleoalmeida.adv@gmail.com, nº de ORCID 0000-0002-3925-2972;
[4]Doutoranda, Univasf, Juazeiro, Brasil, alaideregiasena@gmail.com, nº de ORCID 0000-0002-2911-615X .

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento.

Eje Temático 07 – Desarrollo sostenible
Caracterización Educación ambiental y concienciación para el saneamiento.

Thematic Axis 07– Sustainable development
Environmental education and awareness for sanitation.

RESUMO

Este estudo analisa as percepções de comunidades rurais do Cariri cearense sobre ações educativas no contexto do Projeto Sustentar Rural. O objetivo é compreender como essas comunidades percebem, vivenciam e valorizam iniciativas voltadas ao uso e cuidado com a água. Trata-se de pesquisa qualitativa, de natureza descritiva e interpretativa, utilizando questionário aplicado em 14 comunidades de 14 municípios. As questões abordaram acesso às ações educativas, valor atribuído e sugestões de melhoria. Os resultados indicam que 66,7% das comunidades recebem ações educativas, enquanto 33,3% não participam, revelando desigualdades na distribuição. As ações são reconhecidas como essenciais para a conscientização, prevenção de doenças e sustentabilidade hídrica. As comunidades sugerem palestras, oficinas, educação ambiental e abordagens participativas, evidenciando a necessidade de políticas públicas adaptadas às realidades locais. Conclui-se que o modelo de capacitação de multiplicadores adotado pelo projeto pode ampliar o alcance das iniciativas, especialmente nas localidades atualmente excluídas, contribuindo para a promoção da saúde e a gestão sustentável da água.

Palavras-chave: educação; saneamento básico; sustentabilidade hídrica; cariri.

RESÚMEN

Este estudio analiza las percepciones de comunidades rurales del Cariri cearense sobre acciones educativas en el contexto del Proyecto Sustentar Rural. El objetivo es comprender cómo estas comunidades perciben, experimentan y valoran las iniciativas dirigidas al uso y cuidado del agua. La investigación es cualitativa, de carácter descriptivo e interpretativo, mediante cuestionario aplicado en 14 comunidades de 14 municipios. Las preguntas abordaron el acceso a acciones educativas, el valor otorgado y sugerencias de mejora. Los resultados indican que el 66,7 % de las comunidades reciben acciones educativas, mientras que el 33,3 % no participa, lo que revela desigualdades en la distribución. Las acciones son reconocidas como esenciales para la concienciación, la prevención de enfermedades y la sostenibilidad hídrica. Las comunidades sugieren conferencias, talleres, educación ambiental y enfoques participativos, evidenciando la necesidad de políticas públicas adaptadas a las realidades locales. Se concluye que el modelo de capacitación de multiplicadores adoptado por el proyecto puede ampliar el alcance de las iniciativas, especialmente en las localidades actualmente excluidas, contribuyendo a la promoción de la salud y la gestión sostenible del agua

Palabras clave: educación; saneamiento básico; sostenibilidad hídrica; cariri.

ABSTRACT

This study analyzes the perceptions of rural communities in the Cariri region of Ceará, Brazil, regarding educational actions within the Sustentar Rural Project. The objective is to understand how these communities perceive, experience, and value initiatives aimed at the use and care of water. This is a qualitative research with a descriptive and interpretative approach, based on a questionnaire applied in 14 communities from 14 municipalities. The questions addressed access to educational actions, the value attributed to them, and suggestions for improvement. Results show that 66.7% of communities receive educational actions, while 33.3% do not, revealing inequalities in distribution. The actions are recognized as essential for raising awareness, preventing diseases, and ensuring water sustainability. Communities suggested lectures, workshops, environmental education, and participatory approaches, highlighting the need for public policies adapted to local realities. It is concluded that the multiplier training model adopted by the project can expand the reach of initiatives, especially in currently excluded locations, contributing to health promotion and sustainable water management.

Keywords: education; basic sanitation; water sustainability; cariri

INTRODUÇÃO

As ações educativas, em qualquer área de interesse, desempenham grande importância para a sociedade em suas variadas especificidades. No aspecto formal, não formal e informal, as ações educativas promovem reflexão crítica e fortalecimento dos saberes necessários a vida.

No contexto das comunidades rurais, essas ações assumem um papel ainda mais estratégico, principalmente quando vinculadas a temas essenciais como o cuidado com a água, a saúde coletiva e o meio ambiente.

O Projeto Sustentar Rural que nasceu em 2022, foi planejado com o objetivo de implementar ações de educação em saúde Ambiental para a sustentabilidade e efetividade dos

Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA) ou Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água (SAC) implantados pela SUEST Ceará. A partir do financiamento da Fundação Nacional de Saúde - Funasa e execução pela Universidade Federal Vale do São Francisco- Univasf, este projeto intenta contribuir para a universalização do acesso ao saneamento básico. Ações de educação são grandes aliadas para alcançar este fim, e o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), que embasa o projeto sustentar, afirma que:

> As populações das áreas rurais e dos pequenos municípios permaneciam, e permanecem, à margem do Estado brasileiro, carecendo de ações e serviços públicos em todas as áreas fundamentais para o desenvolvimento humano: saúde, alimentação, EDUCAÇÃO, segurança, transporte público, energia, meio ambiente, assistência técnica e extensão rural, e, evidentemente, o saneamento básico (BRASIL, 2019, p. 31).

O Cariri cearense, região que concentra a maioria dos municípios deste trabalho, possui muitos municípios de pequeno e médio porte carecendo de todos esses serviços. Conforme classificação proposta por Calvo et al. (2016), os municípios podem ser agrupados segundo o porte populacional em: pequeno porte — menos de 25 mil habitantes; médio porte — de 25 a 100 mil habitantes; e grande porte — acima de 100 mil habitantes. O cariri cearense possui municípios com localização na região Centro-Sul e Sul do estado. Esta pesquisa foi feita com 14 municípios, dentre os quais somente, Crato tem mais de 50 mil habitantes, e Lavras da Mangabeira que não pertence ao Cariri.

A palavra “rural” aqui indicada no artigo vem no propósito de indicar a “educação do campo” nas comunidades rurais, ou seja, não urbanas. Destaca-se isto para que as compreensões partam de uma valorização da modalidade de ensino que busca atender às especificidades e necessidades das populações do campo, considerando suas realidades culturais, sociais e econômicas. “Por meio de oficinas, palestras, projetos comunitários e outras práticas, é possível mobilizar a população para a luta pelo direito ao saneamento, adaptadas à realidade de cada comunidade” (PEREIRA, 2024, p.5). A promoção do bem-estar social, a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico sustentável partem do viver o hoje pensando no futuro, isso é sustentabilidade.

O problema desta pesquisa é a forma em que as comunidades rurais do Cariri cearense se relacionam com as ações educativas voltadas ao uso e cuidado com a água, relacionando essas percepções à sustentabilidade dos sistemas de abastecimento e à promoção da saúde coletiva.

Esta investigação se justifica pelos notórios desafios históricos de escassez hídrica e saneamento precário na região, e, ao estudar este tema busca avaliar como essas ações promovem conscientização, gestão sustentável da água e prevenção de doenças, além de poder identificar lacunas para outras pesquisas.

Nesta intenção, o objetivo geral é compreender como as comunidades rurais do Cariri cearense percebem, vivenciam e valorizam as ações educativas voltadas ao uso e cuidado com a água. Alcançar-se-á este objetivo a partir da análise dos dados numa abordagem que pretende conhecer um fenômeno com mais profundidade, qualitativamente, ou seja, entendendo que o foco está na compreensão das percepções, significados e experiências dos participantes, não na quantificação de dados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como referencial metodológico, utiliza-se a análise de conteúdo, conforme proposto por Bardin (2016). Esta ferramenta é reconhecida por sua robustez e ampla aplicação em pesquisas qualitativas no campo da educação. Para a coleta de dados, foi utilizado um questionário com perguntas abertas, cujas respostas foram posteriormente analisadas com base no mesmo referencial.

2.1. Coleta de Dados

Foi aplicado um questionário sobre território nos municípios: Aiuaba, Araripe, Arora, Baixio, Brejo Santo, Campos Sales, Caririaçu, Crato, Ipaumirim, Jardim, Lavras da Mangabeira, Mauriti, Missão Velha, Umari e Várzea Alegre. Cada cidade desta deveria escolher um território, ou seja, uma comunidade rural e aplicar três questões sobre tema educativo:

1. A comunidade recebe ou recebeu ações educativas sobre cuidados com a água?
2. Você considera que as ações educativas são importantes para manutenção dos sistemas de abastecimento de água e para a promoção da saúde? Por quê?
3. Sugira quais tipos de atividades e conteúdos podem ser abordados para melhorar o abastecimento de água e as condições de saúde na sua comunidade.

A elaboração deste questionário foi desenvolvida para alcançar o objetivo, que resumidamente é investigar a relação entre as comunidades e as ações educativas sobre o uso

da água. A primeira pergunta foi selecionada para diagnosticar se as comunidades têm acesso a iniciativas educacionais relacionadas ao uso da água, uma vez que a ausência desse acesso pode limitar a conscientização sobre práticas sustentáveis e impactar diretamente a gestão dos recursos hídricos. A segunda pergunta visa compreender o valor atribuído pelas pessoas a essas ações, analisando como elas percebem sua influência na saúde e na manutenção dos sistemas de abastecimento, o que permite avaliar a eficácia das campanhas já existentes. Por fim, a terceira pergunta foi incluída para coletar sugestões da própria comunidade sobre conteúdos e atividades educativas, valorizando os saberes locais.

A seleção dos municípios se deu, inicialmente por pertencerem a lista do Projeto Sustentar, que são 64 cidades no Ceará, mas estas 14, participam da região sul do estado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas dadas às perguntas sofreram interferências por fatores sociais, culturais e contextuais. Embora se saiba que poderiam ser mais assertivos, é possível traçar reflexões desta pesquisa. Quanto ao acesso a ações educativas (Pergunta 1), as respostas demonstram que a maioria das comunidades (10 de 15) relatou receber ações educativas. Cinco comunidades não têm acesso, e isso indica falhas graves na distribuição de iniciativas, fato que pode limitar a conscientização e a adoção de práticas sustentáveis.

Quanto ao valor atribuído às ações educativas (Pergunta 2) foi verificado que todas as comunidades, incluindo as que não recebem ações, reconhecem sua importância. Os principais motivos citados foram:

-Conscientização sobre o uso correto da água (ex.: armazenamento, consumo).

-Prevenção de doenças e promoção da saúde, especialmente para crianças e idosos.

-Melhoria da qualidade de vida e sustentabilidade dos sistemas de abastecimento.

Respostas como "é essencial para a saúde humana e ambiental" e "promove educação para o uso racional" destacam a ligação entre educação, saúde e gestão sustentável.

A última pergunta, que pedia sugestões para atividades educativas (Pergunta 3) apontou que 46,7% (7 comunidades) propuseram palestras ou oficinas, 20% (3 comunidades) mencionaram educação ambiental e 13,3% (2 comunidades) enfatizaram o envolvimento comunitário e parcerias locais, reforçando a demanda por abordagens participativas e contextualizadas. Alguns conteúdos foram citados como: Educação ambiental: Sugerida pelo

município de Jardim e Brejo Santo, com ênfase em saneamento e conservação. Envolvimento comunitário: Várzea Alegre propôs parcerias com associações locais e órgãos como Sisar para capacitações. Materiais didáticos: Lavras da Mangabeira destacou a distribuição de recursos educativos.

Os resultados acima podem indicar que, embora a maioria das comunidades (66,7%) tenha acesso a ações educativas sobre o uso da água, um terço ainda está excluído dessas iniciativas, revelando uma falha nos poderes públicos, federal, estadual e municipal, e nas empresas de saneamento, além das escolas e a sociedade como um todo. “Enquanto em áreas urbanas o percentual com alguma privação em saneamento básico aproxima-se de 28 %, no caso de áreas rurais esse percentual é de quase 92 %” (UNICEF, 2025). Esta afirmação mostra que, embora ações educativas sobre o uso da água estejam presentes em parte das comunidades rurais, sua efetividade ainda é comprometida por profundas desigualdades no acesso ao saneamento básico.

As sugestões das comunidades sobre atividades e conteúdos, carecem de respostas mais específicas, porém apontam para a necessidade de abordagens diversificadas e participativas. A preferência por palestras e oficinas (46,7%) indica que formatos tradicionais ainda são relevantes, mas a ênfase em educação ambiental (20%) e envolvimento comunitário (13,3%) demonstra um desejo por estratégias mais práticas e contextualizadas. Isso sugere que as ações educativas podem ser mais eficazes quando combinam informação técnica com engajamento local, como parcerias com associações e órgãos públicos. A presença dessas demandas educacionais ressalta a importância de políticas públicas adaptadas às realidades locais sobre saneamento básico, capazes de integrar saberes comunitários para garantir maior adesão e impacto mais duradouro quanto às questões da água e, por consequência, na saúde coletiva.

Em três momentos, o Sistema Integrado de Saneamento Rural - Sisar, foi citado. Este formato de gestão comunitária de abastecimento de água, que atua especificamente fora da zona urbana, tem como desafio “ofertar palestras de educação sanitária, uso racional dos recursos hídricos e outras atividades relativas à capacitação social” (SISAR, 2025).

O acesso à água potável em quantidade suficiente para atender às necessidades humanas, em condições aceitáveis e acessíveis — tanto física quanto economicamente — configura-se como um direito. Esse princípio está explicitamente previsto na Declaração Universal dos Direitos Humanos (UN-WATER, 1948).

No âmbito do campo, a frequente carência de água afeta negativamente processos educativos em sentido amplo, tanto no ambiente escolar quanto em iniciativas de educação não formal, como cursos, oficinas, palestras e encontros promovidos por associações comunitárias ou órgãos públicos.

Nesta mesma linha de pensamento pode-se concluir que a educação gera impacto na aprendizagem e responsabilidade com o uso da água e valorização

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto Sustentar Rural é de extrema relevância, e através deste modelo de capacitação de multiplicadores, pode-se alcançar muitas comunidades que, conforme apresentado nessa pesquisa, não receberam ações educativas específicas com este objetivo. 75% dos entrevistados vinculam ações educativas à prevenção de doenças, enquanto 25% das localidades não recebem nenhuma iniciativa. As ações estruturais são importantes, mas estas ações estruturantes, em alguma medida, podem modificar os comportamentos, capacidades e visões políticas, criando condições para mudanças sustentáveis ou minimamente provocar reflexões críticas em suas comunidades. Embora a maioria das comunidades tenha contato com ações educativas, a ausência em algumas localidades revela a necessidade de expandir iniciativas para garantir mais igualdade. As sugestões das comunidades apontaram que são importantes os métodos participativos (oficinas, palestras, roda de conversa etc.) e contextualizados e sempre alinhados às necessidades locais.

O projeto Sustentar Rural, ao capacitar multiplicadores por meio de métodos participativos e contextualizados, assume um papel importante na transformação das comunidades rurais. No entanto, como adverte Paulo Freire, “se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda” (FREIRE, 2020, p. 67). Esse pensamento ressalta que, mesmo onde exista contato educativo, a ausência de iniciativas em algumas localidades e a precariedade das condições estruturais limitam o alcance e a profundidade dessas ações, tornando essencial sua ampliação para promover igualdade e sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) pelo financiamento e execução do Projeto Sustentar Rural no Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. *Programa Nacional de Saneamento Rural*. Brasília: MDR, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/programa-nacional-de-saneamento-rural. Acesso em: 9 ago. 2025.

CALVO, M. C. M. et al. *Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde*. Epidemiol. Serv. Saude, Brasília, v. 25, n. 4, p. 767-776, out.-dez. 2016.

FREIRE, Ana Maria Araújo**.** *Pedagogia da indignação: cartas pedagógicas e outros escritos.* São Paulo: Editora Unesp, 2000.

PEREIRA, Jane Paulino; PIFANO, Daniel Salgado. *A educação não formal no saneamento rural: uma reflexão a partir da obra de Maria da Glória Gohn*. In: SUSTENTARE & WIPIS, 2024, Campinas, SP. E-book de resumos completos. Campinas, SP: [Instituição responsável], 2025. https://www.even3.com.br/ebook/sustentare-wipis-2024-e-book-520448/1069828-A-EDUCACAO-NAO-FORMAL-NO-SANEAMENTO-RURAL--UMA-REFLEXAO-A-PARTIR-DA-OBRA-DE-MARIA-DA-GLORIA-GOHN. Acesso em: 30 jul. 2025.

SISAR. Institucional. Acesso em: 16 ago. 2025. http://sisar.org.br/institucional

UNICEF. *UNICEF lança iniciativa para ampliar acesso à água e ao saneamento em escolas rurais de Caucaia, no Ceará*. Fortaleza: UNICEF, 7 fev. 2025. Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/unicef-lanca-iniciativa-para-ampliar-acesso-a-agua-e-ao-saneamento-em-caucaia-ceara. Acesso em: 16 ago. 2025.

UN-WATER. *Human Rights to Water and Sanitation***.** Acesso em 9 ago. 2025. https://www.unwater.org/water-facts/human-rights-water-and-sanitation.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113078

ESTUDO ECOTOXICOLÓGICO DA ÁGUA DO RIO BATATEIRAS EM JUAZEIRO DO NORTE – CE

ECOTOXICOLOGICAL STUDY OF THE WATER FROM THE BATATEIRAS RIVER IN JUAZEIRO DO NORTE, CE

ESTUDIO ECOTOXICOLÓGICO DEL AGUA DEL RÍO BATATEIRAS EN JUAZEIRO DO NORTE, CE

Andriely Tiburtino Leite Chaves[1], André Alencar Oliveira[2], Isabel Cardoso da Silva Ferreira[3] e Janisi Sales Aragão[4].

[1]Mestranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil, tiburtino.andriely@gmail.com, 0009-0006-8747-4875;
[2]Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil, andre.alencar03@aluno.ifce.edu.br, 0009-0005-2507-4190;
[3] Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil, cardoso.ferreira08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0001-8861-361;
[2]Doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, janisi.aragao@ifce.edu.br, 0000-0002-5756-5067

Eixo Temático 07 – Agricultura
Impactos do saneamento na qualidade do solo e água.
Eje Temático 05 – Agricultura
Impactos del saneamiento en la calidad del suelo y del agua.
Thematic Axis 05 – Agriculture
Impacts of sanitation on soil and water quality.

RESUMO

Os rios são fundamentais para o abastecimento humano, agricultura, pesca e equilíbrio dos ecossistemas, mas sofrem pressão constante devido à expansão urbana e agrícola, principalmente em áreas sem saneamento básico adequado. Nesse contexto, o Rio Batateiras, localizado em Juazeiro do Norte – CE, apresenta sinais de degradação em todo o seu percurso. Com isso, o objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade de um trecho do rio Bataterias em Juazeiro do Norte, por meio de análises físico-químicas e ecotoxicológicas, usando sementes de couve e pepino. As coletas foram realizadas em junho e julho de 2025, e analisados os parâmetros: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo, amônia e demanda química de oxigênio (DQO), além da germinação e índice de crescimento relativo das sementes seguindo protocolo adaptado da EPA (1996). Os resultados mostraram que alguns parâmetros físico-químicos estavam fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2, como o oxigênio dissolvido, fósforo e a amônia. Já nos testes ecotoxicológicos, respostas variadas de estímulo e inibição foram observados. Evidencia-se que a ampliação dessa pesquisa com novos locais de estudo, será necessária par obtenção de resultados mais claros a cerca da qualidade da água do rio Bataterias.

Palavras-chave: Bioensaios, Sementes, Poluição hídrica.

RESÚMEN

Los ríos son esenciales para el abastecimiento de agua para la humanidad, la agricultura, la pesca y el

equilibrio ecosistémico, pero se encuentran bajo constante presión debido a la expansión urbana y agrícola, especialmente en zonas sin saneamiento adecuado. En este contexto, el río Batateiras, ubicado en Juazeiro do Norte, Ceará, muestra signos de degradación a lo largo de todo su curso. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de un tramo del río Bataterias en Juazeiro do Norte mediante análisis físico-químicos y ecotoxicológicos, utilizando semillas de col rizada y pepino. Se recolectaron muestras en junio y julio de 2025, y se analizaron los siguientes parámetros: pH, turbidez, oxígeno disuelto, fósforo, amoníaco y demanda química de oxígeno (DQO), así como la germinación de las semillas y el índice de crecimiento relativo, siguiendo un protocolo adaptado de la EPA (1996). Los resultados mostraron que algunos parámetros fisicoquímicos, como el oxígeno disuelto, el fósforo y el amoníaco, se encontraban fuera de los límites establecidos por la Resolución CONAMA 357/2005 para aguas de Clase 2. En las pruebas ecotoxicológicas, se observaron diversas respuestas de estímulo e inhibición. Es evidente que será necesario ampliar esta investigación a nuevos sitios de estudio para obtener resultados más claros sobre la calidad del agua del río Bataterias.

Palabras clave: Bioensayos, Semillas, Contaminación del agua.

ABSTRACT

Rivers are essential for human water supplies, agriculture, fishing, and ecosystem balance. However, they face constant pressure from urban and agricultural expansion, especially in areas without adequate sanitation. The Batateiras River in Juazeiro do Norte, Ceará, shows signs of degradation along its entire course. This study aimed to evaluate the quality of a stretch of the Batateiras River in Juazeiro do Norte. Physical-chemical and ecotoxicological analyses were performed using kale and cucumber seeds. Water samples were collected in June and July 2025. Parameters analyzed included pH, turbidity, dissolved oxygen, phosphorus, ammonia, and chemical oxygen demand. Germination and relative growth index of the seeds were assessed using a protocol adapted from the EPA (1996). Results showed that some physical-chemical parameters exceeded the limits established by CONAMA Resolution 357/2005 for Class 2 waters, including dissolved oxygen, phosphorus, and ammonia. Ecotoxicological tests revealed varied stimulus and inhibition responses. Expanding this research to new study sites is necessary to obtain more accurate results regarding the water quality of the Batateiras River.

Keywords: Bioassays, Seeds, Water pollution.

INTRODUÇÃO

Os rios são objeto de grande valor econômico, social e de atração populacional ao longo dos anos através das construções das cidades, e tornaram-se um dos principais requisitos para ocupação, sendo fonte de abastecimento responsáveis por subsidiar a demanda hídrica (Kobiyama, 2003). Todavia, devido aos múltiplos usos e ocupação do solo, como intensificação das áreas urbanas e agrícolas, observa-se diferentes graus de risco aos recursos hídricos, sendo essas atividades, as principais responsáveis pela degradação da qualidade da água ao redor do globo (De Mello et al., 2020).

Para as zona rurais, os rios tem grande importância, pois são utilizados para diversos usos, como irrigação, lavoura, dessendetação de animais e usos domésticos (Ortiz et al, 2024). Por outro lado, a ausência ou insuficiência de sistemas de saneamento nessas regiões

compromete a qualidade desses recursos. Além disso, os rios que atravessam áreas urbanas, especialmente aquelas onde o saneamento básico é precário, recebem elevadas cargas de poluentes de origem doméstica e industrial. Dessa forma, ao alcançarem a zona rural, essas águas transportam consigo uma variedade de contaminantes, ampliando os riscos de degradação ambiental e a exposição das comunidades rurais a agentes nocivos.

Ortiz et al (2024), revela em seu estudo sobre a qualidade da água de uma microbacia com uso urbano e rural em Santa Catarina, que os valores nos parâmetros da água entre as áreas de nascente e do perímetro urbano indicaram uma significativa pressão ambiental decorrente dos diferentes usos da terra nas margens do rio. Os autores também observaram interferência na qualidade da água na zona rural, em razão da baixa capacidade de depuração de efluentes e a sensibilidade do corpo hídrico às cargas despejadas ao longo da ocupação urbana.

Nesse contexto, a região do Cariri Cearense, apesar de ser uma região em pleno desenvolvimento, rica em diversidade ambiental e cultural, tem muitos desafios a serem enfrentados, sobretudo no que diz respeiro às questões ambientais, em razão da deficiência nos serviços de saneamento básico.

Em Juazeiro do Norte por exemplo, Brito (2022) afirma, que apesar do município apresentar um crescimento populacional significativo nos últimos anos, ainda assim, houveram poucos avanços no quesito índice de cobertura do sistema de esgotamento sanitário (Leite et al., 2024). Como consequência, alguns artigos relatam a baixa qualidade dos rios e riachos que nascem ou atravessa o município (Moreira *et al*., 2023; Lima *et al.*, 2020).

O Rio Batateiras que nasce na Chapada do Araripe, no município do Crato, e dá origem ao rio Salgado, um dos principais afluentes da sub-bacia do Salgado (CPRM, et al., 2005), exemplifica a fragilidade da gestão dos recursos hídricos na região. Ao longo de seu percurso, esse rio tem sido submetido a diversas interferências antrópicas que comprometem sua qualidade ambiental, potencializando os riscos à integridade ecológica e ao uso sustentável.

Sendo assim, estudos ecotoxicológicos são ferramentas essenciais para a avaliar a qualidade das águas, pois dão suporte para enfrentar os problemas de contaminação dos corpos hídricos por compostos tóxicos, sinalizando os mecanismos de ação em organismos vivos, por meio da relação entre concentração e efeito dos organismos nos ambientes impactados (Peduto; Jesus; Kohatsu, 2019), algo que análises físico-químicas isoladamente não conseguem abranger. Para isso, vários organismos podem ser utilizados, como as microalgas, os microcrustáceos, minhocas, além de sementes de vegetais superiores como cebola, alface,

macrófitas aquáticas, dentre outros.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água de um trecho do rio Batateiras em Juazeiro do Norte, por meio da análise de germinação e crescimento ds radículas de sementes de pepino (*Cucumis sativus)* e couve (*Brassica oleracea).*

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em um trecho do Rio Batateiras, localizado na cidade de Juazeiro do Norte, ao sul do estado do Ceará. A figura 1 apresenta o ponto de coleta com coordenadas geográficas 7°11 '26,44 "S e 39°16' 26,44"O, apesar de não estar inserido na zona rural do municipio, o ambiente apresenta caracteristicas semelhantes as rurais. Nesse trecho, a água é utilizada para fins de agricultura familiar e atividade de pesca, sendo observadas bombas de captação instaladas às margens do rio (Figura 1), o que reforça a importância de avaliar sua qualidade ambiental para seus devidos fins.

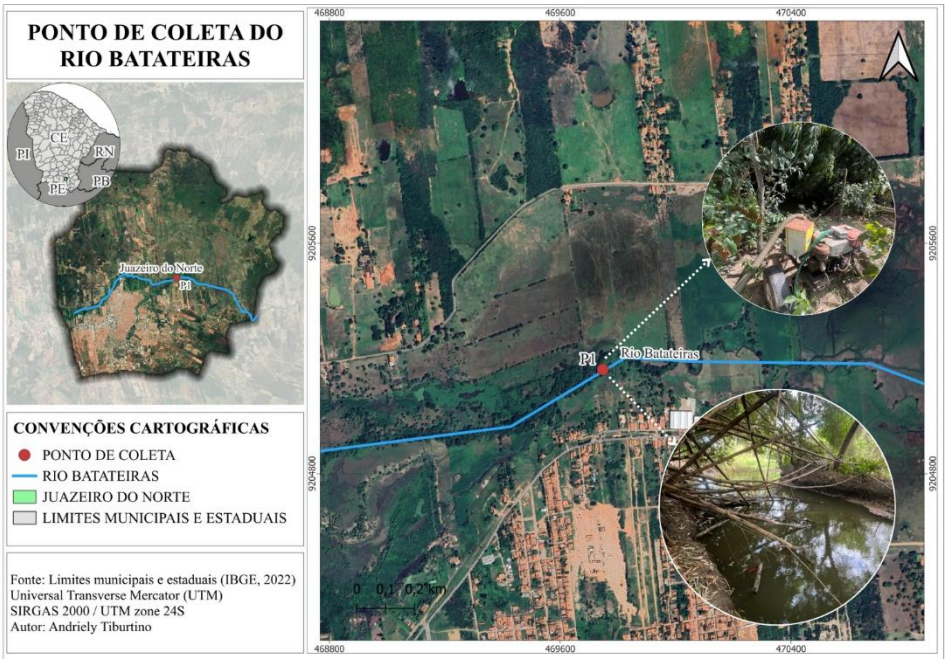


Figura 1: Ponto de coleta do Rio Batateiras.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Foram realizadas duas coletas nos meses de junho e julho de 2025, e para realização das análises as amostras foram transportadas ao laboratório do IFCE – Campus Juazeiro do Norte. As amostras foram submetidas a determinação de parâmetros físico-químicos: pH, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Frações Nitrogenadas, Demanda Química de Oxigênio- DQO e Fósforo. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), adotando-se o enquadramento do

corpo hídrico como Classe 2, visto que o Rio Batateiras não possui uma classificação pré-definida.

A avaliação ecotoxicológica foi realizada por meio de testes de fitotoxicidade, utilizando sementes de *Cucumis sativus* (pepino) e *Brassica oleracea* (couve) da empresa Isla®. O teste foi realizado em triplicata, como controle negativo utilizou-se água destilada e como controle positivo o sulfato de zinco 1%.

Os testes de fitotoxicidade seguiram a metodologia estabelecida pela EPA (1996), com adaptações. As sementes foram colocadas em água destilada por 30 minutos para quebra de dormência. Em seguida, transferidas 10 sementes para placas de Petri forradas com papel filtro e 4 mL da amostra. Após embaladas, incubadas em estufa tipo B.O.D a 25ºC±2º por 120 horas. Após esse período foi realizada a medição do alongamento das radículas com paquímetro digital e calculados o Índice de Crescimento Relativo (ICR) e Índice de Germinação (IG):

O **Índice de Crescimento Relativo (ICR)**, alongamento das radículas (mm), calculado através da equação 3 (Zucconi *et al., 1981 apud* Tiquia *et al.*, 1996):

$$ICR = \frac{CRa}{CRc} \qquad \text{eq.(1)}$$

Onde:

CRa = comprimento da radícula na amostra;

CRc = comprimento da radícula no controle negativo.

Os efeitos da toxicidade, em termos de ICR, foram divididos em três categorias: a) inibição da taxa de alongamento radicular: $0 < ICR < 0{,}8$; b)Sem efeitos significativos: $0{,}8 \leq ICR \leq 1{,}2$; e c) Estimulação da taxa de alongamento: $ICR > 1{,}2$.

O **Índice de Germinação (%IG)**, relação entre o alongamento das radículas e germinação das sementes em comparação ao controle negativo (%), calculado através da equação 2 (Tiquia *et al.*, 1996):

$$IG(\%) = \frac{\%\,GA\ x\ \%ICR}{100} \qquad \text{eq.(2)}$$

Onde:

GA= razão entre sementes germinadas na amostra e germinadas no controle.

Os efeitos da toxicidade, em termos do IG, foram divididos em três categorias: a) Alta fitotoxicidade: $0 < IG < 50\%$; b) Fitotoxicidade moderada: $50\% \leq IG \leq 80\%$; e c) Não fitotóxico: $IG > 80\%$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises físico-químicas apresentaram um quadro de comprometimento da qualidade da água, conforme apresentado na tabela 1. O pH (7,2 e 7,5) se manteve dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005, entre 6 e 9, não performando como um parâmetro crítico. A turbidez (27,33 UTN e 41 UTN) apresentou valores dentro do permitido, porém, relativamente elevados, indicando a presença de sólidos suspensos, microrganismos e matéria orgânica no corpo hídrico (Araújo *et al.*, 2022).

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos da água do rio Batateiras em Juazeiro do Norte.

Parâmetros Fisico-Quimicos			
	CONAMA 357/05	**Teste 1**	**Teste 2**
pH	6 à 9	7,2	7,5
Turbidez	100 UTN	27,33	41
T (°C)	-	25,1	25,7
OD (mg/L)	> 5mg/L	2,8	1,4
DQO(mgO2/L	-	9,29	14,55
Fósforo Total (mg/L P)	0,1 mg/L P	0,15	0,17
Amônia (mg/L N)	3,7 mg/L N para pH 7,5	9,8	11,36
Nitrito (mg/L N)	1,0 mg/l N	0,048	0,185
Nitrato (mg/L N)	10 mg/L N	0,185	0,185

Fonte: Autoria própria, 2025.

Entretanto, os níveis de de oxigênio dissolvido (2,8 mg/L e 1,4 mg/L) ficaram bem abaixo do valor mínimo exigido para as águas de classe 2 (≥ 5 mg/L), tornando o corpo hídrico um ambiente possivelmente hipóxico e comprometendo a manutenção da vida aquática do local. Esse parâmetro está diretamente relacionado a DQO (9,29 mgO_2/L e 14,55 mgO_2/L), que apresentou valores elevados, o que segundo Fiorese *et al*. (2019), isso pode ser indicativo de alta presença de matéria orgânica no local. Essa condição aumenta a demanda bioquímica e intensifica o estresse sobre os organismos aquáticos, potencializando os efeitos fitotóxicos observados posteriormente.

O Fósforo total (0,15 mg/L P e 0,17 mg/L P), apesar de indispensável para o crescimento de algas, apresentou valores acima do permitido, podendo favorecer o crescimento exagerado desses organismos e causando a eutrofização do corpo hídrico. Pinheiro (2019) relata sobre aumento dos níveis de fósforo no período chuvoso devido a maior taxa de escoamento superficial.

A amônia (9,8 e 11,36 mg/L N) ultrapassou os limites estabelecidos nos dois testes,

conforme a CONAMA em ambientes com o pH≤7,5 o valor limite estabelecido é 3,7 mg N/L. A superioridade dessa parâmetro em relação às frações nitrogenadas como nitrito (0,048 e 0,089 mg/L N) e nitrato (0,185 e 0,185 mg/L N), evidencia a presença de contaminações recentes no corpo hídrico, possivelmente associada ao lançamento constante de esgotos domésticos ou agrícolas (Von Sperling, 2014).

Em relação aos testes de fitotoxidades, foi observado divergências entre as duas espécies utilizadas, conforme apresentado na tabela 2. Enquanto a couve apresentou em ambas coletas, estimulação do alongamento das radículas, conforme indicado pelo Índice de Crescimento Relativo (ICR), as sementes de pepino, não apresentaram nenhum efeito significativo em relação ao crescrimento. Porém, em relação ao Índice de Germinação (%IG), estes, apresentaram efeito fitotóxico moderado.

Tabela 2: Análise de fitotoxicidade da água do rio Batateiras em Juazeiro do Norte.

	Semente	***ICR***	***Efeito***	***IG(%)***	***Efeito***
Teste 1	Couve	1,50	Estimulação do crescimento	156,16	Não fitotóxico
	Pepino	0,86	Sem efeito significativo	62,64	Fitotoxicidade moderada
Teste 2	Couve	1,59	Estimulação do crescimento	184,65	Não fitotóxico
	Pepino	0,90	Sem efeito significativo	76,92	Fitotoxicidade moderada

Fonte: Autoria própria, 2025.

O estímulo observado na couve, pode estar relacionado ao fenômeno de hormese, o qual ocorre quando uma substância tóxica, em concentrações inferiores às que normalmente apresentariam efeitos adversos, promove um desenvolvimento da planta (Hartmannque, 2017). Tal comportamento é evidenciado pelas taxas de Índice de Crescimento Relativo, sugerindo que a água coletada contribuiu para a estimulação do crescimento dessa espécie.

Entretanto, a mesma amostra, foi responsável por causar um efeito fitotóxico moderado nas sementes de pepino. A diferença de resposta entre espécies, ocorre devido a variação de sensibilidade fisiológica existente entre as diferentes espécies em relação aos organismos e os contaminantes existentes no meio, o que também é relatado em outros estudos comparativos entre bioindicadores vegetais (Peduto; Jesus; Kohatsu, 2019; Pereira, 2024; Arsand *et al.*, 2022). Resultados semelhantes também foram observados por Oliveira *et al*. (2025), ao avaliar a fitotoxicidade em um córrego utilizando sementes de couve, e essas apresentarem um efeito estimulante, justificado pelo teor elevado de fósforo na amostra de água favorecendo seu crescimento.

Dessa forma, quando relacionados com os resultados físico-químicos obtidos com os bioensaios, supõe-se que parâmetros como oxigênio dissolvido e DQO podem estar diretamente relacionados com os efeitos fitotóxicos observados nas sementes de pepino, enquanto o excesso de nutrientes apontados nos parâmetros de fósforo e amônia, podem ter contribuído para o efeito estimulante observados nas sementes de couve.

Em relação ao uso na agricultura, embora a presença de nutrientes possa favorecer o crescimento de algumas espécies vegetais, o uso contínuo dessa água para irrigação pode ocasionar o acúmulo de contaminantes no solo e nas culturas, comprometendo a qualidade dos alimentos e a saúde humana. Quanto à pesca, os baixos níveis de oxigênio dissolvido constituem fator limitante para a sobrevivência da fauna, reduzindo a disponibilidade de peixes.

Dessa forma, a integração dos resultados evidencia que a água do trecho analisado não atende aos requisitos estabelecidos pela legislação ambiental brasileira CONAMA 357/2005 e não garante a segurança para os usos múltiplos aos quais está destinada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciaram que a água analisada do trecho do Rio Batateiras apresenta comprometimento tanto físico-químico quanto ecotoxicológico. E embora algumas espécies apresentem estímulo de crescimento, outras apresentam inibição, evidenciando a importância do uso de múltiplos organismos testes. Vale salientar que esta pesquisa terá continuidade contemplando análises neste e em outros pontos do Rio Batateiras, bem como a utilização de diferentes organismos-teste, de modo a ampliar a compreensão sobre a qualidade ambiental do corpo hídrico.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap); Ao Núcleo de Estudos Ambientais (NEA), Ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) do IFCE Campus Juazeiro do Norte; e Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPGMA) do IFCE-Campus Juazeiro do Norte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, L. F. de, F. P. Camargo, A. T. Netto, N. S. Vernin, and R. C. de Andrade. 2022. "Analysis of the Coverage of Supply and of the Water Quality Distributed in Different Regions of Brazil in 2019." *Ciencia e Saude Coletiva* 27 (7): 2935–47.

https://doi.org/10.1590/1413-81232022277.16472021.

Arsand, D., M. H. Antunes, G. A. Martins, M. D. Gerber, and É. K. Corrêa. 2022. "Evaluation of Phytotoxic, Cytotoxic, and Genotoxic Potential of Hemodialysis Effluent." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 27 (2): 269–77. https://doi.org/10.1590/S1413-415220200320.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. *Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Brito, M. G. S. L. 2022. *Esgotamento sanitário: Estudo aplicado para fins de revisão do Plano Diretor Municipal de Juazeiro do Norte (PDM/JN).*

de Mello, K., R. H. Taniwaki, F. R. de Paula, R. A. Valente, T. O. Randhir, D. R. Macedo, C. G. Leal, C. B. Rodrigues, and R. M. Hughes. 2020. "Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil." *Journal of Environmental Management* 270: 110879. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879.

Fiorese, C., D. Andrade, E. Agrizzi, and H. Torres. 2019. "Análise Preliminar dos Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos das Águas do Córrego Paraíso – Trecho Urbano do Distrito de Vieira Machado, em Muniz Freire-ES." *Agrarian Academy* 6 (11): 22–34. https://doi.org/10.18677/agrarian_academy_2019a3.

Hartmann, K. C. D., A. M. T. Fortes, F. D. R. Casso, R. Valmorbida, and L. C. de Mendonça. 2017. "Atividade Alelopática de Espécies Invasoras sobre a Germinação e o Desenvolvimento Inicial de Arbórea Nativa." *Floresta* 47 (3): 229–35. https://doi.org/10.5380/rf.v47i1.50222.

Kobiyama, M., M. Mendonça, D. A. Moreno, I. P. V. de Oliveira, M. Emerson, and V. Marcelino. 2006. "Prevenção de Desastres Naturais-Conceitos Básicos.".

Leite, M. das D. M. de S., F. S. da S. Melo, A. M. L. Gouveia, D. C. Nascimento, and F. R. M. Silva. 2024. "Saneamento básico em Juazeiro do Norte e Sobral, 'capitais regionais' do interior do Ceará." *Revista do Desenvolvimento Regional – Faccat* 21 (2): 1–15.

Lima, M. D. M., M. A. P. Santos, A. R. Junior, and Y. T. da C. Santos. 2020. "Influência do Efluente Tratado sobre o Fitoplâncton em Trecho Urbanizado de Rio em Juazeiro do Norte, Ceará." *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 15 (1): 83–92. https://doi.org/10.18378/rvads.v15i1.6942.

Moreira, P. B. A., F. A. Damasceno, L. F. dos Santos, V. A. P. da Luz, M. G. de S. Lima, and A. P. N. Bandeira. 2023. "Avaliação do Impacto do Lançamento de Efluentes sobre a Qualidade de Água de Ambientes Lênticos: O Exemplo da Lagoa dos Macacos, Juazeiro do Norte - CE." *Geociências* (2023). https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/171

31/12947.

Oliveira, P. H. da S., E. M. da Silva, A. Oliva, A. do O. Santos, and A. G. da Silva. 2025. "Análise do Desempenho de Sementes de Brassica oleracea e Lactuca sativa na Determinação da Fitotoxicidade do Chamagunga, Porto Seguro - BA." *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)*.

Ortiz, N. M. R., G. F. Ribeiro, J. E. Proença, H. M. de Oliveira, S. P. da Cruz, and J. Stolberg. 2024. "Qualidade Físico-Química e Microbiológica da Água em Microbacia com Uso Urbano e Rural no Planalto de Santa Catarina, Brasil." *Revista Ambientes em Movimento* 4 (1).

Peduto, T. A. G., T. A. de Jesus, and M. Y. Kohatsu. 2019. "Sensibilidade de Diferentes Sementes em Ensaio de Fitotoxicidade." *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação* 4 (2): 200. https://doi.org/10.18554/rbcti.v4i2.3698.

Pereira, P. C. 2024. "Eficácia de Controle, Ecotoxicologia para Organismos Bioindicadores Aquáticos e Terrestres, Potencial de Volatilidade Aparente e Deriva do Herbicida Dicamba." Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal.

Pinheiro, D. C., E. C. Saldanha, and C. do N. Monte. 2019. "Índice de Estado Trófico e a Proveniência do Fósforo e Clorofila-a em Diferentes Estações do Ano em uma Microbacia Amazônica." *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 10 (5): 89–100. https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2019.005.0009.

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2005. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Juazeiro do Norte, estado do Ceará.* Fortaleza: CPRM/PRODEEM. https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16723.

Tiquia, S. M., N. F. Y. Tam, and I. J. Hodgkiss. 1996. "Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter." *Environmental Pollution* 93 (3): 249–56. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00052-8

United States Environmental Protection Agency (EPA). 1996. *OPPTS 850.4200 seed germination/root elongation toxicity test.* April 1996, 6 p.

Von Sperling, M. 2014. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 4th ed. Belo Horizonte: UFMG.

Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. De Bertoldi. 1981. "Evaluating toxicity of immature compost." *Biocycle* 22: 54–57 apud Tiquia, S. M., N. F. Y. Tam, and I. J. Hodgkiss. 1996. "Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter." *Environmental Pollution* 93 (3): 249–56. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00052-8.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113096

EXPERIÊNCIA EXTENSIONISTA SOBRE O RIO CACHOEIRA, ITABUNA/BAHIA

EXPERIENCIA DE EXTENSIÓN EN EL RÍO CACHOEIRA, ITABUNA/BAHÍA

EXTENSION EXPERIENCE ON THE CACHOEIRA RIVER, ITABUNA/BAHIA

Maria Fernanda Dourado Martins[1], Felipe Andrade Alcântara Rocha[2], Fabiana de Matos Costa[3] e Nadson Ressyé Simões[4]

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Bahia, Brasil, mariafernanda@gfe.ufsb.edu.br, 0000-0001-9293-9004;
[2]Graduando em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Bahia, Brasil, felipeandradealcantararocha@gmail.com, 0009-0003-7467-3005;
[3]Doutorado em Botânica, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Bahia, Brasil, fabicosta.bio@gmail.com, 0000-0001-7892-5036;
[4]Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Bahia, Brasil, ressye@gmail.com, 0000-0002-4577-9033.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Educación ambiental y concientización sobre saneamiento.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo relatar experiências obtidas a partir de atividades de um projeto de extensão universitária da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), desenvolvidas por docente, servidor e discentes de distintos cursos de graduação e pós-graduação. O projeto de extensão "Revelando a biodiversidade de microrganismos aquáticos do Rio Cachoeira como estratégia de conservação ambiental" foi iniciado em fevereiro de 2025 e encontra-se em andamento. Com o intuito de enaltecer o Rio Cachoeira e aproximar os estudantes do ensino médio do Município de Itabuna/BA do conhecimento científico, foram elaborados e utilizados os seguintes métodos: exposições fotográficas das espécies registradas no rio; jogos educativos, como jogo de tabuleiro sobre o processo de autodepuração fluvial, jogos de memória e de colorir com organismos aquáticos (zooplâncton, fitoplâncton e macroinvertebrados bentônicos); e um jogo "Super Trunfo", no qual atributos como tolerância à poluição, frequência e relevância biológica foram representados como "poderes", permitindo aos estudantes compreender, de forma lúdica, conceitos sobre a função natural desses organismos. Para a construção do material, foi utilizado como base dados obtidos através de pesquisas desenvolvidas na área pela equipe do Laboratório de Estudos e Conservação de Sistemas Aquáticos (LECSA). As ações também contemplaram atividades práticas, como a observação de espécies do fitoplâncton e zooplâncton em microscópios ópticos, e de macroinvertebrados bentônicos em esteroscópios, oferecendo para a maioria dos estudantes o primeiro contato com a biodiversidade microscópica. Os estudantes também tiveram acesso a equipamentos de amostragem e análise laboratorial, como sonda multiparâmetro, vidrarias, guias de identificação e redes específicas,

o que possibilitou a compreensão de métodos de pesquisa para a avaliação da qualidade da água. Os resultados demonstraram que houve aproximação entre a universidade e a comunidade escolar, atingindo cerca de 250 estudantes, fortalecendo assim a divulgação científica e gerando reflexões sobre a relação entre ações humanas e a integridade dos ecossistemas. Além disso, os materiais produzidos têm potencial de adaptação a outras áreas e outras comunidades escolares, de modo a expandir a divulgação científica e consolidar práticas de conscientização sobre os desafios do saneamento no Brasil. Dessa forma, a experiência contribuiu para a valorização do rio e potencializou o papel da extensão universitária como instrumento de transformação, ressaltando a importância da responsabilidade compartilhada pela conservação local, cujo bem-estar repercute diretamente sobre a saúde humana e a resiliência regional, além de reforçar a educação ambiental como pilar para a gestão integrada dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Educação ambiental, Extensão universitária, Participação social, Recursos hídricos

RESÚMEN

Este artículo informa sobre las experiencias desarrolladas en un proyecto de extensión universitaria en la Universidad Federal del Sur de Bahía (UFSB), con la participación de docentes, personal administrativo y estudiantes de diversos programas de grado y posgrado. El proyecto, titulado "Revelando la biodiversidad de microorganismos acuáticos en el río Cachoeira como estrategia de conservación ambiental", comenzó en febrero de 2025 y se encuentra actualmente en marcha. Su objetivo es enriquecer el río Cachoeira introduciendo a estudiantes de secundaria del Municipio de Itabuna, Bahía, al conocimiento científico y a los métodos utilizados para comprender la biodiversidad acuática. Para ello, se crearon exposiciones fotográficas y juegos educativos, como un juego de mesa sobre el proceso de autopurificación del río, juegos de memoria y para colorear con organismos acuáticos (zooplancton, fitoplancton y macroinvertebrados bentónicos), y un juego "Super Trunfo", en el que atributos como la tolerancia a la contaminación, la frecuencia y la relevancia biológica se representaron como "poderes", lo que permitió a los estudiantes comprender de forma lúdica conceptos sobre la función natural de estos organismos. El material se desarrolló utilizando datos y resultados de investigación del Laboratorio de Estudios y Conservación de Sistemas Acuáticos (LECSA). Las actividades también incluyeron actividades prácticas con lupas y microscopios, ofreciendo a muchos participantes su primera experiencia con la diversidad invisible a simple vista. Los estudiantes tuvieron acceso a equipos de recolección y análisis, como una sonda multiparamétrica, cristalería, guías de identificación y redes específicas, lo que les permitió experimentar parte del proceso de evaluación de la calidad del agua. Los resultados demostraron una relación más estrecha entre la universidad y la comunidad escolar, alcanzando a aproximadamente 250 estudiantes, fortaleciendo la divulgación científica y fomentando la reflexión sobre la relación entre las acciones humanas y la integridad de los ecosistemas. Además, los materiales producidos tienen el potencial de adaptarse a otras realidades y comunidades escolares, ampliando su alcance y consolidando prácticas de sensibilización sobre los desafíos del saneamiento en Brasil. De esta forma, la experiencia contribuyó a la valorización del río y consolidó el papel de la extensión universitaria como instrumento de transformación, destacando la importancia de la responsabilidad compartida en la conservación local, cuyo bienestar impacta directamente en

la salud humana y la resiliencia regional, además de reforzar la EA como pilar para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Palabras clave: Educación ambiental, Extensión universitaria, Participación social, Recursos hídricos

ABSTRACT

This paper reports on the experiences developed in a university extension project at the Federal University of Southern Bahia (UFSB), involving faculty, staff, and students from various undergraduate and graduate programs. The extension project, entitled "Revealing the biodiversity of aquatic microorganisms in the Cachoeira River as an environmental conservation strategy," began in February 2025 and is currently underway. It aims to enhance the Cachoeira River by introducing high school students from the Municipality of Itabuna, Bahia, to scientific knowledge and the methods used to understand aquatic biodiversity. To this end, photographic exhibitions and educational games were created, such as a board game about the river's self-purification process, memory and coloring games featuring aquatic organisms (zooplankton, phytoplankton, and benthic macroinvertebrates), and a "Super Trunfo" game, in which attributes such as pollution tolerance, frequency, and biological relevance were represented as "powers," allowing students to playfully understand concepts about the natural function of these organisms. The material was developed using data and research results from the Laboratory for Studies and Conservation of Aquatic Systems (LECSA). The activities also included hands-on activities with magnifying glasses and microscopes, offering many participants their first exposure to the diversity invisible to the naked eye. Students had access to collection and analysis equipment, such as a multiparameter probe, glassware, identification guides, and specific nets, allowing them to experience part of the water quality assessment process. The results demonstrated a closer relationship between the university and the school community, reaching approximately 250 students, strengthening scientific outreach and sparking reflection on the relationship between human actions and ecosystem integrity. Furthermore, the materials produced have the potential to be adapted to other realities and other school communities, expanding their reach and consolidating awareness-raising practices regarding sanitation challenges in Brazil. Thus, the experience contributed to the appreciation of the river and consolidated the role of university extension as an instrument of transformation, highlighting the importance of shared responsibility for local conservation, whose well-being directly impacts human health and regional resilience, in addition to reinforcing EA as a pillar for integrated water resource management.

Keywords: Environmental education, University extension, Social participation, Water resources

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O Rio Cachoeira é um elemento central para a biodiversidade aquática e para a população do sul da Bahia, uma vez que suas águas são utilizadas no abastecimento público,

na dessedentação de animais e na subsistência das comunidades ribeirinhas (Silva et al. 2023). Entretanto, a paisagem regional vem sofrendo impactos antrópicos que comprometem sua capacidade de autodepuração e a integridade dos ecossistemas associados (Nascimento; Simões, 2023).

Nesse contexto, a Educação Ambiental (EA) surge como ferramenta estratégica para aproximar a comunidade do conhecimento científico e fomentar práticas de conservação (Jacobi, 2003). Além disso, a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999) estabelece a EA como um instrumento para desenvolver valores e habilidades que levem à conservação ambiental e à melhoria da qualidade de vida (Brasil, 1999).

Desse modo, o projeto "Revelando a biodiversidade de microrganismos aquáticos do Rio Cachoeira como estratégia de conservação ambiental", da UFSB, busca promover a valorização do Rio Cachoeira, aproximando estudantes do Ensino Médio do Município de Itabuna/BA dos métodos e técnicas utilizados para qualificar e quantificar a biodiversidade aquática. Ao destacar a importância ecológica e social do Rio Cachoeira, o projeto iniciado em fevereiro de 2025 e ainda em andamento, sensibiliza a comunidade estudantil sobre a importância desse rio, que também atua como receptor de efluentes, fomentando uma conexão mais consciente e responsável com o meio ambiente.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

As atividades foram realizadas com dados obtidos a partir de pesquisas desenvolvidas pela equipe do LECSA da UFSB, no qual amostras de água foram coletadas em pontos pré estabelecidos ao longo do curso do Rio Cachoeira, incluindo trechos próximos à zona rural, áreas residenciais, e trechos de menor e de maior impacto antropogênico.

A equipe de execução do projeto é composta por sete estudantes dos cursos de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências, Engenharia Sanitária e Ambiental, Engenharia Agrícola e Ambiental e Engenharia de Aquicultura e Recursos Hídricos; um professor responsável por coordenar as etapas de elaboração do projeto; uma servidora responsável pela ação extensionista; uma estudante de doutorado e duas pesquisadoras de pós-doutorado.

O trabalho teve início com encontros de equipe do LECSA, nos quais estavam presentes estudantes e coordenadores. Os encontros tiveram como pauta o alinhamento de ideias para o desenvolvimento das atividades, delegação de responsabilidades e os resultados

esperados. A partir desse processo, os jogos educativos foram ajustados com a proposta extensionista.

Para tanto, foram elaborados materiais didáticos e atividades interativas, como jogo de tabuleiro sobre o processo de autodepuração fluvial **(Figura 1)**, jogos de memória **(Figura 2)** e de colorir com organismos aquáticos (zooplâncton, fitoplâncton e macroinvertebrados bentônicos) **(Figura 3)**, e um jogo "Super Trunfo" **(Figura 4)**, no qual atributos como tolerância à poluição, frequência e relevância biológica foram representados como "poderes", permitindo aos estudantes compreender, de forma lúdica, conceitos sobre a função natural desses organismos.

Figura 1. Jogo de tabuleiro sobre o processo de autodepuração fluvial

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 2. Jogo de memória com organismos aquáticos

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 3. Jogo de colorir com organismos aquáticos

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 4. Jogo "Super Trunfo" com organismos aquáticos

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Ademais, foram realizadas exposições fotográficas com imagens ampliadas da

biodiversidade aquática do próprio rio **(Figura 5)**. As ações também contemplaram atividades práticas com estereoscópios e microscópios ópticos, oferecendo a muitos participantes o primeiro contato com a biodiversidade invisível a olho nu. Os estudantes tiveram acesso a equipamentos de amostragem e análise laboratorial, como sonda multiparâmetro, vidrarias, guias de identificação e redes específicas (rede de fitoplâncton - 20 micrômetros, rede de zooplâncton - 68 micrômetros e rede de macroinvertebrados bentônicos
- 250 micrômetros). A exposição de material permitiu aos estudantes vivenciar parte do processo de avaliação da qualidade da água, além do entendimento da cadeia trófica como sequência da transferência de matéria e energia em um ecossistema, com o fitoplâncton como produtor primário (Almeida et al. 2019).

Figura 5. Exposição fotográfica com organismos aquáticos

Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram a aproximação entre a universidade e comunidade escolar, com a participação de aproximadamente 250 estudantes do ensino médio de Itabuna/BA. O emprego de materiais lúdicos, como jogos de tabuleiro, memória, atividades de colorir e "Super Trunfo", mostrou-se eficiente para a compreensão de processos ecológicos relacionados ao Rio Cachoeira, despertando reflexões sobre a relação entre ações humanas e a integridade dos ecossistemas.

As exposições fotográficas e o contato com equipamentos, proporcionaram experiências inéditas e especiais para a maioria dos estudantes, ampliando sua percepção sobre a biodiversidade invisível a olho nu e sua relação com a qualidade da água, como a resistência e sensibilidade dos organismos à poluição.

As práticas desenvolvidas reforçam a importância da EA como estratégia para discutir a interdependência entre os ecossistemas aquáticos e as ações humanas, destacando que os impactos antrópicos, em especial aqueles associados à poluição difusa, como o carreamento de nutrientes e resíduos sólidos pelo escoamento superficial, afetam tanto rios urbanos quanto corpos hídricos em áreas rurais (Gaston, 2000; Sperling, 2014; Nascimento; Simões, 2023).

Nesse sentido, os jogos e materiais produzidos possuem potencial de adaptação a diferentes áreas e realidades, inclusive no âmbito do saneamento rural, onde desafios relacionados ao esgotamento sanitário e ao manejo da água estão associados à manutenção da saúde ambiental e da qualidade de vida (Sepúlveda et al. 2025).

Além disso, a experiência extensionista fortaleceu a divulgação científica e promoveu reflexões críticas nos estudantes sobre a relação entre uso do solo, ausência de infraestrutura adequada de saneamento e a integridade dos ecossistemas aquáticos, confirmando a relevância da integração entre saber acadêmico e comunitário no enfrentamento dos problemas ambientais (Rosa et al. 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência relatada permitiu alcançar os objetivos de aproximar a comunidade estudantil da biodiversidade aquática do Rio Cachoeira e sensibilizar sobre sua importância ecológica e social. O uso de atividades lúdicas e materiais didáticos mostrou-se uma ferramenta pedagógica importante para transmitir conceitos de forma acessível, fomentando o

interesse pela conservação ambiental.

Mesmo desenvolvido em um contexto urbano, o projeto demonstra potencial de replicação em áreas rurais, uma vez que a compreensão sobre a cadeia alimentar, a poluição difusa e os processos de autodepuração dos rios pode auxiliar estudantes e comunidades na reflexão sobre práticas sustentáveis, bem como na necessidade de investimentos em soluções de saneamento rural.

Assim, as ações extensionistas contribuíram para fortalecer o diálogo entre universidade e sociedade, ressaltando a responsabilidade compartilhada pela conservação local, cujo bem-estar repercute diretamente sobre a saúde humana e a resiliência regional, além de reforçar a EA como pilar para a gestão integrada dos recursos hídricos.

Dessa forma**,** recomenda-se a continuidade e expansão das atividades, bem como a adaptação dos jogos e ações para outras comunidades escolares, de modo a ampliar o alcance e consolidar práticas de conscientização sobre os desafios do saneamento no Brasil.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Extensão da UFSB pelo apoio institucional e financiamento da bolsa, ao LECSA pelo suporte técnico-científico, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo incentivo à pesquisa e às comunidades escolares pela parceria nas atividades desenvolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. A. de; LIMA, G. da S.; PEREIRA, B. L. A. Des/Fiando diálogos sobre o conceito de cadeia alimentar em uma aula de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 21, e12436, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21172019210119.

BRASIL. **Lei n.º 9.795, de 27 de abril de 1999.** Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 29 set. 2025.

GASTON, K. J. Global patterns in biodiversity. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 220–227, 2000. DOI: https://doi.org/10.1038/35012228.

JACOBI, P. R. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, v. 1, n. 118, p. 189–205, 2003. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-15742003000100008.

NASCIMENTO, J. R.; SIMÕES, N. R. Análise espacial e temporal da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, Bahia. **Gaia Scientia**, v. 17, n. 2, p. 133–150, 2023.

ROSA, M. N.; TEIXEIRA, D.; HORA, K. E. R. Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas. **Saúde e Sociedade**, v. 32, n. 2, e201040, 2023.

SEPÚLVEDA, P. W.; ROSSONI, H. A. V.; SILVA, E. F.; GUIMARÃES, V. C.; SILVA, S. C. Tecnologias coletivas e participativas para o saneamento rural: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 12, n. 30, p. 241–266, 2025.

SILVA, E. B. *et al.* Relação entre vazão e consumo humano de água na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – BA. **Cadernos de Geociências**, v. 1, e-231805, 2023.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113119

Melhorando a qualidade do adobe em uma aldeia no Mali: uma experiência de cooperação Sul-Sul

Mejorar la calidad de adobe en una aldea de Mali: una experiencia de cooperación Sur-Sur

Improving adobes quality on village in Mali: an experience of South–South cooperation

Andréa A. R. Corrêa[1], Camila S. Franco[2], Luciana Sanches[3], Milson E. Serafim[4],
[1] Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brazil. E-mail: andrea.rcorrea@ufla.br
[2] Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brazil. E-mail: camila.sfranco@ufla.br
[3] Federal University of Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, Brazil. E-mail: luciana.sanches@ufmt.br
[4]Ministry of Agrarian Development and Family Farming, ES, Brazil. E-mail: milsonserafim@gmail.com

Thematic Axis 07 – Sustainable Development
Eje Temático 07 – Desarrollo sostenible

ABSTRACT

Adobe is widely used in the village of Bandiagará II and surrounding areas in Mali, Africa. The high applicability of this vernacular technique in local constructions is due to numerous factors. The main ones are: low cost, thermal comfort, minimal water and energy consumption, and the available soil that avoids transportation costs. This simple technique has excellent potential for training, to provide dignified and comfortable housing. However, pathologies were observed in local constructions from production to execution. Therefore, the objective of this work was to study the local soil and present techniques and possibilities for stabilization to ensure better physical and mechanical quality of the adobes. Expedient tests and laboratory assays evaluated the soil regarding grain size and mineralogical origin. The adobes were produced according to the recommendation of ABNT NBR 16.814:2020 - Adobe: requirements and testing methods. The treatments used "in natura" soil (CT-control); soil corrected with sand; stabilization with "synthetic termite saliva" at 1:1,000, 1:1,500, and 1:2,000 with reagents aluminum sulfate $Al_2(SO4)_3$ at 1:5,000 (AST) and hydrated lime $Ca(OH)_2$ (HLT) at 1.5% and 2% separately. The dimensions adopted for themolds were 30x15x8 cm³ and 38x18x8 cm³. The treatments with "synthetic termite saliva" at 1:1,500 with reagents aluminum sulfate $Al_2(SO4)_3$ at 1:5,000 and hydrated lime $Ca(OH)_2$ at 1.5% and 2% separately showed significant improvement in water absorption reduction and greater soil cohesion. Regarding the compressive strength for the "in natura" soil (CT), it was 0.6 MPa, with superior results for stabilization with "synthetic termite saliva" at 1:1,500 of 1.8M Pa for AST at 1:5,000 and 2.27 MPa for HLT at 2%. Excellent results were obtained in waterproofing

Keywords: Sustainability, "Synthetic termite saliva", Waterproofing, Compressive strength, Water absorption.

RESÚMEN

El adobe es ampliamente utilizado en la aldea de Bandiagará II y sus alrededores en Mali, África. La alta aplicabilidad de esta técnica vernácula en las construcciones locales se debe a numerosos factores. Los principales son: bajo costo, confort térmico, consumo mínimo de agua y energía, y la disponibilidad de suelo que evita costos de transporte. Esta sencilla técnica tiene un excelente potencial para la capacitación y la provisión de viviendas dignas y confortables. Sin embargo, se observaron patologías en las construcciones locales desde la producción hasta la ejecución. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el suelo local y presentar técnicas y posibilidades de estabilización para asegurar

una mejor calidad física y mecánica de los adobes. Se realizaron pruebas de conveniencia y ensayos de laboratorio para evaluar el suelo en cuanto a tamaño de grano y origen mineralógico. Los adobes se produjeron de acuerdo con la recomendación de la norma ABNT NBR 16.814:2020 - Adobe: requisitos y métodos de prueba. Los tratamientos utilizados fueron suelo "in natura" (control CT); suelo corregido con arena; Estabilización con saliva sintética de termitas a 1:1000, 1:1500 y 1:2000 con los reactivos sulfato de aluminio $Al_2(SO_3)_3$ a 1:5000 (TSA) y cal hidratada $Ca(OH)_2$ (TCH) al 1,5 % y al 2 %, respectivamente. Las dimensiones de los moldes fueron 30 x 15 x 8 cm³ y 38 x 18 x 8 cm³. Los tratamientos con saliva sintética de termitas a 1:1500 con los reactivos sulfato de aluminio $Al_2(SO_3)_3$ a 1:5000 y cal hidratada $Ca(OH)_2$ al 1,5 % y al 2 %, respectivamente, mostraron una mejora significativa en la reducción de la absorción de agua y una mayor cohesión del suelo. Respecto a la resistencia a la compresión para el suelo "in natura" (TC) fue de 0,6 MPa, con resultados superiores para la estabilización con "saliva sintética de termitas" a 1:1.500 de 1,8 MPa para AST a 1:5.000 y 2,27 MPa para HLT al 2%. Se obtuvieron excelentes resultados en la impermeabilización de muros de adobe con una solución al 5% de "baba sintética de termitas" y agua 1L:20L ("baba sintética de termitas":agua) y una solución al 1% de reactivo $Al_2(SO4)_3$ y agua 200g:20L ($Al_2(SO4)_3$:agua).

Palabras clave: Sostenibilidad, "Saliva sintética de termitas", Impermeabilización, Resistencia a la compresión, Absorción de agua.

RESUMO

O adobe é amplamente utilizado na vila de Bandiagará II e áreas adjacentes, no Mali, África. A alta aplicabilidade dessa técnica vernacular em construções locais se deve a inúmeros fatores. Os principais são: baixo custo, conforto térmico, consumo mínimo de água e energia e solo disponível, o que evita custos de transporte. Essa técnica simples tem excelente potencial para treinamento, para proporcionar moradias dignas e confortáveis. No entanto, patologias foram observadas em construções locais, desde a produção até a execução. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar o solo local e apresentar técnicas e possibilidades de estabilização para garantir melhor qualidade física e mecânica dos adobes. Ensaios de expediente e ensaios de laboratório avaliaram o solo quanto à granulometria e origem mineralógica. Os adobes foram produzidos de acordo com a recomendação da ABNT NBR 16.814:2020 - Adobe: requisitos e métodos de ensaio. Os tratamentos utilizados foram solo "in natura" (CT-controle); solo corrigido com areia; estabilização com "saliva sintética de cupim" nas proporções 1:1.000, 1:1.500 e 1:2.000 com os reagentes sulfato de alumínio $Al_2(SO4)_3$ na proporção 1:5.000 (TSA) e cal hidratada $Ca(OH)_2$ (TCH) nas proporções 1,5% e 2%, separadamente. As dimensões adotadas para os moldes foram 30x15x8 cm³ e 38x18x8 cm³. Os tratamentos com "baba de cupim sintética" na proporção 1:1.500 com os reagentes sulfato de alumínio $Al_2(SO4)_3$ na proporção 1:5.000 e cal hidratada $Ca(OH)_2$ nas proporções 1,5% e 2%, separadamente, apresentaram melhora significativa na redução da absorção de água e maior coesão do solo. Em relação à resistência à compressão do solo "in natura" (TC), esta foi de 0,6 MPa, com resultados superiores para a estabilização com "baba de cupim sintética " a 1:1.500 de 1,8 MPa para TSA a 1:5.000 e 2,27 MPa para TCH a 2%. Excelentes resultados foram obtidos em impermeabilização de paredes de adobe com solução a 5% de "baba de cupim sintética" e água 1L:20L ("baba de cupim sintética": água) e solução a 1% de reagente $Al_2(SO4)_3$ e água 200g: 20L ($Al_2(SO4)_3$: água).

Palavras-chave: Sustentabilidade, "Baba de cupim sintética", Impermeabilização, Resistência à compressão, Absorção de água.

DESCRIPTION OF THE EXPERIENCE

Originally from the Bandiagara Cliffs near Mopti, at the centre of the Mali, the Dogon people migrated to Bandiagara II due to conflicts in the north. The village is now geographically situated in the Koutiala region and has an estimated population of 630 inhabitants. It lies in a semi-arid climate.

Annual rainfall ranges between 600 and 900 mm, supporting primarily rainfed cotton as the main crop, followed by cereals and livestock (World Bank, 2023). Cooperation between Brazil and Mali is facilitated through the CMDT and the Brazilian Cooperation Agency (ABC), with a focus on increasing cotton production (Agência Brasileira de Cooperação ABC, 2024).

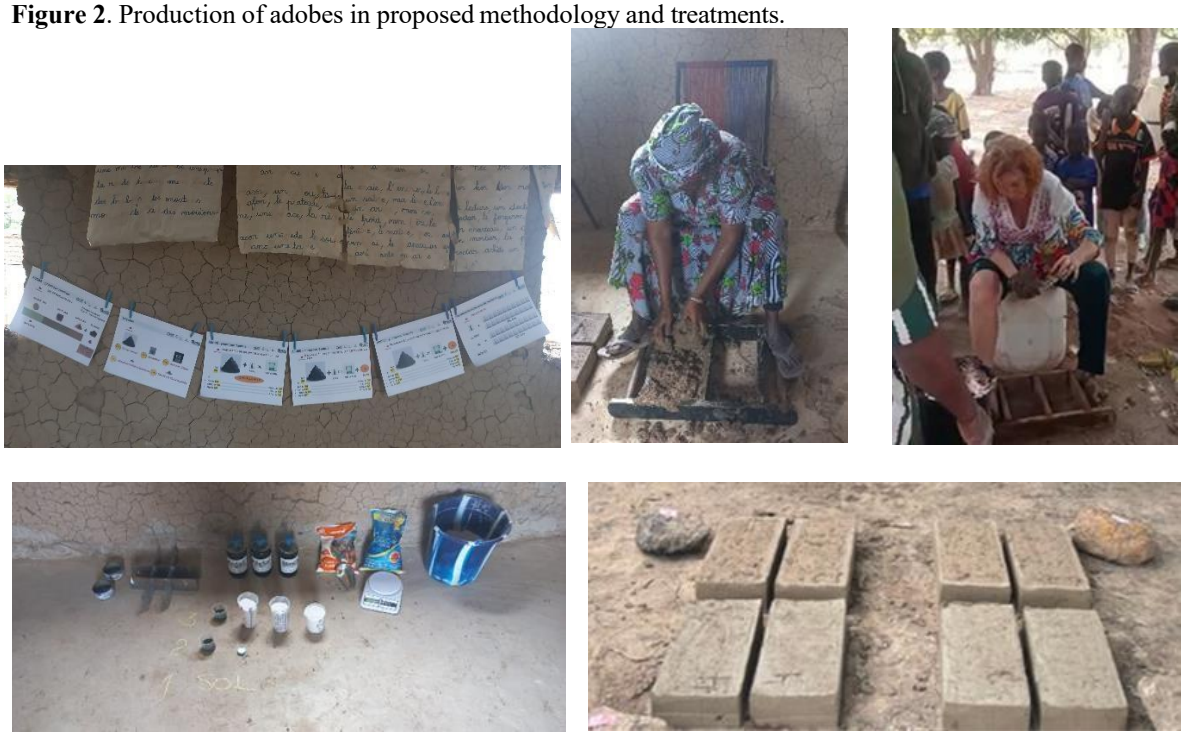
With the aim of improving the physical and mechanical properties of adobes and existing buildings, in three different missions lasting one week each, we evaluated the buildings considering: foundation, executive methods, masonry, coating and existing pathologies (Figure 1).

Figura 1. Local diagnosis

Source: Authors, 2024

Through discussions with the local community, we understood the advantages and challenges of adobe. Following the diagnostic results, the local soil was studied for granulometry and mineralogy through rapid and laboratory tests. The adobes were produced according to the recommendation of ABNT NBR 16.814:2020 - Adobe: requirements and test methods. The treatments used were "in natura" soil (CT-control); soil amended with sand; stabilization with "synthetic termite slime" in proportions of 1:1,000, 1:1,500, and 1:2,000 with the reagents aluminum sulfate $Al_2(SO4)_3$ in a proportion of 1:5,000 (AST) and hydrated lime $Ca(OH)_2$ (HLT) in proportions of 1.5% and 2%, separately. The dimensions adopted for the molds were 30x15x8 cm³ and 38x18x8 cm³. The adobes were produced in artisanal way (Figure 2).

Figure 2. Production of adobes in proposed methodology and treatments.



Source: Authors, 2024

Samples were taken for physical-mechanical testing. The treatments with "synthetic termite saliva" at 1:1,500 with reagents aluminum sulfate $Al_2(SO4)_3$ at 1:5,000 and hydrated lime $Ca(OH)_2$ at 1.5% and 2% separately showed significant improvement in water absorption reduction and greater soil cohesion. The quick volumetric contraction test demonstrated that there was no significant variation between treatments. The samples did not show cracks and the contraction was within the permitted limit. Regarding the compressive strength for the "in natura" soil (CT), it was 0.6 MPa, with superior results for stabilization with "synthetic termite saliva" at 1:1,500 of 1.8M Pa for AST at 1:5,000 and 2.27 MPa for HLT at 2% (Figure 3).

Figure 3.. The results of the volumetric contraction test; test specimens for compressive strength testing; and the test on the Universal Machine.

Source: Authors, 2024

Figure 4 Shows the waterproofing of the adobe walls, the following was applied: “synthetic termite saliva” with a 5% solution in water 1L:20L (“synthetic termite saliva”:water) and a 1% solution of $Al_2(SO4)_3$ reagent and water 200g:20L ($Al_2(SO4)_3$:water).

Figura 4. Guidance on the application of waterproofing solutions, and comparison of walls with and without the formulation.

Source: Authors, 2024.

RESULTS AND DISCUSSION

The treatments with "synthetic termite saliva" at 1:1,500 with reagents aluminum sulfate $Al_2(SO4)_3$ at 1:5,000 and hydrated lime $Ca(OH)_2$ at 1.5% and 2% separately showed significant improvement in water absorption reduction and greater soil cohesion. Regarding the compressive strength for the "in natura" soil (CT), it was 0.6 MPa, with superior results for stabilization with "synthetic termite saliva" at 1:1,500 of 1.8MPa for AST at 1:5,000 and 2.27 MPa for HLT at 2%. Excellent results were obtained in waterproofing.

FINAL CONSIDERATIONS

This experience highlights the role of South–South cooperation in addressing complex challenges in vulnerable regions and provides a replicable model for other rural communities in Sub-Saharan Africa. In future work, booklets will be produced to provide guidance on good construction practices, disease prevention, and successful stabilization of adobes in the village.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq - grant number 441547/2023-0), Brazilian Cooperation Agency (ABC), the Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT), the United Nations Development Programme (UNDP), and the community of Bandiagara II for their support and collaboration.

REFERENCES

Agência Brasileira de Cooperação. (2024, 25 de novembro). *Da agricultura ao saneamento: Cotton Solos e o desenvolvimento comunitário no Mali*. Agência Brasileira de Cooperação. https://www.gov.br/abc/pt-br/assuntos/noticias/da-agricultura-ao-saneamento-cotton-solos-e-o-desenvolvimento-comunitario-no-mali

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16814: Adobe - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 32 p.

World Bank. (2023). *Mali overview*. https://www.worldbank.org/en/country/mali/overview.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113135

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SANEAMENTO RURAL: UM DESAFIO INTEGRADO

CAMBIO CLIMÁTICO Y SANEAMIENTO RURAL: UN DESAFÍO INTEGRADO

CLIMATE CHANGE AND RURAL SANITATION: AN INTEGRATED CHALLENGE

Géssica Paim[1], Elaine Nunes[2], Francisco Israel Sousa[3] e Eva Mônica Silva[4].

[1]Mestranda em Extensão Rural, Univasf, Petrolina - PE, Brasil, gessicapaim.zootec@gmail.com, 0000-0003-1550-2014;
[2]Doutoranda em Ciência Animal, Univasf, Petrolina - PE, Brasil, elaine.nunes@discente.edu.br, 0000-0001-7064-4328;
[3] Doutorando em Ciência Animal, Univasf, Petrolina - PE, Brasil, israellopes20@hotmail.com, 0000-0001-7705-1613;
[4]Doutora em Zootecnia, Univasf, Petrolina - PE, Brasil, eva.silva@univasf.edu.br, 0000-0003-0187-6787.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Mudanças Climáticas e Saneamento Rural: Um Desafio Integrado.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Cambio Climático y Saneamiento Rural: Un Desafío Integrado

RESUMO

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios contemporâneos para o desenvolvimento sustentável, sobretudo no meio rural. O saneamento básico, marcado por desigualdades históricas e carência de investimentos, mostra-se particularmente vulnerável à intensificação de eventos extremos, como secas prolongadas, enchentes e variações sazonais imprevisíveis. Este estudo tem como objetivo analisar os impactos das mudanças climáticas sobre o saneamento rural e discutir estratégias de adaptação que integrem inovação tecnológica, educação ambiental e participação comunitária. A pesquisa fundamentou-se em uma revisão bibliográfica qualitativa de estudos publicados entre 2018 e 2025. Foram priorizados trabalhos que abordam a relação entre mudanças climáticas, tecnologias sociais e saneamento em comunidades rurais brasileiras. Destacam-se contribuições sobre aceitação de tecnologias descentralizadas de esgoto no Recôncavo da Bahia (Silva, Zanta e Queiroz 2025), integração de tecnologias sociais no semiárido (Silva, Silva e Silva 2024), experiências amazônicas com comunidades ribeirinhas (Batista et al. 2021), revisões sistemáticas sobre saneamento rural (Costa et al. 2024) e análises da relação entre educação ambiental e mudanças climáticas (Rodrigues e Kitzmann 2025). Os resultados indicam que a vulnerabilidade das comunidades rurais é ampliada pela precariedade da infraestrutura e pela escassez de recursos hídricos. Tecnologias sociais adaptadas, aliadas à educação ambiental, mostraram-se estratégias viáveis

para fortalecer a resiliência comunitária (Rodrigues e Kitzmann 2025; Silva, Silva e Silva 2024). A integração entre saberes tradicionais e ciência acadêmica potencializa soluções sustentáveis, consolidando o saneamento rural como eixo central da agenda de adaptação climática.

Palavras-chave: Saúde rural; Alterações climáticas; Políticas públicas; Tecnologias sociais; Educação ambiental

RESÚMEN

Las cambios climáticos representan uno de los principales desafíos contemporáneos para el desarrollo sostenible, especialmente en el medio rural. El saneamiento básico, históricamente marcado por desigualdades y baja cobertura, se muestra particularmente vulnerable ante la intensificación de sequías prolongadas, inundaciones y variaciones estacionales imprevisibles. El objetivo de este estudio fue analizar los impactos de los cambios climáticos sobre el saneamiento rural y discutir estrategias de adaptación que integren innovación tecnológica, educación ambiental y participación comunitaria.

La investigación se basó en una revisión bibliográfica cualitativa de estudios publicados entre 2018 y 2025 en portugués, inglés y español. Se destacaron aportes como la aceptación de tecnologías descentralizadas de alcantarillado en el Recôncavo da Bahia (Silva, Zanta y Queiroz 2025), la integración de tecnologías sociales en el semiárido (Silva, Silva y Silva 2024), experiencias amazónicas con comunidades ribereñas (Batista et al. 2021), revisiones sistemáticas sobre saneamiento rural (Costa et al. 2024) y análisis de la relación entre educación ambiental y cambios climáticos (Rodrigues y Kitzmann 2025).

Los resultados señalan que la vulnerabilidad de las comunidades rurales se amplía por la precariedad de la infraestructura y la escasez de recursos hídricos. Las tecnologías sociales adaptadas, combinadas con procesos de educación ambiental, se mostraron como estrategias viables para fortalecer la resiliencia comunitaria (Rodrigues y Kitzmann 2025; Silva, Silva y Silva 2024). La integración de saberes tradicionales y ciencia académica potencia soluciones sostenibles, consolidando el saneamiento rural como un eje central en la agenda de adaptación climática.

Palabras clave: Saneamiento rural; Cambios climáticos; Políticas públicas; Tecnologías sociales; educación ambiental

ABSTRACT

Climate change represents one of the main contemporary challenges to sustainable development, particularly in rural areas. Basic sanitation, historically marked by inequalities and insufficient coverage, proves especially vulnerable to the intensification of prolonged droughts, floods, and unpredictable seasonal variations. This study aims to analyze the impacts

of climate change on rural sanitation and to discuss adaptation strategies that integrate technological innovation, environmental education, and community participation. The research was based on a qualitative literature review of studies published between 2018 and 2025 in Portuguese, English, and Spanish. Relevant contributions include the acceptance of decentralized sewage technologies in Bahia's Recôncavo region (Silva, Zanta, and Queiroz 2025), the integration of social technologies in the semi-arid (Silva, Silva, and Silva 2024), Amazonian experiences with riverside communities (Batista et al. 2021), systematic reviews on rural sanitation (Costa et al. 2024), and analyses of the relationship between environmental education and climate change (Rodrigues and Kitzmann 2025). Findings indicate that the vulnerability of rural communities is heightened by precarious infrastructure and water scarcity. Social technologies adapted to local contexts, combined with environmental education, emerged as viable strategies to strengthen community resilience (Rodrigues and Kitzmann 2025; Silva, Silva, and Silva 2024). The integration of traditional knowledge and academic science enhances sustainable solutions, consolidating rural sanitation as a central pillar in the climate adaptation agenda.

Keywords: rural sanitation; climate change; public policies; social technologies; environmental education

INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos têm intensificado os desafios do saneamento rural, área já marcada por desigualdades históricas e acesso limitado a erviços (Costa et al. 2024). Períodos de seca prolongada, enchentes e variações sazonais afetam diretamente o abastecimento de água e o manejo de resíduos, comprometendo a segurança hídrica e a saúde pública.

Pesquisas recentes apontam que a fragilidade da infraestrutura e a ausência de políticas públicas integradas tornam comunidades rurais ainda mais vulneráveis (Batista et al. 2021; Rodrigues e Kitzmann 2025). No entanto, experiências brasileiras com tecnologias sociais de baixo custo mostram alternativas promissoras de adaptação, como sistemas individuais de tratamento de esgoto e soluções de reaproveitamento de água (Silva, Silva e Silva 2024; Silva, Zanta e Queiroz 2025).

Portanto, este estudo busca compreender os impactos das mudanças climáticas sobre o saneamento rural e discutir estratégias de enfrentamento que combinem inovação tecnológica, participação social e educação ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este resumo expandido tem como objetivo analisar e interpretar a produção científica recente sobre as Mudanças climáticas: O novo desafio do saneamento rural. De acordo com Gil (2019), a revisão bibliográfica consiste em um estudo sistemático baseado em materiais publicados, como artigos científicos, dissertações, teses, livros e relatórios técnicos, os quais permitem ao pesquisador compreender o estado atual do conhecimento sobre determinado tema e identificar lacunas e tendências de pesquisa.

O estudo foi desenvolvida a partir de revisão bibliográfica abrangendo o período de 2018 a 2025. As fontes consultadas foram artigos científicos, relatórios técnicos e revisões sistemáticas, com destaque para estudos sobre comunidades ribeirinhas amazônicas (Batista et al. 2021), agricultura familiar no semiárido (Silva, Silva e Silva 2024), saneamento rural no Recôncavo da Bahia (Silva, Zanta e Queiroz 2025), bem como revisões integrativas sobre tecnologias aplicadas ao saneamento (Costa et al. 2024). A seleção seguiu os critérios de atualidade, pertinência temática e relevância social., por meio de uma análise crítica qualitativa.

A análise seguiu uma abordagem qualitativa (Minayo 2022), permitindo compreender práticas sociais, valores e estratégias comunitárias relacionadas à adaptação climática.

Por fim, este método buscou articular diferentes perspectivas empíricas e teóricas, assegurando uma compreensão ampla e contextualizada sobre os desafios e possibilidades do saneamento rural no cenário das mudanças climáticas, destacando a necessidade de soluções sustentáveis, inovação tecnológica e participação comunitária.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão apontou que as mudanças climáticas afetam diretamente a disponibilidade de água potável, o tratamento de esgotos e a gestão de resíduos em comunidades rurais (Rodrigues e Kitzmann 2025). A precariedade da infraestrutura, somada à escassez de recursos financeiros e à limitada capacitação técnica, amplia a vulnerabilidade das populações mais pobres (Costa et al. 2024).

Entretanto, experiências locais demonstram alternativas promissoras. A implementação de tecnologias sociais de baixo custo, como sistemas simplificados de tratamento de esgoto, mostrou-se eficaz em contextos adversos, além de ser bem aceita pela população quando acompanhada de processos de educação ambiental (Silva, Zanta e Queiroz 2025). No semiárido, práticas de manejo ambiental baseadas na integração de tecnologias sociais com

saberes tradicionais ampliam a resiliência hídrica e alimentar (Silva, Silva e Silva 2024).

Na Amazónia, projetos voltados ao saneamento básico de comunidades ribeirinhas evidenciam que soluções adaptadas ao território, com participação ativa da comunidade, têm maior sustentabilidade (Batista et al. 2021). Tais experiências demonstram a importância de articular inovação tecnológica, políticas públicas intersetoriais e governança colaborativa, evitando modelos uniformes que desconsiderem especificidades locais.

A literatura revisada reforça ainda que a educação ambiental é essencial para consolidar práticas adaptativas e transformar o saneamento em eixo estratégico da agenda climática (Rodrigues e Kitzmann 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os impactos das mudanças climáticas sobre o saneamento rural exigem respostas abrangentes. A adoção de tecnologias sociais adaptadas, combinada ao fortalecimento das redes comunitárias e à promoção da educação ambiental, constitui um caminho viável para assegurar a sustentabilidade e a qualidade de vida no meio rural.

As evidências analisadas demonstram que a integração entre ciência e saberes locais potencializa a construção de sistemas de saneamento resilientes e eficientes (Silva, Silva e Silva 2024; Batista et al. 2021). Nesse sentido, o saneamento rural deve ser reposicionado como um direito básico e como elemento central das políticas de adaptação climática no Brasil (Rodrigues e Kitzmann 2025; Costa et al. 2024).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Batista, Vanessa de Almeida, Cléa Nazaré Carneiro Bichara, Carla Renata de Oliveira Carneiro, Layse Gomes Furtado, Matheus Gabriel Lopes Botelho, Davi Farias da Silva, e Altem Nascimento Pontes. 2021. “Tecnologias sociais voltadas para o saneamento básico de comunidades ribeirinhas na Amazônia.” *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 8 (19): 909-20.

Costa, Paulo Fortes, Marcos Roberto Furlan, Yasmin Nogueira Costa, Valter José Cobo, e Isabella Perondi Fortes. 2024. “Tecnologias utilizadas no saneamento básico das áreas rurais no Brasil: uma revisão sistemática.” *Latin American Journal of Business Management* 15 (2).

https://doi.org/10.69609/2178-4833.2024.v15.n2.a799

Rodrigues, Carla Teresinha do Amaral, e Dione Iara Silveira Kitzmann. 2025. "Saneamento básico e educação ambiental frente às mudanças climáticas." *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental* 29 (3): 1-22.

Silva, Nilmara Santos da, Viviana Maria Zanta, e Luciano Matos Queiroz. 2025. "Aceitação de tecnologias de tratamento de esgotos considerando os marcos referenciais do programa nacional de saneamento rural: uma experiência em comunidade do Recôncavo da Bahia, Brasil." *Revista Tecnologia e Sociedade* 20 (62).

Silva, Selma Cavalcanti Cruz de H. Tavares, Wilson Tadeu Lopes da Silva, e Davi Ferreira da Silva. 2024. "Integração de tecnologias sociais no manejo ambiental da agricultura familiar no suporte hídrico e alimentar no semiárido brasileiro." *Enciclopédia Biosfera* 21 (50): 130-41. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1171948

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113154

O PAPEL DA EDUCAÇÃO HÍDRICA NA CONSCIENTIZAÇÃO E GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS

EL PAPEL DE LA EDUCACIÓN HÍDRICA EN LA CONCIENCIACIÓN Y LA GESTIÓN PARTICIPATIVA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

THE ROLE OF WATER EDUCATION IN AWARENESS AND PARTICIPATORY MANAGEMENT OF WATER RESOURCES

Bianca Muniz de Oliveira[1], Leonardo Basílio da Silva[2], Sabrina Dafyne Soares Araújo[3] e Silvanete Severino da Silva[4].

[1]Bacharelanda em Engenharia Hidríca, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, bianca.muniz@ufrpe.br, 0009-0002-5065-0207;
[2]Bacharelando em Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, leonardo.basilio@ufrpe.br, 0009-0001-5215-666X;
[3]Bacharelanda em Engenharia Hidríca, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, sabrina.dafyne@ufrpe.br, 0009-0006-8927-0630;
[4]Doutorado em Engenharia Agrícola, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811.

Eixo Temático VII – Desenvolvimento Sustentável
Educação Ambiental e conscientização para o saneamento.

Eje Temático VII – Desarrollo Sostenible
Educación Ambiental y Concienciación sobre Saneamiento.

Thematic Axis VII – Sustainable Development
Environmental Education and Sanitation Awareness.

RESUMO

A água participa de praticamente todas as ações humanas, sendo essencial para a vida. Entretanto, seu uso desordenado, a escassez e as desigualdades no acesso configuram um dos principais desafios socioambientais contemporâneos. Nesse cenário, a educação hídrica desponta como um instrumento estratégico para a conscientização, o engajamento social e o gerenciamento sustentável e responsável dos recursos hídricos. Este estudo tem por finalidade examinar a relevância da educação hídrica na elaboração de uma formação voltada ao uso sustentável e responsável da água. A pesquisa adota abordagem qualitativa, combinando revisão bibliográfica com estudo de caso descritivo realizado no Dia Mundial da Natureza, em Belo Jardim (PE), envolvendo observação participante, entrevistas semiestruturadas e a apreciação de materiais pedagógicos. Os resultados evidenciam que a educação hídrica, quando articulada às dimensões científicas, sociais, culturais e tecnológicas, favorece a mobilização comunitária, a transformação de práticas cotidianas e o fortalecimento da cidadania ambiental. Conclui-se que a educação hídrica deve ser consolidada como política pública permanente, capaz de integrar ciência, cultura e cidadania, fortalecendo a corresponsabilidade social e colaborando para a efetivação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 6.

Palavras-chave: Educação hídrica; Sustentabilidade; Recursos hídricos; Cidadania ambiental; ODS 6

RESÚMEN

El agua participa en prácticamente todas las acciones humanas, siendo esencial para la vida. Sin embargo, su uso desordenado, la escasez y las desigualdades en el acceso constituyen uno de los principales desafíos socioambientales contemporáneos. En este contexto, la educación hídrica surge como un instrumento estratégico para la concienciación, la participación social y la gestión sostenible y responsable de los recursos hídricos. Este estudio tiene como finalidad examinar la relevancia de la educación hídrica en la construcción de una formación orientada al uso sostenible y responsable del agua. La investigación adopta un enfoque cualitativo, combinando revisión bibliográfica con un estudio de caso descriptivo realizado en el Día Mundial de la Naturaleza, en Belo Jardim (PE), que incluyó observación participante, entrevistas semiestructuradas y el análisis de materiales pedagógicos. Los resultados demuestran que la educación hídrica, cuando se articula con dimensiones científicas, sociales, culturales y tecnológicas, favorece la movilización comunitaria, la transformación de prácticas cotidianas y el fortalecimiento de la ciudadanía ambiental. Se concluye que la educación hídrica debe consolidarse como una política pública permanente, capaz de integrar ciencia, cultura y ciudadanía, fortaleciendo la corresponsabilidad social y contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 6.

Palabras clave: Educación hídrica; Sostenibilidad; Recursos hídricos; Ciudadanía ambiental; ODS 6

ABSTRACT

Water participates in practically all human activities, being essential for life. However, its disordered use, scarcity, and inequalities in access constitute one of the main contemporary socio-environmental challenges. In this context, water education emerges as a strategic tool for raising awareness, promoting social engagement, and ensuring the sustainable and responsible management of water resources. This study aims to analyze the relevance of water education in building a formation oriented toward the sustainable and responsible use of water. The research adopts a qualitative approach, combining a literature review with a descriptive case study conducted on World Nature Day, in Belo Jardim (PE), involving participant observation, semi-structured interviews, and the evaluation of pedagogical materials. The results demonstrate that water education, when articulated with scientific, social, cultural, and technological dimensions, promotes community mobilization, the transformation of daily practices, and the strengthening of environmental citizenship. It is concluded that water education must be consolidated as a permanent public policy, capable of integrating science, culture, and citizenship, strengthening social co-responsibility, and contributing to the achievement of the Sustainable Development Goals, especially SDG 6.

Keywords: Water education; Sustainability; Water resources; Environmental citizenship; SDG 6

INTRODUÇÃO

A água constitui recurso essencial à vida e ao desenvolvimento das sociedades, desempenhando papel fundamental nos âmbitos ambiental, econômico, coletivo e cultural. Contudo, o acesso equitativo e sustentável enfrenta desafios relacionados à escassez hídrica, poluição e uso desordenado, os quais comprometem a qualidade de vida, sobretudo em regiões vulneráveis como o semiárido brasileiro.

Nesse contexto, a educação hídrica configura-se como ferramenta estratégica para fomentar consciência crítica, participação social e integração entre ciência, gestão pública e cidadania. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) prevê a descentralização e a participação popular por meio dos comitês de bacia, mas sua efetividade depende da sensibilização da sociedade. Experiências em contextos escolares, comunitários e institucionais evidenciam que práticas educativas podem mobilizar diferentes atores sociais, promovendo desde mudanças individuais até a execução de ações coletivas sustentáveis.

Dessa forma, a pesquisa tem como finalidade examinar a função da educação hídrica na conscientização e no gerenciamento participativo da água, destacando seus impactos, potencialidades e limitações, bem como sua colaboração para a formação de uma cultura voltada ao uso racional e sustentável do recurso.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, associando revisão bibliográfica a uma análise de caso de caráter descritivo. Inicialmente, foi realizado um levantamento de referenciais teóricos e normativos acerca da educação hídrica, contemplando artigos científicos, legislações e documentos institucionais. Em seguida, desenvolveu-se uma investigação de caso no Dia Mundial do Meio Ambiente, ocorrido em 5 de junho, no qual foram examinadas as práticas educativas voltadas para a administração da água. A obtenção dos dados ocorreu mediante observação direta e entrevistas semiestruturadas aplicadas nas atividades. As informações coletadas foram organizadas e tratadas através da avaliação de conteúdo e registros fotográficos, conforme apresentado no Quadro 1. Esses instrumentos possibilitaram a identificação de categorias relacionadas à conscientização da comunidade, à mudança de hábitos e ao incentivo à gestão colaborativa dos recursos hídricos.

Quadro 1. Registros Fotográficos das Atividades de Educação Ambiental e Conscientização sobre Recursos Hídricos

	Atividade de reflorestamento com estudantes: Alunos realizando prática de plantio de mudas durante o evento da Semana Nacional do Meio Ambiente, enfatizando a importância do reflorestamento como ação de preservação ambiental.
	Participantes da Semana Nacional do Meio Ambiente: Registro de alunos, professores, colaboradores, discentes e docentes que participaram das atividades voltadas à conscientização sobre a importância dos recursos hídricos.
	Dinâmica pedagógica sobre sustentabilidade: Discente atuando como apresentador em atividade pedagógica com alunos do ensino fundamental I e II, abordando temas relacionados ao meio ambiente, recursos hídricos, sustentabilidade e consequências da poluição.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Pesquisa semiestruturada

A coleta de dados sobre educação hídrica e gestão participativa da água foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, aplicadas a membros da comunidade e participantes das atividades educativas. Essa técnica permitiu a combinação de questões previamente definidas com a flexibilidade necessária para explorar percepções, experiências e opiniões dos entrevistados, favorecendo a compreensão das dimensões sociais, culturais e ambientais relacionadas ao uso da água.

As perguntas foram organizadas em três eixos: (i) percepção da população quanto à importância da água e aos problemas decorrentes de seu uso; (ii) impactos das ações educativas na mudança de hábitos e práticas sustentáveis; e (iii) participação social nos processos de gestão, com destaque para os comitês de bacia hidrográfica. A abordagem metodológica adotada possibilitou a obtenção de informações qualitativas capazes de evidenciar

conhecimentos, comportamentos, representações sociais, valores e limitações da comunidade no contexto local, conforme sintetizado no Quadro 2.

Quadro 2. Instrumento de Coleta de Dados: Eixos e Perguntas

Nº	Eixo Temático	Pergunta Semiestruturada
1	Conscientização e Percepção	Qual a importância da água para a comunidade e quais os principais problemas enfrentados em relação ao seu uso e acesso?
2	Experiências Educativas	Você já participou de atividades, campanhas ou projetos de educação ambiental relacionados à água? Como avalia a contribuição dessas iniciativas para a conscientização da população?
3	Mudança de Hábitos	As ações de educação hídrica têm promovido mudanças no comportamento da comunidade em relação ao consumo e preservação da água? Cite exemplos, se possível.
4	Participação Social e Gestão	Como percebe a participação da comunidade nos processos de gestão dos recursos hídricos (como comitês de bacia ou conselhos locais)? O que poderia incentivar maior envolvimento?
5	Perspectivas e Desafios	Quais estratégias ou ações você considera mais eficazes para fortalecer a educação hídrica e garantir o uso sustentável da água na região?

Fonte: Autoria própria, 2025.

A análise das entrevistas será realizada por meio de técnicas de análise de conteúdo, permitindo identificar categorias e padrões que subsidiem a compreensão do papel da educação hídrica na conscientização e na mobilização social.

A amostra de representativa dos participantes para as respostas foi de 11 respondentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura recente sobre educação e gestão hídrica evidencia um consenso em torno da centralidade da Educação Ambiental, da participação social e da governança democrática como estratégias fundamentais para enfrentar a escassez e promover o uso sustentável da água. Piccoli et al. (2016) destacam a mobilização social como eixo para a gestão participativa, enquanto Tundisi (2008) enfatiza a necessidade de abordagens integradas por bacia hidrográfica, articulando ciência, planejamento e cooperação internacional. Complementarmente, Tundisi e Tundisi-Matsumura (2018) reforçam a relevância da educação para a água na formação cidadã e na integração das dimensões urbanas e de saúde.

No plano global, Barlow e Clarke (2012) situam o debate na perspectiva do direito humano à água, apontando para as desigualdades no acesso e a necessidade de responsabilização de governos e instituições internacionais. Já no contexto brasileiro, Moura e Oliveira (2022) e Ferreira e Silva (2021) reafirmam a educação como instrumento para fortalecer a gestão hídrica, seja por meio da participação em comitês de bacia ou como compromisso social frente à escassez e às desigualdades regionais.

De modo geral, as produções analisadas convergem para a compreensão de que a crise hídrica exige não apenas soluções técnicas, mas sobretudo processos educativos, sociais e políticos, capazes de integrar ciência, cultura e cidadania (Quadro 3).

Quadro 03. Contribuições científicas sobre educação hídrica e gestão sustentável da água.

Artigo / Autores	Principais resultados
Piccoli et al. (2016)	Educação como motor da mobilização social para gestão hídrica participativa (PEAMSS).
Tundisi (2008)	Propostas integradas por bacia, governança avançada e capacitação para sustentabilidade.
Tundisi & Tundisi-Matsumura (2018)	Educação sobre água, ciclo hidrológico e interface com saúde em contextos urbanos.
Barlow & Clarke (2012)	Abordagem global do direito humano à água e desafios de sustentabilidade.
Moura & Oliveira (2022)	Educação Ambiental como suporte à gestão hídrica e cidadania — foco participativo.
Ferreira & Silva (2021)	Educação Ambiental como compromisso social frente à escassez e desigualdades.

Fonte: Autoria própria, 2025.

O debate científico sobre a educação hídrica e a gestão sustentável da água evidencia seu caráter interdisciplinar, envolvendo dimensões sociais, ambientais, políticas e pedagógicas. Os estudos analisados apontam que a Educação Ambiental emancipatória, a participação social e a governança democrática são estratégias centrais para enfrentar a escassez hídrica. Autores como Tundisi (2008) e Tundisi e Tundisi-Matsumura (2018) destacam a necessidade de gestão por bacias hidrográficas, cooperação internacional e inclusão do ciclo hidrológico nos currículos escolares.

Em escala global, Barlow e Clarke (2012) situam a água como direito humano, associando sua gestão à agenda dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. No Brasil, pesquisas como as de Moura e Oliveira (2022) e Ferreira e Silva (2021) reforçam o papel da Educação Ambiental na conscientização, participação em comitês de bacia e articulação entre saneamento, saúde e justiça ambiental. Em síntese, a literatura converge para a compreensão de que educação, participação comunitária e gestão democrática são pilares essenciais para a segurança e sustentabilidade hídrica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise evidenciou que a educação hídrica constitui instrumento estratégico para enfrentar os desafios da gestão sustentável da água, sobretudo em contextos de vulnerabilidade socioambiental. Mais do que transmitir conhecimentos técnicos, a educação hídrica promove integração entre ciência, cidadania e cultura, estimulando mudanças de hábitos, fortalecimento da participação social e consolidação de políticas públicas voltadas à conservação dos recursos hídricos.

O estudo apontou que iniciativas educativas, quando articuladas a práticas pedagógicas contextualizadas, têm potencial para mobilizar comunidades, aproximar sociedade e instituições e ampliar a corresponsabilidade no uso racional da água. Entretanto, persistem obstáculos como a descontinuidade das ações, a baixa participação popular nos espaços de gestão e as barreiras estruturais que restringem o acesso equitativo à água e ao saneamento.

A revisão bibliográfica e o estudo de caso confirmaram que a crise hídrica deve ser compreendida em suas dimensões políticas, sociais e culturais, superando enfoques estritamente técnicos. Nessa perspectiva, recomenda-se que a educação hídrica seja incorporada como política de Estado, com investimentos em formação docente, materiais pedagógicos e estratégias de comunicação.

Conclui-se que a construção de uma cultura da água, fundamentada em educação, participação social e governança democrática, é condição essencial para assegurar o direito humano à água e alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, em especial o ODS 6. Sugere-se que pesquisas futuras aprofundem metodologias inovadoras e experiências comunitárias capazes de fortalecer a educação hídrica como eixo estruturante da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020: Informe Anual.* Brasília: ANA, 2020.

BARLOW, Maude; CLARKE, Tony. A (In)sustentabilidade hídrica global e o direito humano à água. *Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos*, Florianópolis, v. 33, n. 65, p. 169-196, 2012. DOI: https://doi.org/10.5007/2177-7055.2012v33n65p169. Disponível em: https://www.scielo.br/j/seq/a/hfhy5rxbRsX356CmCtW9VTM/. Acesso em: 26 ago. 2025.

BRAGA, B.; CARVALHO, J. F.; REBOUÇAS, A. C. (org.). *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação.* 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera dispositivos das Leis nº 8.001/1990 e nº 7.990/1989. *Diário Oficial da União: Seção 1*, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Diário Oficial da União*, Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério da Educação. *PDDE Equidade: prazo para adesão das escolas é ampliado até 29/8.* Brasília, DF, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2025/agosto/pdde-equidade-prazo-para-adesao-das-escolas-e-ampliado-ate-29-8. Acesso em: 26 ago. 2025.

COSTA, Vanusa Alves da; NASCIMENTO, Jéssica Maciel do. A gestão dos recursos hídricos no Brasil: educação ambiental e democracia participativa. *Humanidades & Inovação*, Palmas, v. 9, n. 2, p. 170-183, 2022. Disponível em: https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/4693. Acesso em: 26 ago. 2025.

FERREIRA, Juliana; SILVA, Renata Alves da. O compromisso social da educação ambiental no âmbito da escassez hídrica. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 181-199, 2021. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.13137. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/13137. Acesso em: 26 ago. 2025.

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. *PDDE Água e Esgotamento Sanitário e PDDE Campo: ampliação do prazo de adesão 2024.* Brasília: FNDE, 2024.

JACOBI, P. R. Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa,* [informações completas da revista estão faltando].

LOUREIRO, Carlos Frederico Bernardo et al. A educação ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 797-808, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.26242015. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/csc/2016.v21n3/797-808/. Acesso em: 26 ago. 2025.

MOURA, José Edson Martins de; OLIVEIRA, Lorena de Andrade. Educação ambiental para a gestão de recursos hídricos. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 379-395, 2022. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2022.v17.16087. Disponível em: https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/16087. Acesso em: 26 ago. 2025.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados,* São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/7gyMPtTzfkYfWWsMHqVLTqm/. Acesso em: 26 ago. 2025.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. Educação para a água. *Estudos Avançados,* São Paulo, v. 32, n. 93, p. 171-182, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3293.0010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/4Cz7B6yQGGfV73Ngy6g848w/. Acesso em: 26 ago. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113168

OS DESAFIOS DA UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO RURAL E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA COMUNIDADE DE PINHÕES, MUNICÍPIO DE POMBAL - PB.

LOS DESAFÍOS DE LA UNIVERSALIZACIÓN DEL SANEAMIENTO RURAL Y LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE LA COMUNIDAD DE PINHÕES, MUNICIPIO DE POMBAL - PB.

THE CHALLENGES OF UNIVERSALIZATION OF RURAL SANITATION AND SUSTAINABILITY INDICATORS OF THE PINHÕES COMMUNITY, MUNICIPALITY OF POMBAL - PB.

Francielio Gomes do Nascimento[1]; Sanara de Sousa Ribeiro [2]; José Maurilio Fernandes da Silva[3] ; Kelly Nayara Cordeiro Viturino [4].

1. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: francielio.engenheiroamb@gmail.com
2. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: souzasan72@gmail.com
3. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: jose.maurilio@estudante.ufcg.edu.br
4. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: knayara110@gmail.com

Eixo Temático 07 – Desafios e oportunidades na universalização do saneamento rural.

Eje temático 07 – Desafíos y oportunidades en la universalización del saneamiento rural..

Thematic Axis 07 – Challenges and opportunities in the universalization of rural sanitation..

RESUMO

Os desafios do saneamento rural no Brasil são diversos e complexos, refletindo a disparidade de acesso aos serviços básicos de saneamento enfrentados por muitas comunidades rurais. Entre os principais desafios estão a falta de infraestrutura adequada, incluindo sistemas de abastecimento de água, a falta de tratamento de esgoto, a escassez de recursos financeiros para investimentos nessas áreas, a dificuldade de alcançar áreas remotas e dispersas, a ausência de políticas específicas e a necessidade de capacitação técnica e engajamento comunitário para adotar soluções eficazes e sustentáveis. A comunidade de Pinhões, localizada no município de Pombal – PB, exemplifica a realidade de milhares de localidades rurais que convivem com limitações de acesso à água potável, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e drenagem adequada. Este artigo tem como objetivo analisar os desafios para a universalização do saneamento básico em áreas rurais, relacionando-os às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 6, que trata da garantia de água limpa e saneamento. Para isso, foram realizadas consultas em banco de dados do IBGE e pesquisa exploratória em diversas fontes bibliográficas sobre o tema, levantamento de dados primários, visita *in loco*, análise e discussão dos dados obtidos, buscando compreender os impactos da ausência de políticas públicas efetivas sobre a saúde, o meio ambiente e a qualidade de vida da população local. Como resultado, evidencia-se a necessidade de investimentos em tecnologias sociais apropriadas, fortalecimento da gestão comunitária da água e políticas públicas que considerem as especificidades do meio rural.

Palavras-chave: Saneamento rural; Desenvolvimento sustentável; Indicadores.

RESUMEN

Los desafíos del saneamiento rural en Brasil son diversos y complejos, lo que refleja la disparidad en el acceso a los servicios básicos de saneamiento que enfrentan muchas comunidades rurales. Entre los principales desafíos se encuentran la falta de infraestructura adecuada, incluyendo sistemas de abastecimiento de agua, la falta de tratamiento de aguas residuales, la escasez de recursos financieros para invertir en estas zonas, la dificultad para llegar a zonas remotas y dispersas, la ausencia de políticas específicas y la necesidad de capacitación técnica y participación comunitaria para adoptar soluciones eficaces y sostenibles. La comunidad de Pinhões, ubicada en el municipio de Pombal, Paraíba, Ilustra la realidad de miles de zonas rurales que enfrentan acceso limitado a agua potable, alcantarillado, recolección de residuos sólidos y drenaje adecuado. Este artículo busca analizar los desafíos de universalizar el saneamiento básico en zonas rurales, relacionándolos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 6, que aborda garantizar agua limpia y saneamiento. Para ello, consultamos bases de datos del IBGE y realizamos una investigación exploratoria en diversas fuentes bibliográficas sobre el tema, recopilamos datos primarios, realizamos visitas in situ, analizamos y discutimos los datos obtenidos, buscando comprender los impactos de la falta de políticas públicas efectivas en la salud, el medio ambiente y la calidad de vida de la población local. Como resultado, destacamos la necesidad de inversiones en tecnologías sociales apropiadas, el fortalecimiento de la gestión comunitaria del agua y políticas públicas que consideren las especificidades de las zonas rurales.

Palabras clave: Saneamiento rural; Desarrollo sostenible; Indicadores.

ABSTRACT

The challenges of rural sanitation in Brazil are diverse and complex, reflecting the disparity in access to basic sanitation services faced by many rural communities. Among the main challenges are the lack of adequate infrastructure, including water supply systems, the lack of sewage treatment, the scarcity of financial resources for investment in these areas, the difficulty in reaching remote and dispersed areas, the absence of specific policies, and the need for technical training and community engagement to adopt effective and sustainable solutions. The community of Pinhões, located in the municipality of Pombal, Paraíba, illustrates the reality of thousands of rural areas that face limited access to drinking water, sewage, solid waste collection, and adequate drainage. This article aims to analyze the challenges of universalizing basic sanitation in rural areas, relating them to the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 6, which addresses ensuring clean water and sanitation. To this end, we consulted IBGE databases and conducted exploratory research in various bibliographic sources on the topic, collected primary data, conducted on-site visits, analyzed, and discussed the data obtained, seeking to understand the impacts of the lack of effective public policies on the health, environment, and quality of life of the local population. As a result, we highlight the need for investments in appropriate social technologies, strengthened community water management, and public policies that consider the specificities of rural areas

Keywords: Rural sanitation; Sustainable development; Indicators.

INTRODUÇÃO

No Brasil os desafios para a universalização do saneamento básico é considerado um fator de grande importância e de preocupação para o meio social e ambiental. O saneamento é de total importância para a vida das pessoas, sendo um direito da população ter boas condições de infraestrutura e saneamento, conectados diretamente com a saúde pública (Lira; Soares, 2021).

Nas regiões brasileiras, principalmente em comunidades rurais, onde o acesso e a falta de infraestrutura são os maiores desafios para a garantia de acesso ao saneamento, se faz necessário medidas de educação ambiental e saneamento para que a população tenha acesso aos serviços de água potável, saneamento básico e manejo adequado dos resíduos sólidos. É fundamental reconhecer que o acesso a esses serviços é essencial para melhorar a qualidade de vida, promover a saúde pública e proteger o meio ambiente.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), cerca de mais de 30 milhões de brasileiros ainda vivem sem acesso à água tratada, e parte dessa população está em áreas rurais. Além disso, a precariedade no tratamento e destino dos resíduos sólidos, somada à inexistência de sistemas de esgotamento, gera impactos diretos sobre a saúde pública e qualidade de vida das pessoas.

No contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (Água potável e saneamento), o desafio consiste em ampliar o acesso universal e equitativo aos serviços de saneamento até 2030, para que isso seja implementado se faz necessário políticas públicas eficientes, participação comunitária e uso de tecnologias apropriadas ao semiárido.

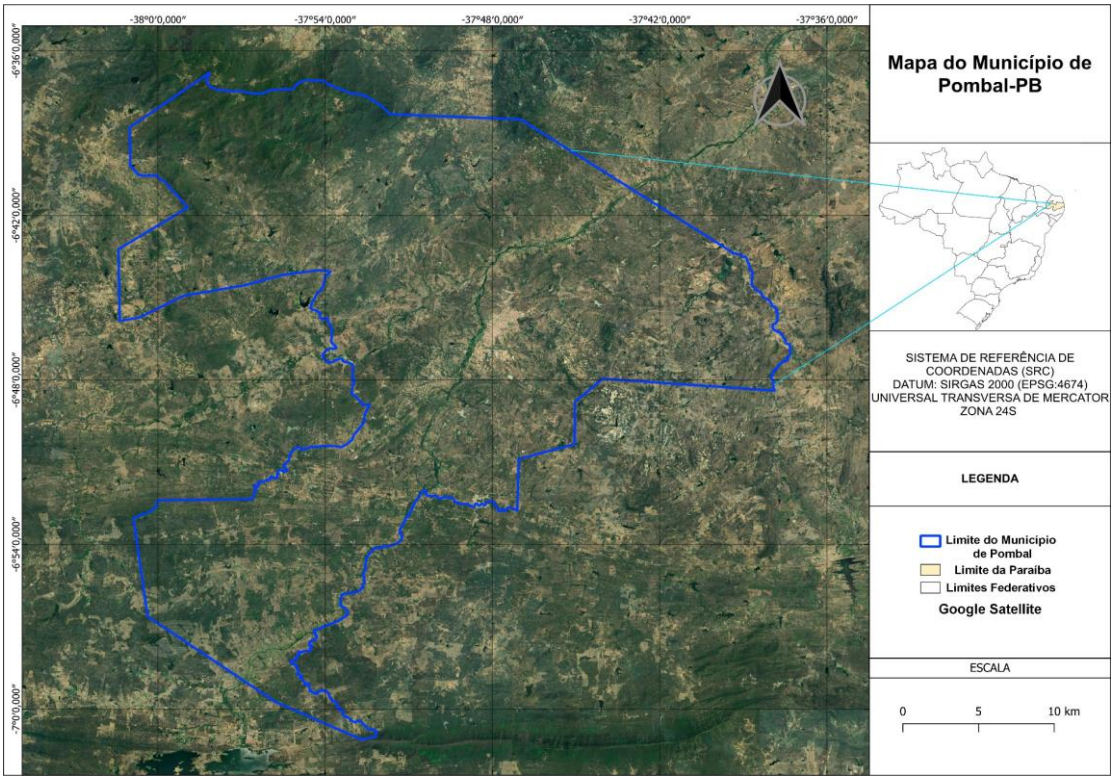
Em síntese, o saneamento rural e o desenvolvimento sustentável apresentam uma relação de interdependência, na qual avanços em um campo repercutem positivamente no outro. A implementação de práticas adequadas de saneamento em áreas rurais melhora a qualidade de vida da população, contribui para a redução de desigualdades sociais, melhoria da saúde pública, reduz impactos ambientais e contribui para a preservação dos recursos naturais. Neste contexto, o objetivo do presente estudo é avaliar os desafios da universalização do saneamento e desenvolvimento sustentável na comunidade de Pinhões, município de Pombal-PB.

MATERIAIS E MÉTODOS

- **Localização e caracterização da comunidade Pinhões**

O estudo foi realizado na comunidade Pinhões, na zona rural do município de Pombal, Paraíba, Brasil (Figura 1). Situada em região semiárida, com vegetação característica da Caatinga, predominando o tipo hiperxerófila, com trechos de florestas caducifólias e mata ciliar próxima ao Rio Piancó, que integra a bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, sendo um importante curso d'água no interior da Paraíba, desempenhando um papel importante para o abastecimento e atividades agropecuárias na região (ANA, 2018).

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: De Sousa et al. (2024, p. 22)

Segundo o IBGE (2010), a comunidade é composta por 17 domicílios, sendo aproximadamente 12 famílias, com uma composição estimada de 52 habitantes (IBGE, 2011), Pinhões está localizado a uma distância de aproximadamente 12 quilômetros da sede do município de Pombal, a comunidade não possui instituição de ensino, posto de saúde e igreja, sendo mais difícil a inserção de políticas públicas e ações de educação ambiental voltadas para a comunidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa foi baseada em levantamento de dados em campo, os critérios usados para selecionar a literatura tiveram o foco direto no saneamento básico e saneamento rural. O estudo tem por objetivo mostrar as condições do saneamento rural e os desafios para a universalização e dos desafios de desenvolvimento sustentável da comunidade com o foco de identificar os principais problemas enfrentados pela população da comunidade e com isso elaborar medidas mitigadoras que possam contribuir para a melhoria de vida dos residentes da comunidade.

As respostas foram registradas em fichas de campo e classificados segundo uma escala de pontuação variando de 0 a 5, para cada indicador selecionado, no qual os valores mais próximos de 5 foram aplicados para os indicadores que apresentavam as melhores condições, conforme critérios constantes no quadro 1. Com base nas análises preliminares, identificam-se os seguintes problemas principais na comunidade de Pinhões:

Quadro 1: Pontuação dos indicadores de sustentabilidade e saneamento básico

Indicadores	Descrição	Pontuação
Manancial	Fonte de água utilizada para abastecimento	Água de nascente, poço artesiano ou cisterna: 5 pontos Água de rio ou reservatório natural ou artificial: 2,5 pontos Água distribuída por carros-pipas ou água de reuso ou de fontes não confiáveis: 0 ponto
Quantidade de água	Disponibilidade de água em quantidade adequada ao consumo diário familiar	Suficiente: 5 pontos Às vezes insuficiente: 2,5 pontos Frequentemente insuficiente: 0 ponto
Solução de abastecimento de água	Tipo de sistema utilizado para fornecer água potável.	Rede pública de água tratada: 5 pontos Poço artesiano com tratamento adequado: 2,5 pontos Outras soluções: 0 ponto

Tratamento de água	Existência e eficiência do tratamento da água antes do consumo.	Tratamento comunitário: 5 pontos Tratamento doméstico simplificado: 2,5 pontos Sem tratamento: 0 ponto
Resíduos sólidos	Coleta e destinação adequada dos resíduos domiciliares	Coleta pública regular: 5 pontos Ausência de coleta e queima domiciliar: 2,5 pontos Ausência de coleta e disposição de resíduos em áreas abertas: 0 pontos
Educação em saneamento básico	Existência e efetividade de ações de difusão de informações sobre cuidados com a saúde e saneamento básico	Informações difundidas são suficientes: 5 pontos Informações insuficientes: 2,5 pontos Não há informações: 0 ponto

Fonte: Adaptado de Pereira (2017)

Para avaliar os indicadores de sustentabilidade da comunidade resultado foi obtido através do somatório dos valores de todos os indicadores e da situação observada nas visitas *in loco* realizadas na comunidade, foi possível classificar a comunidade e os serviços de saneamento em três classes, conforme o grau de sustentabilidade: Alta sustentabilidade, Sustentabilidade intermediária e Baixa sustentabilidade, conforme especificações constantes no Quadro 2.

Quadro 2: Classificação dos indicadores de sustentabilidade e saneamento básico

Alta Sustentabilidade (31 a 40 pontos): Comunidades rurais com serviços de saneamento adequados e satisfatórios;
Sustentabilidade Intermediária (21 a 30 pontos): Comunidades rurais com serviços presentes, mas com deficiências estruturais ou operacionais;
Baixa Sustentabilidade (0 a 20 pontos): Comunidades rurais com ausência ou precariedade dos serviços, exigindo intervenção urgente.

Fonte: Adaptado de Pereira (2017)

O objetivo foi identificar a presença, ausência e qualidade dos principais serviços de saneamento básico, incluindo o abastecimento de água, o esgotamento sanitário e o manejo de resíduos sólidos, conforme definidos na Lei nº14.026/2020, bem como também o indicador de educação ambiental, para compor o índice de sustentabilidade, caracterizados e analisados conforme a tabela 1.

Tabela 1: Pontuações dos indicadores de sustentabilidade e saneamento básico da comunidade

Indicador	**Sítio Pinhões**
Tipo de manancial	5
Quantidade de água	2,5
Solução de abastecimento de água	2,5
Tratamento de água	2,5
Esgotamento sanitário	2,5
Resíduos sólidos	2,5
Educação em saneamento básico	0
Pontuação	17,5
Classificação	**Baixa Sustentabilidade**

Fonte: Autores (2025)

Diante dos resultados, Pinhões foi classificado com baixa sustentabilidade nos serviços de saneamento básico, conforme apresentado na Tabela 2. Os desafios da universalização do saneamento em áreas rurais, como observado em Pinhões, estão diretamente relacionados à dependência de soluções individuais e pouco estruturadas, como as cisternas e o açude da comunidade, conforme as figuras 2 e 3.

Embora importantes para a garantia de abastecimento, tais alternativas apresentam limitações quanto à qualidade da água, especialmente em períodos de estiagem. A utilização complementar de açudes por algumas famílias reforça a vulnerabilidade do sistema, já que estas fontes não contam, em geral, com tratamento adequado, expondo a população a riscos sanitários.

Nesse sentido, a universalização do saneamento rural exige investimentos em infraestrutura adaptada às realidades locais, políticas públicas consistentes e ações de educação ambiental que promovam o uso sustentável dos recursos hídricos, reduzindo desigualdades hídricas da região.

Figuras 2 e 3 – Cisterna para captação de águas pluviais e Açude da comunidade

Fonte: Autores (2025)

De acordo com relatos dos moradores, o volume disponível é suficiente para o consumo humano, e o tratamento da água é realizado com a aplicação de cloro, seguida de filtração em filtro de barro ou com tecido antes do consumo. Essa forma de tratamento traz grande preocupação quanto à qualidade da água e a eficácia desse tratamento, que é recomendado que antes da cloração seja realizada a filtração, a fim de remover a matéria orgânica presente na água.

Em relação aos resíduos sólidos, os moradores da comunidade relataram que queimam seus resíduos semanalmente, pois não há coleta na comunidade, bem como não tem nenhum programa de educação ambiental que oriente outras formas de gerir esses resíduos.

Entretanto, como medidas mitigadoras para os problemas da comunidade se destacam potenciais soluções sustentáveis, como: sistemas simplificados de tratamento de esgoto (biodigestores, wetlands construídos), utilização de compostagem como meio de

aproveitamento dos resíduos orgânicos para fins de adubo natural, fortalecimento das cooperativas de catadores e ações de educação ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia que a universalização do saneamento rural na comunidade de Pinhões enfrenta desafios estruturais, financeiros e de gestão, mas também abre espaço para soluções sustentáveis e participativas. O alinhamento entre políticas públicas, inovação tecnológica e engajamento comunitário é essencial para garantir o direito ao saneamento e promover o desenvolvimento sustentável na região.

Ao garantir o acesso equitativo a serviços de saneamento, não apenas promovemos a saúde e o bem-estar das comunidades rurais, mas também preservamos os recursos naturais e promovemos a resiliência ambiental. O saneamento rural adequado promove qualidade de vida, dignidade e equidade aos serviços, além de reduzir impactos ambientais como a poluição e a contaminação dos recursos hídricos, bem como permite a utilização eficiente de recursos como a água e o solo, contribuindo para a segurança alimentar e o crescimento econômico da comunidade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. C. et al. Indicadores de sustentabilidade em saneamento rural: ferramentas de apoio à gestão participativa. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 9, n. 2, p. 45-63, 2020.

ANDRADE, M. P.; REZENDE, S. C. Saneamento rural e o novo marco legal: desafios para a universalização no Brasil. Revista de Administração Pública, v. 55, n. 6, p. 1465-1488, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0034-761220210135.

DE SOUSA, Denilson Gualberto et al. A relação da ausência de saneamento básico adequado no município Pombal-PB com doenças endêmicas de veiculação hídrica. **Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social**, p. 20. Disponível em: Sustentabilidade_Responsabilidade_Social_Vol3.pdf. Acesso em: 28 de set. de 2025.

FUNASA. Programa Nacional de Saneamento Rural 2019. Fundação Nacional de Saúde,

2019. Disponível em: https://boletimdosaneamento.com.br/programa-nacional-de-saneamento-rural-2019-funasa/. Acesso em: 17 set. 2025.

HELLER, L.; CASTRO, J. E. Políticas públicas e saneamento: desafios para a universalização. Revista de Saúde Pública, v. 55, n. 2, p. 1-12, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 17 set. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2022: acesso a serviços de saneamento básico no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 17 set. 2025.

LIRA,Rodrigo Anido; SOARES,Lucília Rodrigues Pereira. O novo marco regulatório do saneamento básico: análise das principais mudanças - Lei n.° 14.026. Campos dos Goytacazes/RJ – ano XIX, n.70, set.-dez. 2021. Universidade CANDIDO MENDES. Disponível em: https://royaltiesdopetroleo.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2022/07/artigo-3.pdf. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

MOURA, P. R. et al. Avaliação de indicadores de saneamento básico em comunidades do semiárido brasileiro. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 5, p. 825-837, 2021.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RELATO DE EXPERIÊNCIA

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113195

PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS E OLERÍCOLAS COM O USO MÍNIMO DE ÁGUA: CANTEIROS ECONÔMICOS, UM MODELO ALTERNATIVO PARA PRODUÇÃO E FONTE DE RENDA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DE BAIXA RENDA.

PRODUCCIÓN DE PLANTAS MEDICINALES Y HORTALIZAS CON MÍNIMO USO DE AGUA: PLANTAS ECONÓMICAS DE CAMPO, UN MODELO ALTERNATIVO DE PRODUCCIÓN Y FUENTE DE INGRESOS PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR DE BAJOS RECURSOS.

PRODUCTION OF MEDICINAL PLANTS AND VEGETABLES WITH MINIMAL WATER USE: ECONOMIC FIELD PLANTS, AN ALTERNATIVE MODEL FOR PRODUCTION AND SOURCE OF INCOME FOR LOW-INCOME FAMILY FARMING.

Samuel Pinto Rocha Braga[1]; Jose Alves da Silva Filho[2]; Robert Kennedy da Silva Neves[3]; João Manuel Santos Rego[4]; Taires Evangelista Gomes[5]; Antonio Leopoldino Veras[6]; Cícero Antonio de Souza Araújo[7]; Elizângela Maria Souza[8]; Vitor Prates Lorenzo[9]; Adelmo Santana Carvalho [10]; Flávia Cartaxo Ramalho Vilar[11].

[1]Bacharelando em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, samuel.pinto@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0000-3155-3837
[2]Bacharelando em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, jose.alves@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0001-5684-139X
[3]Bacharelando em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, robert.kennedy@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0007-9493-8006
[4]Bacharelando em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, joao.manuel@ifsertao-pe.edu.br, 0009-0003-7707-9458
[5]Bacharelando em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, taires.gomes@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0007-8199-1908
[6] Me. em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, antonio.leopoldino@ifsertao-pe.edu, 0009-0003-6751-1294
[7]Dr em Solos e Nutrição de Plantas, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, cicero.araujo@ifsertao-pe.edu, 0000-0003-1496-7960
[8]Dra em Zootecnia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu, 0000-0002-8949-3774
[9]Dr em Produtos Naturais, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, vitor.lorenzo@ifsertao-pe.edu, 0009-0008-6538-2165
[10]Me. em Extensão Rural, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, adelmo.santana@ifsertao-pe.edu, 0000-0009-006-7265-0725;
[11]Dra em Agronomia, IFSertãoPE, Petrolina, Brasil, flavia.cartaxo@ifsertao-pe.edu.br, 0000-0002-4725-0889

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável - Educação e capacitação: formação de agricultores, tecnologias sociais e participação comunitária.

RESUMO

O canteiro econômico é uma das soluções para redução do consumo de água na produção da agricultura familiar. Trata-se de uma tecnologia social na qual a utilização de água é reduzida, utilizado principalmente no cultivo de hortaliças, condimentares e plantas medicinais, a principal diferença entre eles e os canteiros tradicionais é o volume de água que se utiliza para manter as produções. Prática viável de fácil manuseio que traz economia e rentabilidade a quem aplica essencialmente aos produtores da região Nordeste visto da luta por recursos hídricos. o objetivo desse projeto foi instalar um modelo de produção com o uso do mínimo de volume de água, através da confecção de canteiros econômicos, visando propor o cultivo e

comercialização de plantas medicinais e olerícolas, com o volume de água reduzida, gerando como nova alternativa de fonte de renda para região com escassez de água. Foram confeccionados 6 canteiros econômicos de 1m x 6m, no Núcleo de Extensão de Plantas Medicinais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano/PE, Campus Petrolina Zona Rural, onde foram cultivados olerícolas (coentro, cebolinha e alface) plantas medicinais (manjericão, capim santo, hortelã e menta). Os resultados foram satisfatórios para as hortaliças e medicinais produzidas nos canteiros econômicos, pois o consumo de água foi baixo quando comparado com os canteiros convencionais e o desenvolvimento e produtividade alcançaram bons índices. A implantação de um canteiro econômico traz possibilidades de entender como podemos alimentar de forma saudável, sem prejudicar o meio ambiente. Espera-se que o público alvo beneficiado passe a ser protagonista no processo depois da implantação do modelo de produção em canteiros econômicos, constituindo esse um ambiente ativo de trocas e construção de saberes, e que esse modelo sustentável possa ser construído em qualquer comunidade melhorando a qualidade de vida dos produtores de baixa renda da agricultura familiar.

Palavras-chave: Tecnologia social; escassez de água; produtores rurais.

RESÚMEN

El semillero económico es una solución para reducir el consumo de agua en la agricultura familiar. Se trata de una tecnología social que reduce el uso de agua y se utiliza principalmente para el cultivo de hortalizas, especias y plantas medicinales. La principal diferencia con los semilleros tradicionales reside en el volumen de agua necesario para mantener la producción. Esta práctica viable y de fácil implementación genera ahorro y rentabilidad para quienes la aplican, principalmente para los productores de la región Nordeste, dada la escasez de recursos hídricos. El objetivo de este proyecto fue implementar un modelo de producción con un consumo mínimo de agua mediante la creación de semilleros económicos. Esto buscaba promover el cultivo y la comercialización de plantas medicinales y hortalizas con un consumo reducido de agua, generando una nueva fuente de ingresos alternativa para una región con escasez de agua. Se crearon seis semilleros económicos de 1 m x 6 m en el Centro de Extensión de Plantas Medicinales del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sertão Pernambucano/PE, Campus Zona Rural de Petrolina, donde se cultivaron hortalizas (cilantro, cebollino y lechuga) y plantas medicinales (albahaca, limoncillo, menta y hierbabuena). Los resultados fueron satisfactorios para las hortalizas y plantas medicinales producidas en los bancales económicos, ya que el consumo de agua fue bajo en comparación con los bancales convencionales, y el desarrollo y la productividad alcanzaron buenos niveles. La implementación de un bancal económico brinda oportunidades para comprender cómo podemos alimentarnos de forma saludable sin dañar el medio ambiente. Se espera que el público objetivo se convierta en protagonista del proceso tras la implementación del modelo de producción en bancales económicos, constituyendo un entorno activo para el intercambio y el desarrollo de conocimientos. Este modelo sostenible puede implementarse en cualquier comunidad, mejorando la calidad de vida de los agricultores familiares de bajos ingresos

Palabras clave: Tecnología social; escasez de agua; productores rurales.

ABSTRACT

The economical seedbed is one solution for reducing water consumption in family farming. This is a social technology in which water use is reduced, used mainly in the cultivation of vegetables, spices and medicinal plants, the main difference between them and traditional beds is the volume of water used to maintain production. This viable, easy-to-use practice brings savings and profitability to those who apply it, primarily to producers in the Northeast region, given the struggle for water resources. The objective of this project was to implement a production model that uses minimal water through the creation of economical seedbeds. This aimed to promote the cultivation and marketing of medicinal and vegetable plants with reduced water consumption, generating a new alternative source of income for a water-scarce region. Six 1m x 6m economic beds were created at the Medicinal Plant Extension Center of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Sertão Pernambucano/PE, Petrolina Rural Zone Campus, where vegetables (cilantro, chives, and lettuce) and medicinal plants (basil, lemongrass, mint, and peppermint) were grown. The results were satisfactory for the vegetables and medicinal plants produced in the economic beds, as water consumption was low compared to conventional beds, and development and productivity achieved good levels. The implementation of an economic bed provides opportunities to understand how we can feed ourselves healthily without harming the environment. It is expected that the target audience will become protagonists in the process after the implementation of the production model in economic beds, constituting an active environment for exchange and knowledge development. This sustainable model can be implemented in any community, improving the quality of life of low-income family farmers.

Keywords: Social technology; water scarcity; rural producers.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Os canteiros econômicos surgem como as tecnologias sociais, que conforme (Oliveira Filho et al.,2018) marcam uma nova contextualização da agricultura familiar, além de contribuir de certa maneira no dia a dia, torna se uma alternativa para o aproveitamento de água, um meio de terapia funcional para quem utiliza essa técnica. O que diferencia um canteiro econômico de um canteiro convencional é que a água não se perde por infiltração, devido à impermeabilização, mas apenas por evapotranspiração. Sendo assim, as famílias gastam menos água para produzir num canteiro comparado ao convencional, pois a água fica acumulada em baixo, simulando um micro lençol freático (Leite et al., 2017).

A implantação de canteiros econômicos, associado ao uso de novas práticas de cultivo, apresenta-se como uma alternativa viável aos produtores, que visam a otimização do uso da água. Além de possibilitar a diminuição do gasto hídrico, as perdas por evaporação e

lixiviação tornam-se mínimas, uma vez que a aplicação da água ocorre de forma subsuperficial, impedindo sua passagem para as camadas mais profundas do solo (Sampaio et al., 2017).

Apesar de ser uma tecnologia de fácil acesso, ainda vem sendo pouco aproveitada, com isso se dá a importância da propagação dessa informação. E com as dificuldades vivenciadas pelos agricultores, principalmente no Semiárido, em que as condições climáticas dificultam a sustentabilidade dos sistemas produtivos convencionais (Bucks et al., 1998) os canteiros econômicos tornam- se uma ferramenta indispensável.

Passadas as primeiras duas décadas do século, estima-se que 60% das pessoas mais pobres do mundo sejam produtores rurais familiares, a grande maioria ocupando pequenas propriedades. Ao mesmo tempo, esses pequenos agricultores produzem cerca de 50% de todas as calorias que consumimos. Estes produtores que formam a chamada agricultura familiar, apesar de enfrentarem, muitas vezes sozinhos e institucionalmente indefesos, inúmeros desafios, são parceiros essenciais na luta contra a fome e a desnutrição, especialmente em regiões de baixa produtividade e alta vulnerabilidade, tais como as regiões semiáridas (Lasa, 2020).

A Lei da Agricultura Familiar, Lei 11.326 de julho de 2006, (Brasil, 2012), categoriza os agricultores do Semiárido nordestino, como agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural de até quatro módulos fiscais e predominantemente por meio de mão de obra familiar. O Nordeste Brasileiro, em 2017, possuía cerca de 3,9 milhões de propriedades rurais pertencentes à agricultura familiar (IBGE, 2017), nas quais os agricultores familiares cultivam nas áreas agrícolas hortaliças, culturas anuais e algumas, além da pecuária com pequenos animais (ovinos e caprinos). A maioria desses agricultores são de baixa renda.

O Semiárido brasileiro, mais do que qualquer outra área do país, é altamente dependente dos elementos climáticos, que definem, há séculos, a sobrevivência das famílias e dos rebanhos (Correia et al., 2011). Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias sociais e processos que atendam às demandas do Semiárido é imprescindível para o foco da agricultura familiar produtora de hortaliças, pecuária e outras culturas com fontes de renda alternativa.

Segundo Lasa (2020), a convivência com o Semiárido articula, de forma integrada, a

milenar história da região, a complexidade e sensibilidade do ecossistema Caatinga, bem como as potencialidades da flora forrageira, farmacológica, econômica e cultural. Ainda segundo o autor, essa construção paradigmática confere sentido filosófico, ético e político além de fornecer racionalidade técnica a todas as tecnologias sociais.

As Tecnologias Sociais são produtos, técnicas ou metodologias reaplicáveis e inovadoras, desenvolvidas em interação com a comunidade e que representam soluções efetivas de transformação social nas diversas realidades em que são aplicadas (Christopoulos, 2011). Os canteiros econômicos se enquadram em uma dessas tecnologias sociais, principalmente para serem instalados em região árida.

Essas tecnologias sociais têm desempenhado um papel fundamental na transformação da realidade do Semiárido, constituindo-se como elementos essenciais para a sustentabilidade do desenvolvimento rural. Elas promovem uma melhor qualidade de vida, geram renda para os produtores rurais de baixa renda e contribuem para a fixação do homem no campo. Essas tecnologias alternativas devem se adequar às expectativas da população desta região, entre elas está o canteiro econômico.

O canteiro econômico é uma das soluções para redução do consumo de água na produção da agricultura familiar. Trata-se de uma tecnologia social em que a utilização de água é reduzida, sendo aplicada principalmente no cultivo de hortaliças, plantas condimentares e medicinais. A principal diferença entre o canteiro econômico e os tradicionais está no volume de água que se utiliza para manter as produções. Essa prática viável e de fácil manuseio promove economia e rentabilidade, sendo especialmente relevante para os produtores da região Nordeste, que enfrentam constantes desafios relacionados aos recursos hídricos (Filho, 2020).

Nos canteiros econômicos, utilizam-se volumes reduzidos de águas na irrigação, o que proporciona diversos benefícios às famílias de agricultores de base familiar (Cruz et al., 2015). Com maior disponibilidade de água para produzir, o cultivo se fortalece, contribuindo para geração de renda fixa e melhoria da qualidade de vida das famílias.

Diante do exposto, o objetivo geral deste relato é apresentar a experiência na implantação de um modelo de produção que utiliza o mínimo de volume de água possível, por meio da confecção de canteiros econômicos, visando promover o cultivo e comercialização de plantas medicinais e olerícolas, como uma nova alternativa de fonte de

renda para agricultura familiar de baixa renda.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Atualmente, um dos maiores desafios é identificar e promover atividades produtivas que sejam inclusivas sob os aspectos tecnológicos e gerenciais, ou seja, que possibilitem a difusão tecnológica, democratizando e viabilizando a incorporação de inovações nas atividades das pequenas propriedades rurais (Sebrae, 2012). O uso de volumes reduzidos de águas, por meio de canteiros econômicos, surge como uma proposta viável para o cultivo e a comercialização de plantas medicinais e olerícolas, configurando-se como uma nova alternativa de fonte de renda para os agricultores.

Para elaborar um modelo de produção com o uso do mínimo de volume de água possível, foram confeccionados 6 canteiros econômicos de 1 m x 6 m, no Núcleo de Extensão de Plantas Medicinais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano/PE, Campus Petrolina Zona Rural, no segundo semestre de 2024. Nesses canteiros foram cultivados olerícolas (coentro, cebolinha e alface) plantas medicinais (capim santo, hortelã, chambá), seguindo os seguintes passos (Figura 1), seguindo etapas pré estabelecidas. Na confecção de cada canteiro econômico foi gasto R$ 175,00.

Etapas para confecção do canteiro econômico

1º Dimensionamento e marcação dos locais para os componentes: Canteiro de alvenaria e Sistema de aguação

2º Escavação: Buraco: 5,0m de comprimento x 1,2m de largura x 0,4 de profundidade

3º Produção de alvenaria de elevação em tijolos cerâmicos

4º Produção de piso grosso 6m²

5º Execução de amarrio externo com arame galvanizado

6º Montagem de tubulação em PVC com furos e cobertura com telhas sobre o piso de canteiro

7º Enchimento de canteiro com solo e composto orgânico.

Figura 1 - Instalação dos canteiros econômicos (a-i): a-d Dimensionamento e execução dos canteiros; e-f Instalação do sistema de aguação; g Plantio de canteiro; h Capacitação; i Cultivo de hortelã.

As espécies de olerícolas e medicinais foram cultivadas em espaçamento determinado pela literatura e em todo cultivo foi empregado o manejo agroecológico, com adubação orgânica.

Capacitação e oficinas

Após a instalação do modelo de produção com os canteiros econômicos, foi inicialmente ofertada uma capacitação para produtores de baixa renda, alunos e técnicos, além de um dia de campo aberto ao público (I Feira da Agricultura Familiar), que contou com a participação de 40 produtores de baixa renda.

Considerado um método eficiente de divulgação de tecnologias sociais e práticas agropecuárias sustentáveis, o dia de campo permite a troca de conhecimento, despertando e motivando nos participantes o interesse em adotar novas práticas (Emater-MG, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos canteiros econômicos após sua instalação foram cultivados olerícolas (coentro, cebolinha e alface) e plantas medicinais (manjericão, capim santo, hortelã e menta). A irrigação foi realizada duas vezes por semana com o auxílio de um balde, colocando cerca de 8l de água por irrigação, por meio de um cano de pvc. Em comparação, um canteiro tradicional utiliza cerca de 148 litros de água, o que demonstra que a economia de água na produção foi em média 82%. Esse resultado evidencia a eficácia da tecnologia, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade de água é limitada.

Os canteiros produziram cerca de 6kg folhas de olerícolas (coentro e cebolinha) por ciclo, além de 12 plantas de alface e cortes quinzenais de plantas medicinais para secagem e comercialização. O canteiro econômico representa uma solução eficiente para redução do consumo de água na produção da agricultura familiar, a principal diferença entre eles e os canteiros tradicionais é o volume de água que se utiliza para manter as produções. De acordo com Cruz et al., (2014) seus estudos tiveram resultados satisfatórios no cultivo de hortaliças produzidas em canteiros econômicos, pois o consumo de água nos canteiros econômicos foi baixo quando comparado com os canteiros convencionais ao mesmo tempo o desenvolvimento e produtividade alcançaram bons índices.

Muito se discute sobre a necessidade de desenvolver práticas voltadas para preservação do meio ambiente. Nesse sentido, a implantação de um canteiro econômico oferece a possibilidades de compreender como é possível produzir alimentos de forma saudável, sem causar prejuízo ao meio ambiente (Oliveira, 2020).

O modelo de produção de plantas medicinais e olerícolas com o uso mínimo de água: canteiros econômicos, um modelo alternativo para produção e fonte de renda para agricultura familiar de baixa renda, foi apresentado na I Feira de Agricultura Familiar, para 40 produtores. Durante a evento, foram ministradas palestras e oficinas abordando a confecção dos canteiros, custo de implantação e os resultados de produção. Além do mais, foram elaboradas e entregue uma cartilha ilustrada para que o participante possa replicar o modelo

em sua própria propriedade (Figura 2).

Figura 2 - Dia de campo (a-d): a-c I feira da agricultura familiar (capacitação); d Oficina da turma de agroindústria, IFSertão/CPZR.

Essas tecnologias sociais podem ser responsáveis pela transformação da realidade da região semiárida, constituindo-se como peças fundamentais para a sustentabilidade do desenvolvimento rural. Com o uso mínimo de água, elas contribuem para a melhoria da qualidade de vida, geram renda para os produtores rurais de baixa renda e fortalecem a permanência das famílias no campo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática de produção de canteiros econômicos é viável, de fácil manuseio e que

proporciona economia e rentabilidade a quem aplica, especialmente aos agricultores de baixa renda do Semiárido. Com maior disponibilidade de água para o cultivo, a produção se fortalece e contribui para a geração de renda fixa para a família.

O público alvo beneficiado passou a ser protagonista no processo depois da implantação do modelo de produção em canteiros econômicos, constituindo esse um ambiente ativo de trocas e construção de saberes, e que esse modelo sustentável possa ser construído em qualquer comunidade, melhorando a qualidade de vida dos produtores de baixa renda da agricultura familiar e principalmente em área com escassez de água.

AGRADECIMENTOS

A PROEXT, Campus Petrolina Zona Rural/IFsertãoPE e a Equipe do Núcleo de Extensão de Plantas Medicinais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bucks, D. A., and T. W. Sammis. 1998. *Irrigação em terras áridas.* Tradução de Marinho, F. J. L., e Baracui, J. G. V. Campina Grande, PB: UFPB.

Cruz, M. P., K. R. P. Cruz, W. B. da S. Soares, C. V. de C. Bezerra, and J. T. A. Souza. 2014. "Utilização de Canteiro Econômico como uma tecnologia alternativa para o Semiárido." In: *Congresso de Educação Agrícola Superior*, 9., Areia, PB.

Oliveira Filho, F. S., et al. 2018. "Produção de hortaliças com o uso eficiente de água em propriedades rurais do sítio Barrocas, Sousa-PB." *PRÁXIS: Saberes da Extensão* 6: 68–76.

Oliveira Filho, F. S., et al. 2018. "Produção de hortaliças com o uso eficiente de água em propriedades rurais do sítio Barrocas, Sousa-PB." *PRÁXIS: Saberes da Extensão* 6: 68–76.

OLIVEIRA, G. F. de; SANTOS CREPALDE, R. dos; KLEPKA, V. A construção de um canteiro econômico na Escola Estadual do Povoado de Nova Aurora (Norte Mineiro) no contexto de um projeto de intervenção do Estágio Supervisionado IV do curso de Licenciatura em Educação do Campo da UFTM. 2020. In: KIRI-KERÊ-PESQUISA EM ENSINO, v. 1, n. 4.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113229

RAÍZES DA TRANSFORMAÇÃO: ASSOCIATIVISMO PRODUTIVO DA AGRICULTURA FAMILIAR E QUILOMBOLA NO RECÔNCAVO

RAÍCES DE LA TRANSFORMACIÓN: ASSOCIATIVISMO PRODUCTIVO DE LA AGRICULTURA FAMILIAR Y QUILOMBOLA EN EL RECÓNCAVO

ROOTS OF TRANSFORMATION: PRODUCTIVE ASSOCIATIVISM OF FAMILY AND QUILOMBOLA AGRICULTURE IN THE RECÔNCAVO

Jamile Almeida dos Santos[1], Nilson Weisheimer[2] e Israel Marques Campos[3]

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Brasil, jamile.almeida@aluno.ufrb.edu.br, 0009-0001-1044-5498;
[2]Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Brasil, nilson_weisheimer@ufrb.edu.br, 0000-0002-6320-8402;
[3]Pesquisador de Pós-Doutordo, Universidade do Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Brasil, isracamposedh@gmail.com, 0000-0001-8514-8108;

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Educação e capacitação: formação de agricultores, tecnologias sociais e participação comunitária.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Educación y capacitación: formación de agricultores, tecnologías sociales y participación comunitaria.

Thematic Axis 07 – Sustainable Development
Education and training: farmer education, social technologies, and community participation.

RESUMO

O Programa de Extensão Universitária da Pós-Graduação (PROEXT-PG) Raízes da Transformação: tecendo rede de associações produtivas da agricultura familiar e quilombola no Recôncavo da Bahia reflete o compromisso da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) com o fortalecimento das comunidades rurais e tradicionais da região. Coordenado pelas Pró-Reitorias de Pós-Graduação, Pesquisa, Criação e Inovação (PPGCI) e de Extensão e Cultura (PROEXC), em parceria com programas de pós-graduação e instituições locais, o projeto teve início em 2024 e envolve dez associações distribuídas em nove municípios, alcançando cerca de 410 famílias agricultoras e quilombolas. O proeto Raízes da Transformação busca enfrentar desafios históricos que marcam o território, como desigualdades sociais, limitações produtivas, barreiras de acesso a mercados e políticas públicas. Sendo assim, seu objetivo principal é fortalecer a produção, a comercialização e a gestão coletiva das associações, unindo práticas agroecológicas, tecnologias sociais e formação cidadã em um processo construído coletivamente. A metodologia do programa valoriza o protagonismo de mulheres e jovens, adotando abordagens que integram ensino, pesquisa e extensão. Entre as ações realizadas, destacam-se a formação de uma equipe interdisciplinar, o estabelecimento de parcerias estratégicas e a aplicação do Diagnóstico Rápido Participativo (DRP), um instrumento essencial para compreender as demandas, potencialidades e desafios produtivos e organizacionais apresentados pelas comunidades. Essa iniciativa também promove capacitações em associativismo, gestão cooperativa, agregação de valor aos produtos,

práticas agroecológicas e acesso a políticas públicas, além de incentivar a presença dos grupos em eventos como o III SEIRECON. A fim de estreitar os laços entre os participantes, foram criados canais permanentes de comunicação, como grupos em aplicativos de mensagens e redes sociais, e desenvolvidas ações de visibilidade e comercialização, como por exemplo as feiras comunitárias, materiais de divulgação, logomarcas e rótulos elaborados em parceria com o CESOL Recôncavo. Os resultados já podem ser sentidos no cotidiano das comunidades: associações mais estruturadas, maior articulação entre grupos, ampliação de espaços de formação e diálogo, além de um reconhecimento crescente da produção local. O protagonismo de mulheres e jovens merece destaque, suas iniciativas têm impulsionado inovações produtivas, fortalecendo vínculos comunitários e ampliado as estratégias de desenvolvimento sustentável. O Raízes da Transformação reafirma, assim, que a extensão universitária, quando guiada pela escuta, pelo diálogo e pela participação social, é capaz de gerar impactos reais, promovendo autonomia produtiva, justiça social e valorização cultural no Recôncavo da Bahia.

Palavras-chave: Extensão universitária, Povos tradicionais, Economia solidária, Juventude, Desenvolvimento sustentável

RESÚMEN

El Programa de Extensión Universitaria de Posgrado (PROEXT-PG) Raíces de la Transformación: tejiendo una red de asociaciones productivas de la agricultura familiar y quilombola en el Recôncavo de Bahía refleja el compromiso de la Universidad Federal del Recôncavo de Bahía (UFRB) con el fortalecimiento de las comunidades rurales y tradicionales de la región. Coordinado por las Pro-Rectorías de Posgrado, Investigación, Creación e Innovación (PPGCI) y de Extensión y Cultura (PROEXC), en colaboración con programas de posgrado e instituciones locales, el proyecto comenzó en 2024 e involucra a diez asociaciones distribuidas en nueve municipios, alcanzando a unas 410 familias agricultoras y quilombolas. El proyecto Raíces de la Transformación busca enfrentar los desafíos históricos que marcan el territorio, como las desigualdades sociales, las limitaciones productivas y las barreras de acceso a los mercados y a las políticas públicas. Su objetivo principal es fortalecer la producción, la comercialización y la gestión colectiva de las asociaciones, integrando prácticas agroecológicas, tecnologías sociales y formación ciudadana en un proceso construido colectivamente. La metodología del programa valora el protagonismo de mujeres y jóvenes, adoptando enfoques que integran enseñanza, investigación y extensión. Entre las acciones realizadas se destacan la formación de un equipo interdisciplinario, el establecimiento de alianzas estratégicas y la aplicación del Diagnóstico Rápido Participativo (DRP), una herramienta esencial para comprender las demandas, potencialidades y desafíos productivos y organizativos presentados por las comunidades. Esta iniciativa también promueve capacitaciones en asociativismo, gestión cooperativa, agregación de valor a los productos, prácticas agroecológicas y acceso a políticas públicas, además de incentivar la participación de los grupos en eventos como el III SEIRECON. Con el fin de fortalecer los lazos entre los participantes, se crearon canales permanentes de comunicación, como grupos en aplicaciones de mensajería y redes sociales, y se desarrollaron acciones de visibilidad y comercialización, como ferias comunitarias, materiales de divulgación, logotipos y etiquetas elaborados en colaboración con CESOL Recôncavo. Los resultados ya se sienten en el día a día de las comunidades: asociaciones más estructuradas, mayor articulación entre grupos, ampliación de espacios de formación y diálogo, y un creciente reconocimiento de la producción local. El

protagonismo de mujeres y jóvenes merece especial atención, ya que sus iniciativas han impulsado innovaciones productivas, fortalecido los vínculos comunitarios y ampliado las estrategias de desarrollo sostenible. Raíces de la Transformación reafirma así que la extensión universitaria, cuando se guía por la escucha, el diálogo y la participación social, es capaz de generar impactos reales, promoviendo la autonomía productiva, la justicia social y la valorización cultural en el Recôncavo de Bahía.

Palabras clave: Extensión universitaria, Pueblos tradicionales, Economía solidaria, Juventud, Desarrollo sostenible

ABSTRACT

The University Extension Program of Graduate Studies (PROEXT-PG) Roots of Transformation: weaving a network of productive associations of family and quilombola agriculture in the Recôncavo of Bahia reflects the commitment of the Federal University of Recôncavo of Bahia (UFRB) to strengthening rural and traditional communities in the region. Coordinated by the Pro-Rectorates of Graduate Studies, Research, Creation and Innovation (PPGCI) and of Extension and Culture (PROEXC), in partnership with graduate programs and local institutions, the project began in 2024 and involves ten associations distributed across nine municipalities, reaching approximately 410 farming and quilombola families. The Roots of Transformation project seeks to address historical challenges affecting the territory, such as social inequalities, production limitations, and barriers to access to markets and public policies. Its main objective is to strengthen the production, commercialization, and collective management of associations, combining agroecological practices, social technologies, and civic education in a process built collectively. The program's methodology values the protagonism of women and youth, adopting approaches that integrate teaching, research, and extension. Among the actions carried out are the formation of an interdisciplinary team, the establishment of strategic partnerships, and the application of the Participatory Rapid Diagnosis (DRP), an essential tool to understand the demands, potentialities, and productive and organizational challenges presented by the communities. This initiative also promotes training in associativism, cooperative management, product value addition, agroecological practices, and access to public policies, as well as encouraging the participation of groups in events such as the III SEIRECON. To strengthen the bonds among participants, permanent communication channels were created, such as messaging apps and social media groups, and visibility and commercialization actions were developed, such as community fairs, promotional materials, logos, and labels produced in partnership with CESOL Recôncavo. The results are already felt in the daily lives of the communities: more structured associations, greater coordination among groups, expanded spaces for training and dialogue, and growing recognition of local production. The protagonism of women and youth deserves special attention, as their initiatives have driven productive innovations, strengthened community ties, and expanded sustainable development strategies. Roots of Transformation thus reaffirms that university extension, when guided by listening, dialogue, and social participation, is capable of generating real impacts, promoting productive autonomy, social justice, and cultural appreciation in the Recôncavo of Bahia.

Keywords: University extension, Traditional peoples, Solidarity economy, Youth, Sustainable

development

INTRODUÇÃO

O Programa de Extensão Universitária da Pós-Graduação (PROEXT-PG) foi criado pela Portaria Conjunta CAPES/SESU nº 1, de 8 de novembro de 2023, para incentivar ações de extensão que estejam ligadas aos programas de pós-graduação. Em resposta ao Ofício Circular nº 27/2023-GAB/PR/CAPES, a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), por meio da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação, Criação e Inovação (PPGCI), demonstrou interesse em participar do programa, indicando o professor Nilson Weisheimer como responsável por enviar a proposta e gerenciar as atividades na instituição. No dia 7 de dezembro de 2023, a iniciativa intitulada "Raízes da Transformação: tecendo rede de associações produtivas da agricultura familiar e quilombola no Recôncavo da Bahia" foi aprovada sob o processo nº 88887.925239/2023-00, com validade de 1º de novembro de 2023 até 31 de dezembro de 2028.

A escolha do Recôncavo Baiano como área de atuação está relacionada à sua importância histórica e cultural, a região tem um peso enorme na formação do Brasil, entretanto, carrega desafios antigos no meio rural. A agricultura familiar, que é tão fundamental para esse local, enfrenta diversos obstáculos, como infraestrutura precária, baixa tecnologia na produção, dificuldades na gestão e na comercialização, acesso limitado a crédito e assistência técnica, além de baixos níveis de capacitação. Esses problemas afetam especialmente as juventudes e as mulheres, que representam uma parcela mais vulnerável nesse cenário (Anjos, 2020).

Além disso, esses desafios impactam diretamente comunidades ligadas às tradições quilombolas. Devido às desigualdades históricas, elas costumam enfrentar maiores dificuldades na organização, na adoção de tecnologias e na economia local. Isso acaba comprometendo sua autonomia produtiva e a gestão dos seus territórios, dificultando o desenvolvimento sustentável dessas comunidades.

O associativismo e a economia solidária se configuram como estratégias imprescindíveis para a geração de renda, a valorização dos saberes locais e a construção de alternativas sustentáveis de desenvolvimento rural (Chambers, 1994). O projeto de extensão Raízes da Transformação atua junto a associações comunitárias que reúnem agricultores e

quilombolas, com o objetivo de fortalecer a produção, a comercialização e a gestão coletiva de recursos. Para isso, adota práticas extensionistas pautadas na participação ativa das comunidades e na articulação com programas de pós-graduação, de modo a potencializar processos formativos e organizativos, promovendo práticas agroecológicas, difundindo tecnologias sociais e ampliando o acesso a políticas públicas, com ênfase no protagonismo de mulheres e jovens.

Essas ações são orientadas por princípios metodológicos que garantem o protagonismo comunitário e a construção coletiva do conhecimento, como a Educação Popular (Freire, 2018), que propõe uma prática educativa voltada ao diálogo, à valorização dos saberes locais e à elaboração conjunta de soluções. No contexto do Recôncavo, os agricultores e membros de comunidades quilombolas deixam de ser somente ouvintes e passam a ter um papel central no aprendizado, contribuindo com suas vivências para moldar táticas que atendam às necessidades específicas de cada região.

Ao observar o andamento das ações, nota-se que a proposta materializa o tema "Desenvolvimento Sustentável - Educação e capacitação: formação de agricultores, tecnologias sociais e participação comunitária". Trabalhar com populações rurais em situação de vulnerabilidade, investindo em formação cidadã e fortalecimento coletivo, tem gerado resultados visíveis, tanto na autonomia das comunidades quanto na integração da universidade com a sociedade.

Assim, o Raízes da Transformação simboliza um esforço concreto e passível de reprodução para educar cidadãos, impulsionar a agricultura familiar e estimular o progresso sustentável em cenários tradicionalmente afetados pela marginalização, reafirmando o papel da extensão universitária como prática transformadora e dedicada aos indivíduos rurais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto de extensão universitária "Raízes da Transformação: tecendo rede de associações produtivas da agricultura familiar e quilombola no Recôncavo da Bahia" está em desenvolvimento desde 2024, com previsão de execução até 2026, embora exista a possibilidade de prorrogação, conforme as necessidades das comunidades envolvidas. A iniciativa ocorre em dez comunidades rurais e quilombolas distribuídas pelos municípios de Cachoeira, Muritiba, Maragogipe, Governador Mangabeira, Santo Antônio de Jesus, São

Felipe, Conceição do Almeida, Castro Alves e Nazaré das Farinhas, totalizando cerca de 410 famílias participantes.

Inicialmente, o projeto concentrou-se na organização interna, com a formação da equipe executora composta por docentes, discentes e técnicos, assegurando a articulação interdisciplinar das ações. Paralelamente, estabeleceram-se parcerias com órgãos públicos, movimentos sociais, associações locais e entidades de apoio técnico, ampliando a legitimidade e fortalecendo a rede de colaboração. Com a equipe consolidada, elaborou-se o planejamento das atividades de campo, incluindo fluxos de atuação, cronogramas, protocolos de visita e instrumentos como questionários, listas de presença e termos de uso de imagem, validados de forma participativa para adequação às especificidades locais.

A mobilização comunitária ocorreu por meio de visitas, rodas de conversa e reuniões abertas, que apresentaram o projeto, esclareceram dúvidas e firmaram compromissos coletivos. Nesse processo, aplicou-se o Diagnóstico Rápido Participativo (DRP), técnica que combina oficinas, diálogos e observações de campo, permitindo identificar demandas, potencialidades e desafios locais (Freitas, 2013). Para manter o diálogo constante, foram criados canais de comunicação em aplicativos de mensagens e perfis em redes sociais digitais. Esses espaços têm funcionado como apoio técnico, meio de organização e também como ferramenta de divulgação das ações e dos resultados obtidos.

A partir das demandas levantadas, foram planejadas formações temáticas e inserção em eventos conforme o interesse dos participantes, como por exemplo, o III SEIRECON - III Simpósio de Empreendedorismo e Inovação do Recôncavo, onde foi fornecido apoio financeiro e logístico, montagem de estandes e materiais de divulgação que possibilitaram a comercialização e maior visibilidade de seus produtos. Essas atividades buscaram incentivar a participação de mulheres e jovens, reconhecendo o papel essencial desses grupos na vitalidade das comunidades rurais.

De modo geral, a metodologia do projeto se baseia na integração entre ensino, pesquisa e extensão. Cada ação é planejada de forma a garantir a participação efetiva das comunidades em todas as etapas, desde o diagnóstico até a execução das atividades. Com isso, tem sido possível fortalecer as capacidades técnicas, organizacionais e produtivas das associações, estimulando o protagonismo social, a sustentabilidade e a consolidação do associativismo no Recôncavo da Bahia.

Figura 1. Integrantes da Associação Santa Sofia, de Nazaré das Farinhas, junto à equipe do Raízes da Transformação, comercializando produtos da agricultura familiar na Feira Raízes da Transformação.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o presente momento, o projeto Raízes da Transformação tem alcançado resultados expressivos, especialmente no fortalecimento comunitário e na ampliação de espaços de formação, socialização e visibilidade. As ações têm refletido diretamente nos objetivos definidos neste trabalho, cumprindo com a promoção de metodologias participativas, qualificação técnica e inclusão dos grupos em redes de comercialização solidária.

Um dos primeiros resultados foi o levantamento das informações locais por meio do Diagnóstico Rápido Participativo (DRP). Essa etapa envolveu visitas às comunidades, rodas de conversa e observações diretas sobre o modo de produção e organização das famílias. O processo revelou diversas demandas, muitas delas relacionadas à capacitação técnica voltadas para agregação de valor aos produtos, visto que às dez associações ainda se encontram reféns dos atravessadores que compram suas mercadorias por um preço inadequado a fim de revender. Apesar das barreiras, o estudo também mostrou potencialidades, isso estimulou o sentimento de pertencimento e de corresponsabilidade entre os participantes, que passaram a se reconhecer como parte ativa do planejamento das próximas ações.

Outro ponto de destaque foi a participação das associações na Feira Raízes da Transformação, uma experiência que possibilitou não apenas o escoamento direto de seus produtos, mas também a divulgação de suas marcas e a ampliação da visibilidade regional. Nessa mesma ação, vale ressaltar a fabricação de rótulos e logomarcas para as associações,

realizada em parceria com a Centro de Economia Solidária do Recôncavo Baiano (CESOL), o que conferiu maior profissionalização à apresentação dos produtos, ampliando as possibilidades de acesso a mercados formais e diversificados.

No campo da formação e capacitação, destacam-se as atividades desenvolvidas no âmbito do SEIRECON, que integraram oficinas temáticas, rodas de conversa, mesas-redondas, palestras e encontros. Esses momentos promoveram a troca de experiências entre as comunidades e os atores sociais, respondendo diretamente ao objetivo de ampliar a qualificação técnica e social das associações. Nesse contexto, observou-se o engajamento da juventude rural, cuja participação merece atenção especial, considerando os desafios relacionados à invisibilidade social e à multiplicidade de trajetórias no campo, aspectos apontados por Weisheimer (2015) como elementos centrais para compreender as realidades juvenis no meio rural.

A realização do Encontro PROEXT/PG do Raízes da Transformação também merece evidência, isso porque, favoreceu a socialização dos resultados já alcançados, especialmente os do diagnóstico participativo, e abriu espaço para o debate sobre as próximas etapas do projeto. Esse encontro foi um marco avaliativo e reflexivo, no qual se reforçou a importância do planejamento coletivo e contínuo, ao mesmo tempo em que se consolidou o diálogo entre comunidades, universidades e parceiros institucionais.

Por fim, os canais permanentes de comunicação continuam sendo utilizados para o acompanhamento, os grupos no aplicativo de mensagem Whatsapp e o perfil do projeto no Instagram, vêm desempenhando um papel fundamental na circulação de informações e no registro das ações. Essas ferramentas têm possibilitado o apoio técnico de forma constante, mesmo fora dos encontros presenciais os membros do projeto conseguem interagir e fornecer suporte às comunidades.

De forma geral, os resultados parciais mostram um fortalecimento visível da organização comunitária e do protagonismo local. As associações têm ampliado sua presença em espaços de decisão, aprimorado práticas produtivas e desenvolvido novas formas de gestão e comercialização. O projeto, assim, se consolida como um processo coletivo de aprendizagem e transformação territorial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de extensão Raízes da Transformação se configura como uma experiência inovadora de fortalecimento da produção, da comercialização e da gestão coletiva de associações comunitárias de agricultores e quilombolas do Recôncavo Baiano.

Nesse sentido, o projeto cumpre seu objetivo maior de difusão de práticas agroecológicas, tecnologias sociais e metodologias participativas que possibilitam a autonomia produtiva e consolidam o protagonismo feminino e dos mais jovens nas comunidades. O conhecimento construído coletivamente e a ativa participação das associações têm sido fundamentais no desenvolvimento de proposições locais de organização, valorização dos saberes locais e integração na economia solidária.

Quanto às perspectivas futuras, é preciso dar continuidade nas ações formativas, na intensificação da participação das comunidades em eventos e na manutenção dos espaços de diálogo e aprendizado coletivo. Tais ações contribuirão para a consolidação e sustentabilidade das iniciativas, permitindo a ampliação do impacto social, bem como o fortalecimento e a replicabilidade do projeto em outros contextos rurais. Também é importante reconhecer a necessidade de ampliar parcerias institucionais e promover uma integração mais efetiva com políticas públicas de apoio à agricultura familiar, embora essas articulações estejam sendo desenvolvidas, sua consolidação é um desafio estratégico para assegurar a sustentabilidade das ações para além do ciclo do projeto.

Em síntese, o Raízes da Transformação evidencia que ações extensionistas fundamentadas na participação comunitária, podem apoiar o desenvolvimento da agricultura familiar e quilombola em territórios historicamente desfavorecidos. Diante dos resultados e do potencial de fortalecimento de ações, a extensão universitária cumpre sua proposta de alteração social ao consolidar práticas sustentáveis, colaborativas e replicáveis, bem como sua proposta ao promover a resiliência e a autonomia de suas comunidades.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, SEPROMI, CESOL, PPGCI/UFRB e CINOVA/UFRB pelo apoio, e às comunidades rurais e quilombolas pelo protagonismo e saberes que tornam possível esta construção coletiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, E. G. dos; ROCHA, A. G.; SILVA, D. O. da; SIMÃO, F. S. Reflexos do cooperativismo da agricultura familiar no desenvolvimento territorial na Bahia. **Revista de Gestão e Organizações Cooperativas - RGC**, v. 7, n. 14, p. 89–101, jul./dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.5902/2359043241123.

CHAMBERS, R. Participatory Rural Appraisal (PRA): Analysis of Experiences. **World Development** v. 22, n. 9, p. 1253-1268, 1994.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa***:* métodos quantitativo, qualitativo e mistos. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERREIRA DE FREITAS, A.; FREITAS, A. F. de; DIAS, M. O uso do diagnóstico rápido participativo (DRP) como metodologia de projetos de extensão universitária. **Revista Em Extensão** 11, n. 2 (2013). DOI: https://doi.org/10.14393/REE-v11n22012-20780.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 65. ed. Rio de Janeiro; São Paulo: Paz e Terra, 2018.

MARKOVÁ, I. **Mente dialógica***: senso comum e ética.* Trad. Lilian Ulup. São Paulo: Fundação Carlos Chagas; Curitiba: PUCPRess, 2017.

NOGUEIRA, M. das D. P. (org.). **Avaliação da extensão universitária***:* práticas e discussões da Comissão Permanente de Avaliação da Extensão. Belo Horizonte: FORPROEX/CPAE; PROEX/UFMG, 2013. Disponível em https://www.ufmg.br/proex/renex/images/avalia%C3%A7%C3%A3o_da_extens%C%A3o-_livro_8.pdf. Acesso em 25 set. 2024.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez; Autores Associados, 1986.

WEISHEIMER, N. Juventude rural: invisibilidade e múltiplas trajetórias. **Desidades - Revista Eletrônica de Divulgação Científica da Infância e Juventude**, n. 7, p. 17-23, 2015. Disponível em https://revistas.ufrj.br/index.php/desidades/article/view/2457. Acesso em 2 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113268

PARCERIAS RURAIS E A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ÁGUA EM COMUNIDADES DO SISAR NO CEARÁ

RURAL PARTNERSHIPS AND THE UNIVERSALIZATION OF WATER ACCESS IN SISAR COMMUNITIES IN CEARÁ

ALIANZAS RURALES Y LA UNIVERSALIZACIÓN DEL ACCESO AL AGUA EN COMUNIDADES DEL SISAR EN CEARÁ

Naiane Lima[1], Otaciana Ribeiro[2], Larine Vale[3] e Sheila Gondim[4]

[1]Mestre em Saneamento Ambiental, CAGECE, Fortaleza - Ceará, Brasil, naiane.lima@cagece.com.br;
[2]Mestre em Gestão de Recursos Hídricos, CAGECE, Fortaleza - Ceará, Brasil, otaciana.alves@cagece.com.br;
[3]Tecnóloga em Saneamento Ambiental, CAGECE, Fortaleza - Ceará, Brasil, larinevale@gmail.com;
[4]Engenheira Civil, CAGECE, Fortaleza – Ceará, Brasil, sheila.darling@cagece.com.br.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
Desafios e oportunidades na universalização do saneamento rural

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
Desafíos y oportunidades en la universalización del saneamiento rural.

RESUMO

A universalização do acesso ao saneamento básico em áreas rurais representa um dos maiores desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil, especialmente em estados do semiárido como o Ceará, onde mais de dois milhões de pessoas residem em comunidades rurais marcadas por elevada vulnerabilidade socioeconômica. Nesse contexto, este trabalho apresenta a experiência de implementação de um modelo de parcerias rurais desenvolvido pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), em cooperação com o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), prefeituras municipais e associações comunitárias, que tem como objetivo ampliar o abastecimento de água potável em localidades fora da área de concessão da companhia. A iniciativa busca enfrentar desigualdades históricas, reduzir impactos da pobreza e promover a dignidade humana, em alinhamento direto com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), referente à garantia de água potável e saneamento para todos. O desenvolvimento da experiência ocorre a partir de uma norma específica que regulamenta as parcerias rurais. O processo inicia-se com a solicitação das comunidades, seguida da análise técnica e social conduzida pelo SISAR e pela Gerência de Saneamento Rural da CAGECE, que avaliam a viabilidade do projeto considerando fatores como situação hídrica e elétrica, número de famílias e grau de organização comunitária. Na etapa de execução, a CAGECE fornece os materiais, o SISAR coordena a instalação, as prefeituras contribuem com a infraestrutura de apoio e as associações comunitárias participam ativamente, garantindo corresponsabilidade. Após a conclusão, o sistema é monitorado de forma contínua, assegurando eficiência e sustentabilidade a longo prazo. Entre os principais desafios enfrentados, destacam-se a elevada demanda reprimida por saneamento

básico em comunidades rurais e as limitações orçamentárias para atender a todas as solicitações. Apesar disso, os resultados obtidos demonstram a eficácia do modelo. Em 2023, em apenas três meses, foram beneficiadas 70 comunidades de 34 municípios, atendendo 11.219 pessoas e implantando cerca de 388 km de tubulações. Em 2024, o alcance foi ampliado para 84 comunidades de 44 municípios, beneficiando mais de 42 mil pessoas com a instalação de quase 340 km de tubulações. Diante desse impacto positivo e da alta procura, o investimento anual da CAGECE foi ampliado de R$ 5 milhões para R$ 10 milhões, possibilitando a expansão do programa. Os resultados confirmam que a experiência vai além da infraestrutura física, promovendo inclusão social, melhoria da saúde pública pela redução de doenças de veiculação hídrica, fortalecimento do associativismo comunitário e preservação ambiental. Conclui-se que o modelo de parcerias rurais constitui uma política pública inovadora, sustentável e replicável, capaz de articular Estado, empresa pública e sociedade civil em torno da universalização do acesso à água de qualidade no meio rural, configurando-se como referência para outros territórios do semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável, gestão comunitária, parcerias, políticas públicas, saneamento rural.

RESÚMEN

La universalización del acceso al saneamiento básico en áreas rurales representa uno de los mayores desafíos del desarrollo sostenible en Brasil, especialmente en estados semiáridos como Ceará, donde más de dos millones de personas residen en comunidades rurales marcadas por una elevada vulnerabilidad socioeconómica. En este contexto, este trabajo presenta la experiencia de implementación de un modelo de asociaciones rurales desarrollado por la Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), en cooperación con el Sistema Integrado de Saneamiento Rural (SISAR), ayuntamientos y asociaciones comunitarias, cuyo objetivo es ampliar el suministro de agua potable en localidades fuera del área de concesión de la compañía. La iniciativa busca enfrentar desigualdades históricas, reducir impactos de la pobreza y promover la dignidad humana, en alineación directa con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6), referente a la garantía de agua potable y saneamiento para todos. El desarrollo de la experiencia se basa en una norma específica que regula las asociaciones rurales. El proceso se inicia con la solicitud de las comunidades, seguida de un análisis técnico y social realizado por SISAR y la Gerencia de Saneamiento Rural de CAGECE, que evalúan la viabilidad del proyecto considerando factores como la situación hídrica y eléctrica, el número de familias y el grado de organización comunitaria. En la etapa de ejecución, CAGECE proporciona los materiales, SISAR coordina la instalación, los ayuntamientos contribuyen con la infraestructura de apoyo y las asociaciones comunitarias participan activamente, garantizando la corresponsabilidad. Tras la finalización, el sistema es monitoreado continuamente, asegurando eficiencia y sostenibilidad a largo plazo. Entre los principales desafíos enfrentados se destacan la elevada demanda reprimida de saneamiento básico en comunidades rurales y las limitaciones presupuestarias para atender todas las solicitudes. A pesar de ello, los resultados obtenidos demuestran la eficacia del modelo. En 2023, en solo tres meses, se benefició a 70 comunidades de 34 municipios, atendiendo a 11.219 personas e implantando cerca de 388 km de tuberías. En 2024, el alcance se amplió a 84 comunidades de 44 municipios, beneficiando a más de 42 mil personas con la instalación de casi 340 km de tuberías. Ante este impacto positivo y la alta demanda, la inversión anual de CAGECE se amplió de R$ 5 millones a R$ 10 millones, posibilitando la expansión del

programa. Los resultados confirman que la experiencia va más allá de la infraestructura física, promoviendo la inclusión social, la mejora de la salud pública mediante la reducción de enfermedades de transmisión hídrica, el fortalecimiento del asociacionismo comunitario y la preservación del medio ambiente. Se concluye que el modelo de asociaciones rurales constituye una política pública innovadora, sostenible y replicable, capaz de articular al Estado, la empresa pública y la sociedad civil en torno a la universalización del acceso al agua de calidad en el medio rural, configurándose como referencia para otros territorios semiáridos brasileños.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, gestión comunitaria, alianzas, políticas públicas, saneamiento rural.

ABSTRACT

The universalization of access to basic sanitation in rural areas represents one of the greatest challenges for sustainable development in Brazil, especially in semi-arid states like Ceará, where over two million people reside in rural communities marked by high socioeconomic vulnerability. In this context, this paper presents the experience of implementing a rural partnership model developed by the Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), in cooperation with the Integrated Rural Sanitation System (SISAR), municipal governments, and community associations. This model aims to expand the supply of potable water to localities outside the company's concession area. The initiative seeks to address historical inequalities, reduce the impacts of poverty, and promote human dignity, in direct alignment with Sustainable Development Goal 6 (SDG 6), which concerns ensuring access to clean water and sanitation for all. The development of this experience is based on a specific regulation that governs rural partnerships. The process begins with requests from communities, followed by a technical and social analysis conducted by SISAR and CAGECE's Rural Sanitation Management, which assess project viability considering factors such as water and electricity availability, the number of families, and the degree of community organization. During the execution phase, CAGECE provides materials, SISAR coordinates installation, municipal governments contribute with supporting infrastructure, and community associations actively participate, ensuring co-responsibility. After completion, the system is continuously monitored, ensuring long-term efficiency and sustainability. Among the main challenges faced are the high unmet demand for basic sanitation in rural communities and budgetary limitations to address all requests. Despite these challenges, the results obtained demonstrate the model's effectiveness. In 2023, in just three months, 70 communities in 34 municipalities were benefited, serving 11,219 people and implementing approximately 388 km of pipelines. In 2024, the scope was expanded to 84 communities in 44 municipalities, benefiting over 42,000 people with the installation of almost 340 km of pipelines. Given this positive impact and high demand, CAGECE's annual investment was increased from R$ 5 million to R$ 10 million, enabling the program's expansion. The results confirm that the experience extends beyond physical infrastructure, promoting social inclusion, improving public health by reducing waterborne diseases, strengthening community associations, and preserving the environment. It is concluded that the rural partnership model constitutes an innovative, sustainable, and replicable public policy, capable of articulating the State, public companies, and civil society around the universalization of access to quality water in rural areas, establishing itself as a reference for other semi-arid territories in Brazil.

Keywords: Community management, partnerships, public policies, rural sanitation, sustainable development.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

No Brasil, a desigualdade social é um problema crônico, com manifestações particularmente severas e complexas no meio rural. No Ceará, onde aproximadamente 2,1 milhões de pessoas vivem em áreas rurais (IBGE 2022), a falta de acesso a serviços essenciais como o saneamento básico agrava a vulnerabilidade socioeconômica. Embora a renda média domiciliar *per capita* no estado seja de R$ 1.210,00 (PNAD Contínua 2024), essa média esconde uma grande disparidade: a renda no interior rural é substancialmente menor, e cerca de 16% da população rural vive em situação de extrema pobreza (IPECE, 2024).

A falta de acesso a serviços de saneamento básico adequado nas áreas rurais resulta em graves consequências, como a proliferação de doenças infecciosas, a contaminação de fontes de água e a degradação ambiental. Esses problemas não afetam apenas a saúde individual, mas também comprometem a dignidade humana e o desenvolvimento social, perpetuando um ciclo de exclusão. A Organização das Nações Unidas (ONU) reconhece o acesso à água potável e ao saneamento como um direito humano fundamental, crucial para a erradicação da pobreza e a promoção da igualdade de gênero. A ausência desses serviços viola esse direito, impactando negativamente a vida de milhões de pessoas.

Diante desse panorama, o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), criado em 1996, representa um parceiro fundamental. Como uma associação civil que promove a gestão compartilhada de sistemas de abastecimento de água, o SISAR já demonstrou sua eficácia em fortalecer o associativismo e garantir a sustentabilidade do abastecimento em áreas rurais. A Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), por meio da Gerência de Saneamento Rural (GESAR), ao estabelecer a norma de execução de parcerias rurais, cria a oportunidade de expandir essa colaboração.

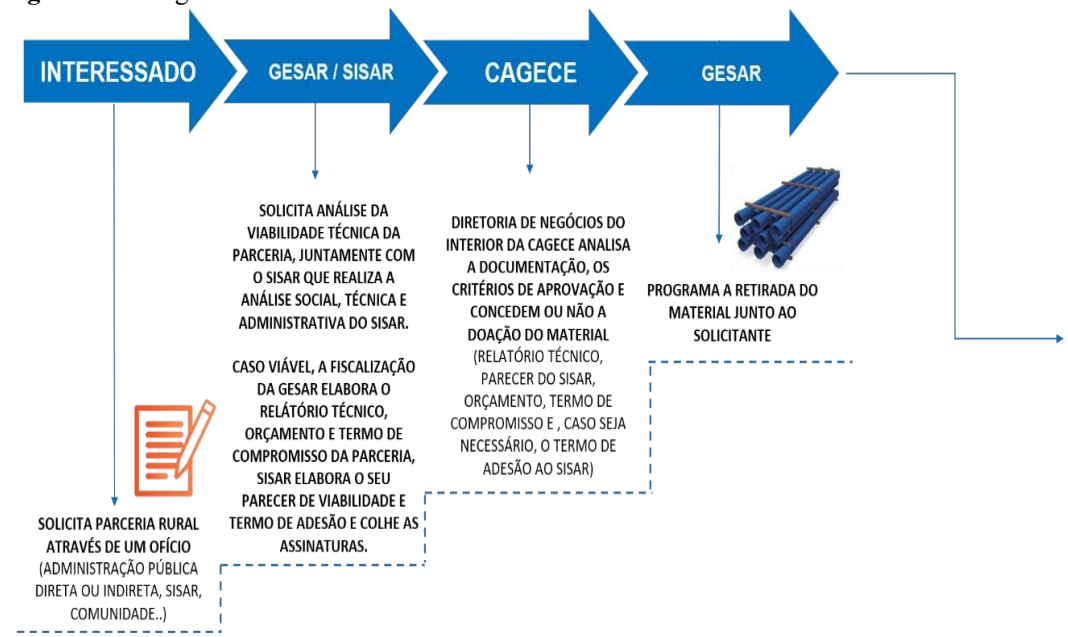
A norma permite a doação de materiais para ampliações de sistemas de abastecimento de água em comunidades rurais complementando o modelo do SISAR e direcionando investimentos de forma estratégica e socialmente responsável, em alinhamento com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), que visa garantir a disponibilidade e a

gestão sustentável da água e saneamento para todos. O principal objetivo deste projeto é a universalização do acesso à água de qualidade em comunidades rurais, por meio da operacionalização dessas parcerias, com ênfase nas áreas sob gestão do SISAR.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A metodologia do projeto é aprimorada para focar na equidade, na sustentabilidade e na eficiência. O processo segue um fluxograma desde a solicitação da parceria até a conclusão da obra (Figura 1). Conforme esse fluxograma, a Gerência de Saneamento Rural (GESAR), em parceria com o SISAR, realiza visitas para avaliar a viabilidade das parcerias rurais. Essa análise considera a situação hídrica e elétrica, o número de famílias e, crucialmente, a capacidade de organização da comunidade. O parecer administrativo, técnico e social do SISAR é crucial para garantir que as soluções propostas sejam adequadas ao contexto local.

Figura 1. Fluxograma do Processo de Parcerias Rurais



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na fase de Execução e Gestão Compartilhada, a CAGECE (através da Gerência de Suprimentos - GESUP) é responsável pela doação dos materiais para a ampliação das redes de distribuição. A execução das obras é realizada pelo SISAR, com apoio da prefeitura, que fica encarregada da escavação e do reaterro. As associações comunitárias têm participação ativa no processo. Para o Acompanhamento e Monitoramento Contínuo, a GESAR realiza o

acompanhamento mensal dos investimentos e monitora o progresso das obras. Ao final de cada projeto, o Termo de Conclusão da Obra será emitido, formalizando a entrega do benefício e permitindo o arquivamento do processo. O acompanhamento pós-obra é realizado pelo SISAR para assegurar a sustentabilidade e a correta operação do sistema.

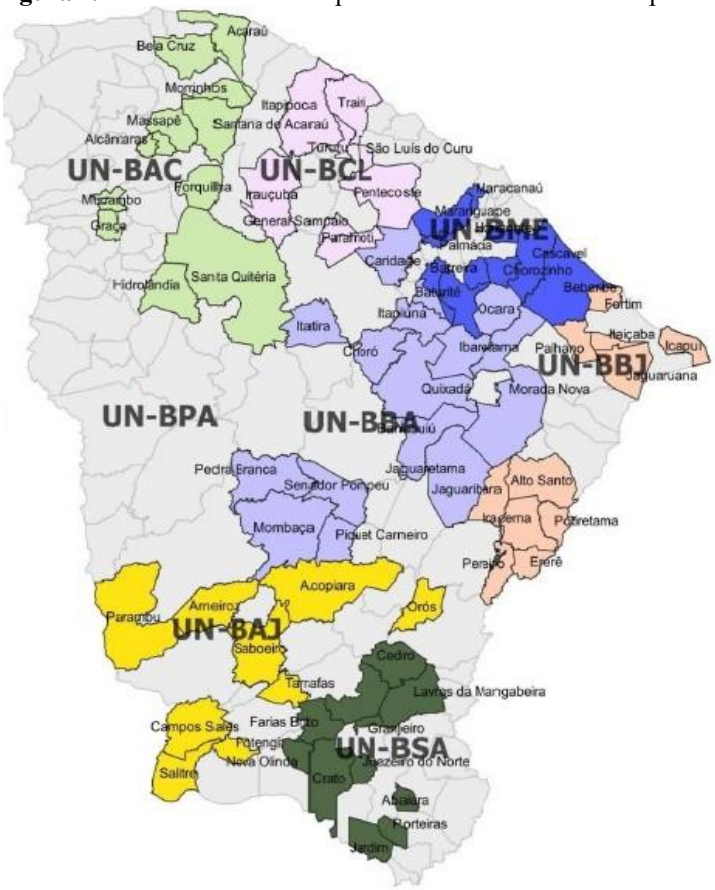
O projeto é financiado por uma alocação anual de **R$ 5.000.000,00** da CAGECE, aprovada pela Assembleia Geral em abril de 2023. Essa decisão é amparada pela Política de Distribuição de Dividendos da Companhia, que permite destinar parte do lucro para projetos de interesse social, mesmo fora da área de concessão legal. A **sinergia** entre o Estado do Ceará (acionista majoritário), a CAGECE (doação e gestão estratégica), o SISAR (execução e gestão futura) e as Associações Comunitárias (mobilização e sustentabilidade) é fundamental para o sucesso da parceria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da norma de parcerias rurais tem gerado resultados expressivos, comprovando a eficácia do modelo e o impacto positivo na vida das comunidades cearenses.

- **Ano de 2023:** Em um período de apenas 3 meses (setembro a novembro), a iniciativa contemplou 34 municípios e 70 comunidades, beneficiando **11.219 pessoas** conforme mostra a Figura 2. A CAGECE investiu aproximadamente R$ 2,5 milhões, resultando na implantação de 388.110 metros de tubulação.

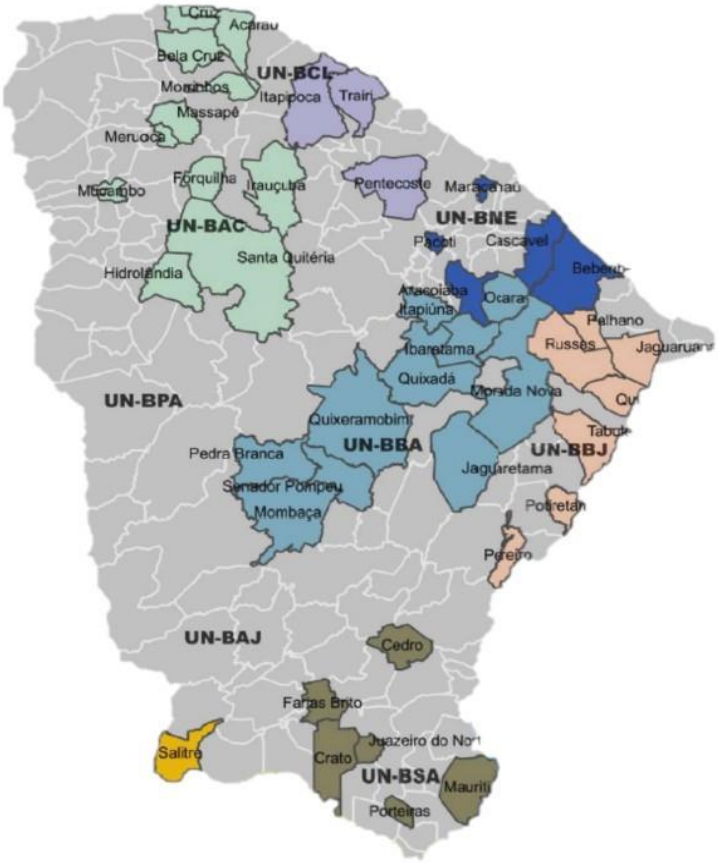
Figura 2. Comunidades contemplados com investimentos de parcerias rurais em 2023



Fonte: Elaboração própria, 2023.

- **Ano de 2024:** O projeto expandiu seu alcance, atendendo 44 municípios e 84 comunidades, e beneficiando um número significativamente maior de pessoas: 42.408 (Conforme Figura 3). Com um investimento aproximado de R$ 4 milhões, foram instalados 338.584 metros de tubulação.

Figura 3. Comunidades contemplados com investimentos de parcerias rurais em 2024



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Apesar do sucesso, a demanda por saneamento básico nessas áreas vulneráveis continua alta. Em 2024, mais de 100 solicitações de parcerias rurais ficaram pendentes por falta de orçamento. Diante do cenário de alta demanda e dos resultados comprovados, foi aprovada a ampliação do recurso anual para R$ 10.000.000,00. Este aumento permitirá que a CAGECE atenda a uma parcela maior das solicitações, acelerando a universalização do saneamento e maximizando o impacto social em um tempo menor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação deste projeto resulta em impactos significativos e mensuráveis, que vão além da infraestrutura, alcançando o âmago do desenvolvimento humano. O acesso ao saneamento básico contribui para a **Inclusão Social e Combate à Pobreza** (ODS 1), resulta em **Melhoria na Saúde Pública** (ODS 3) e reforça o **Fortalecimento do Associativismo** e do modelo SISAR (ODS 17).

Além disso, o projeto contribui para a **Sustentabilidade Ambiental** com a proteção dos mananciais (ODS 15). O projeto estabelece ainda um **Modelo de Governança Replicável** eficaz e transparente, servindo de exemplo de boas práticas em justiça ambiental e em gestão de políticas públicas. Nesta seção devem ser apresentadas – de forma sucinta – as principais observações do estudo (em resposta aos objetivos traçados), bem como possíveis questionamentos, soluções, intervenções e/ou sugestões de continuidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. S. *Análise da gestão do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) no Estado do Ceará.* 2015. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

BRASIL. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.* Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. *Diário Oficial da União,* Brasília, DF, 15 jul. 2020.

CAGECE. *Política de Distribuição de Dividendos da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece 002.* Fortaleza, 2023. Documento interno, aprovado em 24 abr. 2023.

CAGECE. *Norma de execução de parcerias rurais para serviços de saneamento básico em áreas rurais.* Fortaleza: Companhia de Água e Esgoto do Ceará, [s.d.].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022.* Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 7 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *PNAD Contínua: Renda domiciliar per capita no Ceará.* Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html. Acesso em: 7 ago. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). *Painel de Indicadores de Saneamento no Ceará.* Fortaleza, [s.d.]. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/. Acesso em: 7 ago. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). *Síntese dos Indicadores Sociais: PNAD Contínua 2024.* Fortaleza, 2024. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/. Acesso em: 7 ago. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).* [S.l.]: ONU, [s.d.]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 7 ago. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113279

REMOÇÃO DE ALGAS DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DA ETE MALVINAS-CE POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO PARA REÚSO

REMOCIÓN DE ALGAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA ETE MALVINAS-CE MEDIANTE PROCESO FÍSICO-QUÍMICO PARA REÚSO

REMOVAL OF ALGAE FROM THE STABILIZATION POND OF MALVINAS WWTP-CE THROUGH PHYSICOCHEMICAL PROCESS FOR REUSE

Maria Vitória Moura Rufino[1], Isabelle Maria Diniz Pereira[2], Lívia Vitória Dantas Domingos[3] e Germário Marcos Araújo[4].

[1]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, vitoria.moura07@aluno.ifce.edu.br, 0009-0008-4035-8054;
[2]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, diniz.isabelle07@aluno.ifce.edu.br, 0009-0007-0054-3127;
[3]Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, vitoria.dantas08@aluno.ifce.edu.br, 0009-0007-1959-8136;
[4]Doutor em Engenharia Civil, IFCE - Campus Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, germario@ifce.edu.br, 0000-0002-3388-0265.

Eixo Temático 07 – Agricultura
Reúso de efluentes tratados na agricultura.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a remoção de algas por meio de processo físico-químico e verificar a viabilidade do polimento de efluentes provenientes da lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Malvinas, localizada no município de Barbalha-CE. Para tanto, foram empregados ensaios de floculação em escala laboratorial, conhecidos como *"Jar Test"*, utilizando o coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC), com o intuito de garantir um padrão de qualidade adequado ao reúso em atividades agrícolas de pequeno porte em zonas rurais. As lagoas de estabilização representam uma das tecnologias mais simples e de menor custo para o tratamento de efluentes líquidos. São particularmente atrativas em regiões de clima quente, nas quais as condições ambientais favorecem o seu desempenho. Entretanto, essas lagoas apresentam limitações significativas, principalmente no que se refere à baixa eficiência de remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, cujos índices situam-se geralmente entre 30 e 40%. Além disso, o efluente final costuma apresentar elevadas concentrações de algas, que, ao constituírem uma fonte adicional de nitrogênio e fósforo em formas orgânicas, dificultam o enquadramento do tratamento dentro dos padrões de qualidade mais restritivos exigidos para o reúso agrícola seguro. Nesse contexto, os processos físico-químicos têm se destacado como alternativa de polimento dos efluentes das lagoas de estabilização, apresentando elevada eficiência na remoção de sólidos suspensos e de algas. No presente estudo, ensaios de

coagulação, floculação e sedimentação foram realizados utilizando o PAC, variando-se as concentrações aplicadas entre os jarros, o que permitiu identificar as condições mais adequadas de operação para otimizar a remoção das algas. Os resultados obtidos em escala laboratorial foram analisados de forma comparativa, confrontando-se tanto com valores reportados na literatura quanto com os padrões de qualidade estabelecidos para o reúso de efluentes na agricultura. Também foram consideradas as diretrizes do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), que fornecem recomendações específicas para o reúso agrícola. Dessa forma, este estudo contribui para a discussão sobre a aplicabilidade de técnicas físico-químicas no pós-tratamento de lagoas de estabilização, fornecendo informações relevantes para a melhoria da qualidade dos efluentes destinados ao reúso, especialmente em comunidades rurais que dependem de soluções de baixo custo e fácil operação para o manejo sustentável da água.

Palavras-chave: Reúso, Remoção de algas, Jar-Test, Sólidos em suspensão, Eutrofização

RESÚMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la remoción de algas mediante procesos físico-químicos, verificando la viabilidad del pulido de efluentes provenientes de la laguna de estabilización de la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (ETE) Malvinas, ubicada en el municipio de Barbalha-CE. Para ello, se realizaron ensayos de floculación a escala de laboratorio, conocidos como "*Jar Test*", utilizando el coagulante químico policloruro de aluminio (PAC), con la finalidad de garantizar un estándar de calidad adecuado para la reutilización en actividades agrícolas de pequeña escala, especialmente en zonas rurales. Las lagunas de estabilización son ampliamente reconocidas como una de las tecnologías más simples y económicas para el tratamiento de efluentes líquidos, siendo particularmente eficaces en regiones de clima cálido, donde las condiciones ambientales favorecen su desempeño. Sin embargo, presentan limitaciones significativas, especialmente en cuanto a la baja eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo, cuya eficiencia promedio varía entre el 30% y el 40%. Además, el efluente final suele presentar altas concentraciones de algas, que actúan como fuentes adicionales de estos nutrientes en formas orgánicas, dificultando el cumplimiento de los estándares de calidad más estrictos requeridos para la reutilización agrícola segura. En este contexto, los procesos físico-químicos surgen como alternativas eficaces para el pulido de efluentes, proporcionando una alta eficiencia en la eliminación de sólidos suspendidos y algas. En este estudio se realizaron ensayos de coagulación, floculación y sedimentación utilizando PAC en diferentes concentraciones, con el objetivo de identificar las condiciones operativas más adecuadas para maximizar la remoción de algas. Los resultados obtenidos fueron analizados de manera comparativa, considerando referencias de la literatura científica y los estándares de calidad para la reutilización de efluentes en la agricultura, además de las directrices del Programa de Investigación en Saneamiento Básico (PROSAB), que presenta recomendaciones específicas para este propósito. Así, este trabajo contribuye a la discusión sobre la aplicabilidad de los procesos físico-químicos en el postratamiento de lagunas de estabilización, proporcionando información relevante para mejorar la calidad de los efluentes destinados a la reutilización, especialmente en comunidades rurales que requieren soluciones de bajo costo y fácil operación para el manejo sostenible del agua.

Palabras clave: Reutilización, Remoción de algas, *Jar Test*, Sólidos suspendidos, Eutrofización

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the efficiency of algae removal through physicochemical processes and to verify the feasibility of polishing effluents from the stabilization pond of the Malvinas Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in the municipality of Barbalha-CE, Brazil. For this purpose, laboratory-scale flocculation tests, known as "*Jar Tests*", were carried out using the chemical coagulant polyaluminum chloride (PAC) to ensure an adequate quality standard for reuse in small-scale agricultural activities, especially in rural areas. Stabilization ponds are widely recognized as one of the simplest and most cost-effective technologies for wastewater treatment, being particularly effective in warm climate regions where environmental conditions favor their performance. However, they present significant limitations, especially regarding the low removal efficiency of nutrients such as nitrogen and phosphorus, which typically ranges between 30% and 40%. Moreover, the final effluent often contains high concentrations of algae, which act as additional sources of these nutrients in organic forms, making it difficult to meet the stricter quality standards required for safe agricultural reuse. In this context, physicochemical processes emerge as effective alternatives for effluent polishing, providing high efficiency in removing suspended solids and algae. In this study, coagulation, flocculation, and sedimentation tests were conducted using PAC at different concentrations to identify the most suitable operational conditions for optimizing algae removal. The results obtained were comparatively analyzed, taking into account references from scientific literature and the quality standards established for wastewater reuse in agriculture, as well as the guidelines of the Basic Sanitation Research Program (PROSAB), which provides specific recommendations for this purpose. Thus, this study contributes to the discussion on the applicability of physicochemical techniques in the post-treatment of stabilization ponds, offering relevant information to improve the quality of effluents intended for reuse, particularly in rural communities that require low cost and easy to operate solutions for sustainable water management.

Keywords: Reuse, Algae removal, *Jar-Test*, Suspended solids, Eutrophication

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a poluição de mananciais de água doce têm destacado a importância do tratamento adequado de esgotos para a preservação ambiental e a saúde pública. O lançamento de esgoto bruto em corpos hídricos, prática ainda comum em diversas regiões do Brasil, contribui significativamente para a degradação da qualidade da água, o acúmulo de matéria orgânica e a eutrofização dos ambientes aquáticos (Tundisi 2003).

Entre as alternativas de tratamento, as lagoas de estabilização são amplamente utilizadas devido ao baixo custo de implantação e à simplicidade operacional, sendo especialmente indicadas para regiões de clima quente e com disponibilidade de área (Silva e

Mara 1979; Jordão e Pessôa 2017). No entanto, a presença de algas e sólidos suspensos no efluente final pode comprometer a qualidade do lançamento, além de aumentar a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), favorecendo processos de eutrofização (Araújo 2000).

Com o endurecimento das exigências legais, como os limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 430/2011 e pela Portaria Coema nº 02/2017, surgem demandas por processos complementares de tratamento, capazes de melhorar a qualidade do efluente final. Nesse contexto, os processos físico-químicos de coagulação, floculação e sedimentação se destacam pela eficiência na remoção de sólidos suspensos e cor, promovendo o polimento do efluente antes do lançamento final (Oliveira e Gonçalves, 1999; Neder et al., 2000).

Diante deste cenário, a reutilização da água emerge como uma estratégia crucial para otimizar o consumo hídrico. Além de promover a economia de recursos, essa prática permite a utilização de águas com padrões de qualidade menos rigorosos em aplicações que não exijam potabilidade. Pesquisas demonstram consistentemente os benefícios do reúso em suas diversas modalidades e finalidades, sendo o emprego de água residuária tratada na agricultura um exemplo notável de seu potencial.

Posto isso, o presente estudo avaliou a eficiência de remoção de algas e cor do efluente da lagoa de maturação da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) Malvinas, por meio de ensaios *Jar Test* utilizando o coagulante: Policloreto de Alumínio (PAC). Os resultados foram analisados com base nos padrões de lançamento de efluentes da Resolução Conama nº 430/2011 e pela Portaria Coema nº 02/2017 e nas diretrizes para reúso recomendadas pelo PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico).

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

O sistema de lagoas de estabilização em série, que forneceu efluente para os ensaios de floculação, está situado no bairro Malvinas, localizado em Barbalha-CE. A área encontra-se em expansão urbana e recebeu a implantação da ETE Malvinas, conforme a vista aérea do sistema apresentado na Figura 1, por meio de parceria entre a Cagece e a Ambiental Ceará.

Figura 1. Vista aérea da lagoa de estabilização da ETE Malvinas
Fonte: Adaptado do google earth, 2025.

Coleta das amostras

As amostras foram coletadas na saída da lagoa de maturação (efluente final). Foram coletadas com bombonas cerca de 20 litros de amostra do efluente, sempre no mesmo horário, em seguida os recipientes foram esterilizados e levados para o Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) e de Microbiologia Ambiental (LAMAM) do IFCE – *Campus* Juazeiro do Norte para serem realizados os ensaios de *Jar Test*, o equipamento fez a simulação das etapas de coagulação, floculação e sedimentação utilizando o coagulante químico Sulfato de Alumínio e PAC, com o objetivo de alcançar a melhor dosagem e o mais eficiente do coagulante para a amostra analisada, primeiro ponto a ser considerado antes de iniciar o pós-tratamento do efluente, para posteriormente a determinação das análises físico-químicas.

Variáveis Analisadas

As variáveis analisadas foram: Temperatura, pH (Potencial Hidrogeniônico), Turbidez, Cor Aparente, Alcalinidade, Sólidos Suspensos e Clorofila "a". As análises de temperatura, pH, turbidez, alcalinidade e cor foram realizadas imediatamente após a coleta. As demais amostras foram refrigeradas a 4°C, posteriormente realizadas as análises dentro dos prazos recomendados para o armazenamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram baseados na análise das amostras coletadas nas lagoas de estabilização, coletadas no período de Fevereiro a Agosto de 2025, para avaliar a eficiência

do coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC), utilizado nos ensaios de *Jar Test*. Nos testes realizados foram encontrados os melhores resultados obtidos com o PAC de concentração de 19%. Vale salientar que foi feito uma diluição de 10/100ml do PAC antes de definir as dosagens (expressas na tabela 1), que proporcionaram melhores remoções de algas. O aspecto visual das amostras analisadas pode ser visualizado no quadro da figura 2.

O P1 efluente bruto proveniente da lagoa facultativa, o P2 efluente final, proveniente da lagoa de maturação, onde apresenta uma coloração esverdeada escura, que pode ser justificada pela presença de algas que conferem à lagoa essa cor verde, e o P3, é o pós-tratamento com PAC, já clarificada.

Tabela 1. Dosagem utilizando o coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC)

PARÂMETROS DA AMOSTRA BRUTA (LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO/MATURAÇÃO)			
EFLUENTE BRUTO	**TURBIDEZ INICIAL (UNT)**	**pH**	**COR (UC) 455**
Lagoa de maturação	305	8	0,418

PAC - POLICLORETO DE ALUMÍNIO				
JARROS (JAR-TEST)	**VOLUME DO COAGULANTE (mL)**	**TURBIDEZ (UNT)**	**pH**	**COR (UC) 455**
Jarro 1	17	0,07	6,5	0,006
Jarro 2	25	11,33	7,2	0,043
Jarro 3	30	12,52	7,34	0,18
Jarro 4	40	12,67	7,4	0,11

Fonte: Elaboração própria (2025).

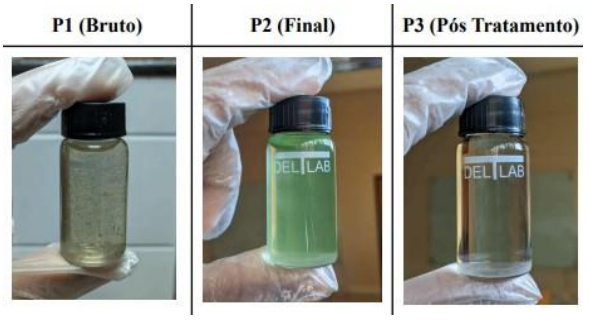


Figura 2. Aspecto visual das amostras coletadas
Fonte: Elaboração própria (2025).

Os dados foram submetidos à estatística descritiva para obtenção dos valores de tendência central (média), desvios padrões e faixas de variação (valores máximos e mínimos). A seguir, encontram-se dispostos todos os resultados obtidos necessários à caracterização do

efluente final e dos efluentes pós-tratados, durante o período estudado (Fevereiro a Agosto de 2025).

pH - Potencial Hidrogeniônico

Observou-se que o pH do efluente bruto apresentou média de 7,13, o efluente final apresentou 8,01 e, após o tratamento com PAC, obteve-se 6,85. Embora o tratamento com PAC tenha reduzido o pH em relação ao efluente final, o valor ainda permaneceu dentro do intervalo estabelecido pela Resolução Conama 430/2011 (5,0 a 9,0), mas ligeiramente abaixo do limite inferior da Portaria Coema nº 02/2017 (7,5 a 10,0).

Temperatura

A temperatura média do efluente bruto foi de 26,7 °C, reduzindo para 25,55 °C no efluente final e para 22,75 °C no pós-tratamento com PAC. Os valores correspondem a uma redução de 14,8% entre P1 e P3, mantendo-se todos bem abaixo do limite de 40°C estabelecido pela Resolução Conama 430/2011, caracterizando plena conformidade.

Turbidez

A turbidez apresentou média de 108 NTU no P1, aumento para 353,5 NTU no ponto P2 e foi reduzida para 4,545 NTU após a aplicação do PAC no ponto P3. Essa redução representa uma eficiência de remoção de 98,7%, evidenciando a alta capacidade do processo de coagulação e floculação na clarificação do efluente. Mesmo na ausência de um limite específico para turbidez na Resolução Conama nº 430/2011, a expressiva remoção alcançada reforça a eficácia do tratamento físico-químico como etapa de polimento, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade do efluente final.

Cor

Embora a Resolução Conama nº 430/2011 não estabeleça um limite específico para cor em efluentes, o parâmetro é especialmente relevante em situações de reúso ou quando o lançamento ocorre em corpos hídricos com fins estéticos e recreativos, conforme também recomendado pela Portaria Coema nº 02/2017, que em muitos casos adota como referência o valor de até 75 UH. Os dados da tabela 5, demonstram eficiência de com média de 83,1%, considerando a comparação entre o P2 e o P3.

Esse desempenho reforça a eficácia do processo físico-químico na remoção da cor aparente, especialmente com o uso do coagulante PAC, que apresentou os menores valores

finais. Embora os valores apresentados estejam expressos em unidades relativas a redução significativa observada especialmente com valores finais tão baixos quanto 0,006, o que sugere que os padrões legais são atendidos, indicando conformidade ambiental.

Sólidos Suspensos

A concentração média de sólidos suspensos foi de 73,0 mg/L no P1, aumentando para 329,0 mg/L no P2 e reduzindo para 16,0 mg/L após o uso do PAC no ensaio de jar test P3. Em relação ao P2, o tratamento resultou em uma remoção de 95,14%, colocando o valor final dentro do limite estabelecido pela Portaria Coema nº 02/2017 (150 mg/L). Isso demonstra a eficácia do coagulante na remoção desse parâmetro.

Clorofila "a"

Nas análises de clorofila "a" não houve detecção no P1. No entanto, observou-se 64,626 µg/L no P2, valor reduzido para 1,356 µg/L após aplicação do PAC P3. O tratamento proporcionou uma remoção de 97,9% em relação ao P2, demonstrando alta eficiência na remoção de algas. Apesar de não existir limite específico na legislação, essa diminuição contribui para a melhoria da qualidade ambiental do efluente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa demonstrou evidenciar, por meio de processos físico-químicos, a viabilidade de aprimorar a qualidade do efluente proveniente de uma lagoa de estabilização, com ênfase na remoção das algas presentes no sistema. Os resultados obtidos permitem concluir que a aplicação de coagulantes químicos, associada a etapas de coagulação e floculação, apresenta-se como uma alternativa eficaz para reduzir a presença de algas no efluente da lagoa de maturação, contribuindo para a melhoria de suas condições de reúso e atendimento aos padrões ambientais vigentes.

O coagulante PAC, em particular, demonstrou desempenho satisfatório, promovendo remoções expressivas de turbidez (98,7%), sólidos suspensos (85,1%) e clorofila "a" (97,9%). Essa melhoria na qualidade do efluente o torna altamente adequado para o reúso não potável, especialmente na agricultura, pois, a eficiência de remoção das algas, não teria problemas com o entupimento dos encanamentos, o que a presença das algas podem ocasionar.

Dessa forma, a aplicação do processo estudado representa uma solução viável para o

polimento de efluentes, contribuindo para a preservação de corpos hídricos e atendendo às diretrizes ambientais. O efluente tratado, com sua significativa redução de contaminantes e nutrientes, apresenta um grande potencial para ser utilizado na irrigação agrícola, oferecendo uma fonte alternativa de água e nutrientes para as culturas, o que pode impulsionar a sustentabilidade hídrica e a produtividade no setor agrícola. Este reúso na agricultura não só minimiza a demanda por fontes de água doce, mas também contribui para a economia de fertilizantes, promovendo um ciclo mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO. L. F. P. Reuso com lagoas de estabilização: Potencialidades no Ceará. C.D.U. 628.387(813.1). SEMACE, Fortaleza, 2000.

CEARÁ. Resolução COEMA N° 2/2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará. Fortaleza, 2017.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução n° 430/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União. 16 maio. 2011.

COSTA, L. D. A. Análise Sazonal da Qualidade Hídrica de um Trecho de Rio Urbano no Semiárido Brasileiro. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal do Ceará, Juazeiro do Norte –CE, 2021.

LIMA, M. D. M; SANTOS, M. A. P; RANGEL JUNIOR, A; SANTOS, Y. T.C. Influência do Efluente Tratado Sobre o Fitoplâncton em Trecho Urbanizado de Rio em Juazeiro do Norte, Ceará. Revista Verde, doi: 10.18378/rvads.v15i1.6942, ISSN 1981-8203, v. 15, n.1, jan.-mar, p.83-92,Pombal - PB, 2020.

NEDER, K. D.; QUEIROZ, T. R.; SOUZA, M. A. A. Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, RS, 2000.

OLIVEIRA, F. F; GONÇALVES, R. F. Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização. Anais (meio magnético CD ROM) do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 1999.

SILVA, S. A; MARA, D. D. Tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização. Athayde, ISBN: 85-7022-001-4, 1° Edição – Rio de Janeiro, ABES, 1979.NUNES, J. A. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.

Editora J. Andrade, 6° Edição, ABES, 2012.

TUNDISI, J.G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima, IIE, São Carlos. 247p, 2003.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113298

SENSIBILIZAÇÃO AMBIENTAL NO CONTEXTO ESCOLAR: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA DE INSERÇÃO DA TEMÁTICA RESÍDUOS SÓLIDOS NO CURRÍCULO ESCOLAR

CONCIENCIA AMBIENTAL EN EL CONTEXTO ESCOLAR: UNA PROPUESTA PEDAGÓGICA PARA LA INCLUSIÓN DEL TEMA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CURRÍCULO ESCOLAR

ENVIRONMENTAL AWARENESS IN THE SCHOOL CONTEXT: A PEDAGOGICAL PROPOSAL FOR INCLUDING THE THEME OF SOLID WASTE IN THE SCHOOL CURRICULUM

Gabriel Nunes dos Santos[1], Narcísio Cabral de Araújo[2].

[1]Graduando em Engenharia Ambiental e da Sustentabilidade, Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna - BA, Brasil, nunesgs@outlook.com, Orcid: https://orcid.org/0009-0002-3366-544X
[2]Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Doutor em Engenharia Agrícola e Professor do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna - BA, Brasil. E-mail: narcisio.araujo@gfe.ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0589-8924

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento sustentável
Educação ambiental e conscientização para o saneamento

Eje Temático 07 – desarrollo sostenible
Educación ambiental y sensibilización para el saneamiento

RESUMO

A sensibilização sobre a geração e gestão de resíduos sólidos tem potencial de contribuir para transformações socioambientais significativas, fundamentais para o desenvolvimento sustentável da sociedade. O objetivo da presente proposta foi desenvolver ações de sensibilização ambiental com discentes do *campus* Integrado de Educação Básica, Profissional e Tecnológica (CIEBTEC) do município de Itabuna, localizado na região Sul do estado da Bahia. A sensibilização foi realizada com estudantes do ensino médio e se deu no desenvolvimento de atividades pedagógicas, através da inserção da temática resíduos sólidos em cada matéria curricular do ensino. As atividades foram planejadas de forma a unir teoria e prática, buscando despertar o senso crítico e a responsabilidade socioambiental nos estudantes. Para isso, realizou-se uma proposta com práticas pedagógicas diversificadas que envolvem experimentos didáticos, leituras e discussões de textos, rodas de conversa, palestras e debates em sala de aula. As ações propostas têm potencial de promover um processo educacional de sensibilização que estimula os estudantes a repensarem seus atos com relação aos resíduos sólidos. Nas atividades desenvolvidas foi possível observar, por meio de depoimentos dos estudantes, um crescente reconhecimento sobre a importância do gerenciamento correto dos resíduos sólidos. Contudo, cabe destacar que o alcance efetivo das ações depende do envolvimento e participação efetiva dos professores das disciplinas, visto que a sensibilização só se torna integral quando trabalhada de forma colaborativa e interdisciplinar.

Palavras-chave: Ações pedagógicas, Educação ambiental, Coleta seletiva, Impactos ambientais

RESÚMEN

La concientización sobre la generación y gestión de residuos sólidos tiene el potencial de contribuir a transformaciones socioambientales significativas, esenciales para el desarrollo sostenible de la sociedad. El objetivo de esta propuesta fue desarrollar iniciativas de concientización ambiental con estudiantes del Campus Integrado de Educación Básica, Profesional y Tecnológica (CIEBTEC) en el municipio de Itabuna, ubicado en la región sur del estado de Bahía. La iniciativa de concientización se llevó a cabo con estudiantes de secundaria e implicó el desarrollo de actividades pedagógicas, incluyendo la inclusión de los residuos sólidos como tema en cada asignatura curricular. Las actividades se planificaron para combinar teoría y práctica, buscando despertar el pensamiento crítico y la responsabilidad socioambiental en los estudiantes. Para ello, se desarrolló una propuesta con diversas prácticas pedagógicas que incluyeron experimentos didácticos, lecturas y debates de textos, grupos de discusión, conferencias y debates en el aula. Las iniciativas propuestas tienen el potencial de promover un proceso de concientización educativa que anime a los estudiantes a repensar sus acciones con respecto a los residuos sólidos. A través de los testimonios de los estudiantes, las actividades demostraron un creciente reconocimiento de la importancia de la gestión adecuada de los residuos sólidos. Sin embargo, es importante destacar que el alcance efectivo de estas iniciativas depende del involucramiento y la participación activa de los miembros del profesorado, ya que la concientización solo se logra plenamente cuando se implementa de manera colaborativa e interdisciplinaria.

Palabras clave: Acciones pedagógicas, Educación ambiental, Recogida selectiva, Impactos ambientales

ABSTRACT

Raising awareness about solid waste generation and management has the potential to contribute to significant socio-environmental transformations, essential for the sustainable development of society. The objective of this proposal was to develop environmental awareness initiatives with students at the Integrated Basic, Professional, and Technological Education Campus (CIEBTEC) in the municipality of Itabuna, located in the southern region of the state of Bahia. The awareness-raising initiative was conducted with high school students and involved developing pedagogical activities, including the inclusion of solid waste as a topic in each curricular subject. The activities were planned to combine theory and practice, seeking to awaken critical thinking and socio-environmental responsibility in students. To this end, a proposal was developed with diverse pedagogical practices involving didactic experiments, readings and discussions of texts, discussion groups, lectures, and classroom debates. The proposed initiatives have the potential to promote an educational awareness-raising process that encourages students to rethink their actions regarding solid waste. Through student testimonies, the activities demonstrated a growing recognition of the importance of proper solid waste management. However, it's important to emphasize that the effective reach of these initiatives depends on the involvement and active participation of faculty members, as awareness-raising is only fully realized when implemented collaboratively and interdisciplinarily.

Keywords: Pedagogical actions, Environmental education, Selective collection, Environmental impacts

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico juntamente com alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população vêm sendo acompanhados pelo aumento na geração de resíduos sólidos. Diante da necessidade de reduzir os impactos causados pela má gestão desses resíduos, se faz indispensável e urgente a busca por ações que possam conscientizar a população visando a construção de uma sociedade mais sustentável.

Sabe-se que o descarte inadequado dos resíduos sólidos pode gerar severos impactos ambientais, como a contaminação e degradação do solo, da água e do ar comprometendo também a saúde pública e o bem-estar das futuras gerações. Tais impactos podem ser reduzidos por meio da coleta seletiva, método que consiste na separação prévia de resíduos sólidos de acordo com sua composição e características similares para que possam ser coletados separadamente (Soler e Silva Filho 2019).

Nesse contexto, a sensibilização ambiental passou a ser vista como uma ferramenta fundamental frente ao agravamento dos problemas ambientais. Esta deve ser entendida como um instrumento de transformação do pensamento social, através de uma reflexão das atitudes humanas e seus impactos diretos no meio em que vivem (Andrade 2021). Acrescenta-se que a educação sobre a gestão de resíduos sólidos é essencial para construção de uma sociedade mais responsável e comprometida com a sustentabilidade, com foco na redução, reutilização e reciclagem dos materiais, devendo esta acontecer na vivência prática, de forma interdisciplinar e em todos os níveis de escolaridade e sociedade (Soler e Silva Filho 2019).

Considerando que o ambiente escolar é um espaço formador de sujeitos formadores de opinião e de aprendizado de valores sociais potencialmente transformador do indivíduo, é, portanto, um local ideal para que os cidadãos sejam sensibilizados frente aos problemas ambientais. Promover uma educação voltada para a sensibilização dos problemas ambientais pode fazer com que o estudante cresça preocupado com o meio em que vive.

Tornando os alunos conscientes e sensibilizados, eles próprios poderão ser educadores e aplicar o que aprenderam em suas casas e meios de convívio. É preciso que os alunos sejam capacitados para conhecerem seu meio e agir em defesa dele e que para isso, mais do que

informações e conceitos, é necessário que a escola trabalhe com atitudes, formação de valores e com ensino e aprendizagem de habilidades e procedimentos (Brum e Silveira 2011).

Perante o exposto e considerando o momento de implementação da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC), foi implantado, em 2024, o projeto de extensão universitária "sensibilização ambiental para implementação de programa de coleta seletiva de resíduos entre universidade e escola de ensino médio" no *campus* Jorge Amado (CJA) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). O projeto é composto por discentes e docente do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI), cujo objetivo é sensibilizar e conscientizar discentes de uma escola estadual de ensino médio de Itabuna/BA sobre a importância do gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O presente trabalho foi desenvolvido entre os meses de abril e julho de 2024 no *campus* Integrado de Educação Básica, Profissional e Tecnológica (CIEBTEC), localizado na avenida Manoel Chaves, bairro São Caetano em Itabuna-BA, cujo público-alvo foi composto por estudantes de três turmas do primeiro ano e duas turmas do segundo ano do ensino médio. A escolha das turmas se deu em razão da adequação do nível de ensino dos discentes aos objetivos propostos pela atividade, bem como na viabilidade de inserção das ações no cronograma pedagógico da instituição, assegurando a coerência entre os conteúdos curriculares e as temáticas abordadas no projeto.

Inicialmente, as propostas das ações do projeto foram apresentadas para a direção e posteriormente aos professores, onde foi firmado o compromisso de realizar as atividades com os estudantes, Figura 1.

Figura 1. Apresentação do projeto para os professores do CIEBTEC
Fonte: Elaboração própria, 2024.

As ações de sensibilização foram inseridas no arcabouço das disciplinas curriculares do ensino médio da referida escola. A partir de pesquisas e discussões sobre a criação de atividades pedagógicas com temas interdisciplinares, construiu-se uma proposta em que, para cada disciplina curricular, estabeleceu-se atividades que trabalhasse a temática dos resíduos sólidos, sem escapar dos conteúdos cabíveis a cada turma. O intuito é explanar conceitos referentes ao correto gerenciamento dos resíduos sólidos e como ele pode auxiliar na minimização da agressão a natureza ao mesmo tempo em que se trabalha os conteúdos programados a cada disciplina. As ações de sensibilização, descritas no Quadro 1, foram realizadas durante o horário da respectiva aula, conforme disponibilidade do professor ministrante da disciplina.

Quadro 1. Descrição das ações de sensibilização ambiental realizadas com estudantes do CIEBTEC

Atividade	**Disciplina curricular**	**Conteúdos trabalhados.**
Leitura da crônica " O Lixo"	Língua portuguesa	Característica de uma crônica; Leitura e interpretação de texto.
Gravimetria de resíduos	Matemática	Cálculos de porcentagem e regra de três
	Física	caracterização física dos resíduos; grandezas e unidades de medida (massa, peso)
Oficina de Compostagem	Biologia	Microrganismos e processos biológicos da decomposição de resíduos orgânicos

Experimento didático: Medição do efeito estufa	Química	Gases do efeito estufa; mudanças climáticas
Roda de conversa: Antropologia do lixo	História	Contexto histórico da gestão e geração de resíduos
Palestra o lixo em debate: Problemas socioambientais causados pelo descarte inadequado.	Geografia	Conceitos sobre preservação e degradação do meio ambiente; diferença entre lixo e resíduo; impactos ambientais.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Na disciplina de língua portuguesa, a partir da leitura, interpretação e discussão da crônica "O lixo" de Luiz Fernando Veríssimo", os estudantes foram induzidos a refletirem sobre a relação entre lixo e sociedade e a repensarem seus hábitos relacionados ao consumo e o descarte.

Na matéria de matemática a proposta é trabalhar regra de três, porcentagem e cálculos, utilizados na determinação da composição gravimétrica de resíduos sólidos. A ideia consiste em realizar uma atividade prática e fazer com que os alunos coletem resíduos produzidos no próprio ambiente escolar para posteriormente, quantificar e realizar a segregação do material coletado. A mesma atividade foi proposta para a disciplina de física onde serão trabalhados conteúdos como: características físicas dos resíduos, grandezas físicas e unidades de medida.

Já na química, a atividade visa estudar a influência de gases como o CO_2 (dióxido de carbono) e CH_4 (metano) – gerados na decomposição de resíduos em aterros – no aumento do efeito estufa acarretando as mudanças climáticas vivenciadas no planeta. Esta atividade consiste em um experimento didático que caracteriza o efeito estufa causado pelos gases.

Na disciplina de história a atividade foi planejada e executada na forma de uma roda de conversa sobre o contexto histórico relacionado a geração e a gestão de resíduos sólidos no Brasil e no mundo, com incentivo a participação ativa dos estudantes. Ao final da conversa, os alunos foram organizados em grupos, sendo cada grupo responsável pela elaboração de uma atividade denominada "linha do tempo" referente aos assuntos discutidos na aula.

A metodologia utilizada na atividade de geografia foi a realização de uma palestra expositiva dialogada, caracterizada pela exposição do conteúdo proposto, com indagações e questões para serem discutidas e expressadas pelos alunos, no Intuito de conhecer a percepção dos alunos em relação ao tema proposto.

Na biologia o intuito é apresentar e discutir a ação de microrganismos e os processos envolvidos na decomposição de resíduos orgânicos, através do ensinamento de um método de

compostagem, bem como, evidenciar que sem a compostagem, as sobras orgânicas podem se misturar com outros tipos de resíduos em lixões e aterros gerando gases poluentes da atmosfera.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo de execução das atividades propostas, houve dificuldades em alinhar a realização das ações com alguns professores do CIEBTEC. Dessa forma, das seis atividades inicialmente planejadas, apenas três (língua portuguesa, história e geografia) foram efetivamente realizadas. Nas ações desenvolvidas foi possível apresentar e discutir conceitos relacionados a reciclagem, coleta seletiva de resíduos, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.

Na disciplina de língua portuguesa, os estudantes foram instruídos sobre as características do gênero literário crônica. A leitura e discussão do texto "O lixo" levaram os estudantes a repensar seus hábitos referentes ao descarte de resíduos, culminando em relatos como: "*O lixo descartado de maneira indevida causa poluição do meio ambiente, por isso é necessário conscientização da população*"; "*Uma das maneiras de salvar o planeta é evitando a poluição do meio ambiente e para isso as pessoas têm que se conscientizar em não jogar lixo em lugar indevido e separar para reciclagem*". A partir dos relatos dos estudantes, percebe-se as contribuições positivas da ação em suas formações e no aprofundamento das suas relações com a problemática ambiental dos resíduos sólidos.

Os conceitos debatidos na atividade de história, tais como: história da reciclagem, surgimento dos primeiros lixões a céu aberto, práticas de reutilização de materiais ao longo da história, resultaram na elaboração, por grupos, de uma linha do tempo sobre os assuntos discutidos, Figura 2.

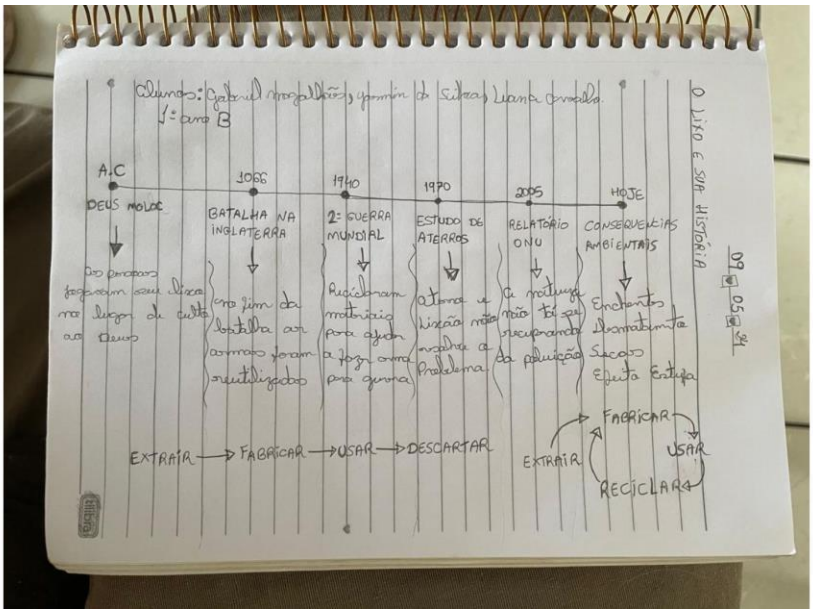


Figura 2. Atividade" Linha do Tempo" desenvolvida por um grupo de estudantes
Fonte: Elaboração própria, 2024.

A palestra realizada na disciplina de geografia trouxe orientações a respeito da separação de resíduos e promoveu um debate sobre os principais problemas ambientais decorrentes da poluição causada pela disposição final inadequada dos resíduos sólidos. O nível de percepção dos alunos foi avaliado durante o debate livre em sala de aula após exposição do tema. Boa parte dos estudantes desconheciam questões relacionadas à separação de resíduos. Quando indagados sobre a "diferença entre lixo e resíduo", responderam, de forma geral, que resíduo seria o "resto de alguma coisa", enquanto o lixo foi definido como "aquilo que não serve mais". Ao serem questionados sobre os impactos causados pelo descarte inadequado de resíduos, responderam, sem maior detalhamento, que "causam poluição do meio ambiente". No decorrer da palestra, todas as questões levantadas foram esclarecidas, priorizando o aprendizado dos estudantes.

A realização deste trabalho permitiu verificar a importância da sensibilização ambiental para o descarte correto de resíduos sólidos, visto que as ações de educação e conscientização ambiental abordadas nas disciplinas do ensino médio do CIEBTEC fizeram com que os estudantes manifestassem seus pensamentos e comportamentos referentes aos problemas ambientais causados pela destinação inadequada dos resíduos. A metodologia utilizada permitiu também a implantação de um processo coletivo de produção e compartilhamento de saberes, articulado a uma ação educativa interdisciplinar que possibilitou o aperfeiçoamento

profissional, dos professores envolvidos, com a atualização de conteúdos pedagógicos relacionados ao meio ambiente.

Em muitos casos, as tentativas de realização de atividades de sensibilização ambiental se limitam a ações isoladas, muitas vezes restritas a eventos comemorativos ou atividades práticas, denominadas extracurriculares, como campanhas do lixo, coletas para reciclagem, caminhadas ecológicas, visitas, plantio de árvores etc. Porém, nesses exemplos, não ocorre a contextualização necessária para a internalização sobre o real entendimento da problemática ambiental no cotidiano das comunidades escolares (Soares et al. 2004).

Fica claro, portanto, que a inserção da sensibilização ambiental no meio escolar deve acontecer por meio da interdisciplinaridade na inclusão da temática ambiental, não devendo se limitar a uma única disciplina. Deve, ainda, driblar a rígida e inflexível organização curricular, a fim de se atingir os princípios de uma educação crítica, transformadora e emancipatória. Neste sentido, a educação deve se libertar da fragmentação conteudista, se atualizar em relação ao conhecimento produzido pela ciência e, sobretudo, unir forças que visem à construção de um mundo mais humano e sustentável (Medina 2000).

Existe a necessidade de formação de cidadãos conscientes, aptos a decidir e atuar na realidade socioambiental de modo comprometido com a vida, com o bem-estar individual e da sociedade local e global. Torna-se, portanto, necessário que a escola considere esta perspectiva e se proponha a trabalhar com atitudes, formação de valores e o ensino e aprendizagem de habilidades e procedimentos (Nardy e Estevão 2015).

Por fim, ressalta-se a importância da implementação de políticas públicas que fomentem a parceria entre instituições produtoras de saber e a educação formal, a fim de promover a divulgação do conhecimento, a atualização de professores, a melhoria da qualidade do ensino e a sensibilização da população sobre a importância da conservação do meio ambiente local e global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, percebeu-se que a maioria dos estudantes desconhece assuntos relevantes sobre separação, reaproveitamento e os impactos que alguns materiais podem causar ao meio ambiente. Entretanto, através dos depoimentos orais e escritos observou-se uma reflexão significativa por parte dos alunos que se demonstraram interessados em participar ativamente em novos projetos e comprometidos em reforçar nas suas casas a importância da

separação adequada dos resíduos. No entanto, destaca-se a necessidade do interesse e envolvimento, por parte dos professores das disciplinas para que todas as ações propostas possam ser realizadas. Espera-se que a população sensibilizada com as ações deste projeto repense seus hábitos com relação ao descarte de resíduos sólidos para que a realidade local possa ser transformada na defesa da qualidade de vida e bem-estar público e ainda, que as experiências aqui geradas, inspirem outras instituições de ensino do território.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a PROEX – Pró-Reitoria de Extensão e Cultura da UFSB pelo apoio financeiro concedido através de bolsa de extensão universitária e ao *campus* Integrado de Educação Básica, Profissional e Tecnológica (CIEBTEC) pela parceria na realização destas ações de extensão universitária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, R. W. N. 2021. "Projetos de extensão e sensibilização ambiental: estudo de caso dos projetos do IFPB Campus Monteiro desenvolvidos nos anos de 2017 e 2018". Trabalho de Conclusão de Curso, Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba.

Brum, D. P., e D. D. Silveira. 2011. "Educação ambiental na escola: da coleta seletiva do lixo ao aproveitamento do resíduo orgânico." *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 4, no. 4: 608–17.

Medina, N. M. 2000. "Os desafios da formação de formadores para a educação ambiental". Em *Educação Ambiental: desenvolvimento de cursos e projetos*, 9-27. São Paulo: Sigmus.

Nardy, M., e E. B. L. Freiria Estevão. 2015. "Atividades lúdicas como meio de sensibilização ambiental na escola". *Educação Ambiental em Ação* 13, no. 51 (março).

Soler, F. D., e C. R. V. Silva Filho. 2019. *Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei*. 4ª ed. São Paulo: Ed. Trevisan.

Soares, A. M. D., L. M. T. Oliveira., E. S. Portilho., L. C. Cordeiro., e D. K. Cavalcante. 2004. "Educação ambiental: construindo metodologias e práticas participativas". Em *Anais do 2º Encontro Nacional da ANPPAS*, Campinas/SP. Campinas: ANPPAS.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113318

UNIVASF SUSTENTÁVEL: A CONSTRUÇÃO DE UMA CULTURA AMBIENTAL E SEU IMPACTO NO FORTALECIMENTO DA COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA

UNIVASF SOSTENIBLE: LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CULTURA AMBIENTAL Y SU IMPACTO EN EL FORTALECIMIENTO DE LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA

SUSTAINABLE UNIVASF: THE CONSTRUCTION OF AN ENVIRONMENTAL CULTURE AND ITS IMPACT ON STRENGTHENING THE UNIVERSITY COMMUNITY

Marcelino Saturnino Da Silva Filho[1], Raliny Mota de Souza Farias [2]

[1]Pscicologo e Diretor de Desenvolvimento Institucional, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE, Brasil, marcelino.saturnino@univasf.edu.br;
[2] Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, raliny.mota@univasf.edu.br, 0009-0000-8081-1994.

Eixo Temático 07 – Desenvolvimento Sustentável
ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis.

Eje Temático 07 – Desarrollo Sostenible
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

RESUMO

A sustentabilidade nas universidades precisa ser estimulada, pensada e realizada a partir das condições e características de cada instituição. Neste contexto, o presente artigo analisa o histórico e a evolução das iniciativas de sustentabilidade aplicadas na Universidade Federal do Vale do São Francisco, sob a perspectiva da comunidade acadêmica no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com foco no período de 2016 a 2023. O estudo teve como objetivo realizar uma análise crítica sobre a dificuldade de imposição e execução dessas atividades no âmbito universitário, considerando a estrutura multicampi da instituição. A UNIVASF instituiu o Programa Univasf Sustentável e o Plano de Logística Sustentável como instrumentos de gestão. A metodologia se baseou na análise de dados documentais e do histórico de práticas realizadas. Os resultados apontaram para o sucesso das ações de racionalização em escala institucional, com reduções notáveis no consumo de papel (63,8%), cartuchos (65,3%) e água (29,8%). Contudo, a análise crítica revelou que a dispersão geográfica dos sete campi, especialmente os quatro mais afastados, impõe desafios logísticos e estruturais que dificultam a uniformidade da aplicação e fiscalização das práticas de sustentabilidade, exigindo a adaptação das estratégias de gestão para superar as barreiras geográficas na construção de uma cultura ambiental unificada.

Palavras-chave: Sustentabilidade Universitária, Redução de Consumo, Agenda Ambiental na Administração Pública, Plano de Logística Sustentável.

RESÚMEN

La sostenibilidad en las universidades debe ser incentivada, diseñada e implementada con base en las condiciones y características de cada institución. En este contexto, este artículo analiza la historia y evolución de las iniciativas de sostenibilidad implementadas en la Universidad Federal del Valle de São Francisco, desde la perspectiva de la comunidad académica en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con foco en el período 2016 a 2023. El estudio tuvo como objetivo realizar un análisis crítico de la dificultad de imponer e implementar estas actividades dentro de la universidad, considerando la estructura multicampus de la institución. UNIVASF estableció el Programa Univasf Sostenible y el Plan de Logística Sostenible como herramientas de gestión. La metodología se basó en el análisis de datos documentales y el historial de prácticas implementadas. Los resultados indicaron el éxito de las acciones de racionalización a escala institucional, con reducciones notables en el consumo de papel (63,8%), cartuchos (65,3%) y agua (29,8%). Sin embargo, el análisis crítico reveló que la dispersión geográfica de los siete campus, especialmente de los cuatro más distantes, plantea desafíos logísticos y estructurales que dificultan la aplicación y el seguimiento uniforme de las prácticas de sostenibilidad, requiriendo la adaptación de estrategias de gestión para superar las barreras geográficas en la construcción de una cultura ambiental unificada.

Palabras clave: Sostenibilidad Universitaria, Reducción del Consumo, Agenda Ambiental en la Gestión Pública, Plan de Logística Sostenible.

ABSTRACT

Sustainability at universities needs to be encouraged, designed, and implemented based on the conditions and characteristics of each institution. In this context, this article analyzes the history and evolution of sustainability initiatives implemented at the Federal University of the São Francisco Valley, from the perspective of the academic community in meeting the Sustainable Development Goals, focusing on the period 2016 to 2023. The study aimed to conduct a critical analysis of the difficulty of imposing and implementing these activities within the university, considering the institution's multi-campus structure. UNIVASF established the Sustainable Univasf Program and the Sustainable Logistics Plan as management tools. The methodology was based on the analysis of documentary data and the history of implemented practices. The results indicated the success of rationalization actions on an institutional scale, with notable reductions in paper consumption (63.8%), cartridges (65.3%), and water (29.8%). However, critical analysis revealed that the geographic dispersion of the seven campuses, especially the four most distant ones, poses logistical and structural challenges that hinder the uniform application and monitoring of sustainability practices, requiring the adaptation of management strategies to overcome geographic barriers in building a unified environmental culture.

Keywords: University Sustainability, Consumption Reduction, Environmental Agenda in Public Administration, Sustainable Logistics Plan.

INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas tem se acentuado o reconhecimento do papel que as universidades podem desempenhar no apoio à transformação das sociedades em sustentáveis. Dentre as ações possíveis destaca-se a institucionalização da sustentabilidade no ensino superior com vistas à transição para um modelo que tem sido chamado de Universidade Sustentável-US (Bizerril, Rosa, e Carvalho, 2018).

A sustentabilidade no âmbito das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) ultrapassa a conformidade legal, posicionando-se como um compromisso crucial para o atingimento das Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial a enfoque para cidades e comunidades sustentáveis. A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), enquanto agente de desenvolvimento regional no semiárido nordestino, reconhece esse papel ao implementar, o Programa Univasf Sustentável. Este programa se baseia nas diretrizes da Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) e do Plano de Logística Sustentável (PLS), buscando a excelência e a responsabilidade na gestão dos recursos públicos.

O conceito de desenvolvimento sustentável trata de um novo olhar sobre a maneira da sociedade se relacionar com o ambiente, garantindo a continuidade da vida no meio indefinidamente (Silveira, 2017). Apesar do arcabouço institucional, a implementação de uma cultura sustentável plena enfrenta desafios inerentes à administração pública e à complexidade da comunidade universitária.

Historicamente, a sustentabilidade na UNIVASF se concentrou inicialmente em iniciativas de racionalização de recursos e gestão de resíduos, supervisionadas pela Coordenação de Gestão Ambiental (CGA/DDI/Propladi) e por comissões de apoio como a Comissão Gestora do PLS e a Comissão de Coleta Seletiva Cidadã. Mas, um desafio estrutural complexo e inerente à universidade é a sua natureza multicampi. A universidade está distribuída por sete unidades em trê estados (Pernambuco, Piauí e Bahia), os Campi Centrais/Próximos são a Sede (Petrolina/PE), Juazeiro (BA) e Ciências Agrárias (CCA/Petrolina-PE). E os Campi mais afastados são Senhor do Bonfim (BA), Serra da Capivara (PI), Paulo Afonso (BA) e Salgueiro (PE).

Essa dispersão geográfica impõe desafios únicos à gestão ambiental. A execução e a fiscalização de práticas de sustentabilidade, como a coleta seletiva, a implementação de ilhas

de impressão ou a manutenção de infraestruturas eficientes, tornam-se consideravelmente mais difíceis nos campi mais distantes. A complexidade logística, a diferença na infraestrutura local e as diversas realidades socioeconômicas e ambientais de cada região criam uma dificuldade na imposição de um modelo uniforme de sustentabilidade em toda a instituição.

Diante deste contexto, este artigo se propõe a traçar o histórico de desenvolvimento das práticas sustentáveis e a analisar como a estrutura multicampi da UNIVASF impacta a aplicação efetiva e uniforme de seu programa ambiental e qual é o impacto real da construção dessa cultura na comunidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo adota uma abordagem metodológica baseada na análise documental e bibliográfica para traçar o histórico das práticas de sustentabilidade e realizar a análise crítica da sua implementação, além da observação e registro das atividades nos Campi.

Área de Estudo: Caracterização dos Campi da UNIVASF

A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) é uma instituição federal de ensino superior com uma estrutura multicampi distribuída em três estados da região Nordeste do Brasil: Pernambuco, Bahia e Piauí. Essa dispersão geográfica é um fator central na análise da execução das práticas de sustentabilidade. Os sete campi estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Todos os sete Campi da UNIVASF
Fonte: Adaptado de UNIVASF (2025).

Análise Bibliográfica e Documental

A análise bibliográfica incluiu o referencial teórico sobre gestão ambiental na administração pública (A3P) e o alinhamento das IFES às ODS globais. A análise documental focou nos dados reais e nos instrumentos de planejamento da UNIVASF:

- Plano de Logística Sustentável (PLS): Utilizado para mapear as metas atuais e o planejamento estratégico de longo prazo da gestão (UNIVASF, 2024).
- Dados Gerais da Sustentabilidade (2016-2023): Forneceram os dados quantitativos de redução de consumo (papel, cartuchos, água, copos) utilizados para avaliar a eficácia histórica das práticas de racionalização.
- Site do Programa Univasf Sustentável: Utilizado para confirmar o objetivo institucional e as iniciativas executadas conforme observamos na Figura 2 (UNIVASF, 2025).

Figura 2. Iniciativas de sustentabilidade empregadas pela UNIVASF Sustentável.
Fonte: Adaptado de UNIVASF (2025).

Análise Crítica Logística

A análise crítica foi conduzida a partir do cruzamento dos dados de eficiência (reduções de consumo) com a estrutura física da UNIVASF, especialmente a divisão entre campi próximos e afastados (UNIVASF, 2016). O objetivo foi inferir as barreiras logísticas e estruturais impostas pela dispersão geográfica na execução das atividades planejadas (ex: expansão da Coleta Seletiva Cidadã, monitoramento de consumo hídrico e energético).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise geral dos documentos revelam que, historicamente, a UNIVASF obteve sucesso na fase de institucionalização e racionalização de recursos, porém, a expansão e a consolidação dessas práticas são diretamente desafiadas pela sua estrutura multicampi.

Histórico na Racionalização de Recursos

Desde 2017, a UNIVASF institucionalizou seu programa ambiental, promovendo diversas ações que resultaram em uma notável racionalização de recursos, conforme ilustrado no diagnóstico de 2016 a 2023 da Tabela 1.

Tabela 1. Redução de consumo ao logo da aplicação de iniciativas sustentáveis.

Categoria	Consumo 2016	Consumo 2023	Redução Total	% de Redução
Papel (Folhas)	4.904	1.774	3.130	**63,8%**
Cartuchos (Unidades)	1.097	380	717	**65,3%**
Água (m3)	92.310	64.773	27.537	**29,8%**
Copos (Unidades)	3.389	2.704	685	**20,2%**

Fonte: Dados Gerais da Sustentabilidade (2016-2023)

As reduções de 63,8% no consumo de papel (impulsionado pela aquisição do Sistema de Gestão de Processos – SIPAC e Ilhas de Impressão) e de 29,8% no consumo de água são conquistas significativas que demonstram o êxito das ações de sensibilização e gestão. Além disso, a iniciativa Coleta Seletiva Cidadã, em parceria com cooperativas de catadores (em Juazeiro, Petrolina e São Raimundo Nonato), destinou mais de 50 toneladas de materiais para reciclagem entre 2016 e 2023.

Estrutura e Iniciativas Institucionais

A UNIVASF demonstrou um compromisso institucional com a sustentabilidade ao formalizar a estrutura de gestão, incluindo a Coordenação de Gestão Ambiental (CGA/DDI/Propladi) e comissões de apoio, como a Comissão Gestora do PLS e a Comissão de Coleta Seletiva Cidadã.

Diversas iniciativas foram implementadas com a Coleta Seletiva Cidadã, em vigor desde 2017, com contrato de parceria com três cooperativas de catadores (em Juazeiro, Petrolina e São Raimundo Nonato), fortalecendo a economia social. Entre 2016 e 2023, mais de 50 toneladas de materiais foram destinadas para reciclagem. Além disso, foram

estabelecidos pontos de coleta de pilhas/baterias (em parceria com o Programa Escola Verde) e reativação da coleta de óleo para produção de sabão líquido.

Ações como o Projeto Reutilize, a aquisição e distribuição de canecas sustentáveis, a substituição de copos comuns por copos biodegradáveis, e a criação de Ilhas de Impressão contribuíram diretamente para a redução do consumo é possível ver o registro dessas iniciativas na Figura 3.

Figura 3. Ações da UNIVASF Sustentável como a Coleta Seletiva Cidadã, entrega da Caneca Sustentável, Coleta de Oléo, lâmpadas fluorescentes, Pilhas e Baterias.
Fonte: Adaptado de UNIVASF (2025).

Os dados revelaram uma redução altamente eficaz no consumo de materiais de escritório e de recursos hídricos, comprovando a eficácia das ações de conscientização (Aquisição de canecas sustentáveis, Ilhas de Impressão). A redução de quase 30% no consumo de água é particularmente relevante, dada a localização da universidade no semiárido nordestino. A diminuição no consumo de copos descartáveis, embora menor (20,2%), indica que a transição cultural para o uso de canecas reutilizáveis ainda enfrenta resistência, alinhando-se ao macroproblema de engajamento.

Análise do Contexto Multicampi

Apesar do sucesso na racionalização (que se presume mais imediato e mensurável nos campi centrais), a dificuldade de impor uma execução uniforme das práticas é evidente ao considerar a logística dos sete campi.

Enquanto os campi mais antigos podem ter sistemas elétricos e hidráulicos obsoletos (que exigem alto investimento), os campi mais novos podem carecer de infraestrutura básica,

como pontos de coleta seletiva em locais de alta circulação. O desafio de modernizar sistemas de água/energia é agravado pela necessidade de replicar o investimento em sete locais distintos, com diferentes fornecedores e exigências de manutenção.

A parceria com cooperativas, vital para o sucesso da Coleta Seletiva Cidadã, é viável nas cidades próximas (Petrolina e Juazeiro). Contudo, a expansão dessa prática para os campi de Senhor do Bonfim, Serra da Capivara, Paulo Afonso e Salgueiro exige o desenvolvimento de novas parcerias locais, com realidades de cooperativas e capacidade de transporte de resíduos completamente diferentes. A dificuldade de monitoramento e fiscalização da destinação correta dos resíduos aumenta drasticamente com a distância física da CGA/DDI, sediada em Petrolina, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1. Critérios para proposição de dispositivo interativo.

Campus	**Distância (aprox. da Sede/Juazeiro)**	**Características Principais**	**Desafios de Sustentabilidade (Logísticos/Estruturais)**
Sede (Petrolina/PE)	Centro	Maior campus, administração central, maior comunidade acadêmica e infraestrutura consolidada em região semiárida às margens do Rio São Francisco.	Gerenciamento de grande volume de resíduos. Necessidade de modernização de infraestruturas mais antigas para eficiência energética/hídrica. Manter o engajamento da comunidade.
Juazeiro (BA)	Vizinho à Sede	Campus urbano, infraestrutura consolidada, do outro lado do Rio São Francisco.	Coordenação para coleta seletiva e ações de racionalização entre duas cidades. Gerenciamento de resíduos urbanos.
CCA (Petrolina/PE)	Próximo à Sede (área rural)	Foco em cursos agrários, grande extensão territorial para pesquisa e produção em área rural.	Gestão de resíduos orgânicos e químicos específicos da área agrária. Manutenção de infraestrutura de água e energia em área rural.
Senhor do Bonfim (BA)	132,2 km	Infraestrutura em desenvolvimento, menor porte, desafios logísticos próprios do interior da Bahia.	Dificuldade em estabelecer parcerias para coleta seletiva. Suporte técnico para manutenção de sistemas sustentáveis (eficiência hídrica/energética).
Serra da Capivara (PI)	Mais de 300 km (depende da via de acesso)	Mais distante e isolado, localizado em área de grande importância arqueológica e ambiental. Infraestrutura e acesso distintos.	Maior complexidade logística e custo para o transporte e destinação de resíduos. Dificuldade em encontrar e manter parcerias de reciclagem.
Paulo Afonso (BA)	~375 km	Cidade com hidrelétrica e forte presença industrial. Infraestrutura e desafios diferentes do semiárido central.	Desafios para implantação de coleta seletiva e ações de racionalização. Adaptação das práticas à realidade urbana/industrial da cidade.
Salgueiro (PE)	235,2 km	Infraestrutura em expansão no sertão central de Pernambuco.	Necessidade de investimentos em infraestrutura para racionalização e gestão de resíduos em um campus em crescimento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As Práticas como a implantação de Ilhas de Impressão ou a Aquisição de Canecas Sustentáveis funcionaram como estratégias de padronização nos campi centrais. Contudo, a comunicação, o treinamento e a fiscalização do uso dessas novas práticas tornam-se mais onerosos e menos imediatos nos campi mais afastados, onde as visitas de fiscalização e o suporte técnico central são mais infrequentes.

O desenvolvimento sustentável introduz uma dimensão ética e política que considera o desenvolvimento como um processo de mudança social, com consequente democratização do acesso aos recursos naturais e distribuição equitativa dos custos e benefícios do desenvolvimento (Kraemer, 2004). A dificuldade multicampi reside em manter a "imposição" da prática de racionalização sem que esta se deteriore pela distância e pela baixa frequência de monitoramento centralizado.

A análise dos dados sugere que as práticas exitosas da UNIVASF na sustentabilidade foram impulsionadas por medidas de racionalização administrativa (ex: SIPAC, que centraliza processos), mas a próxima etapa, a consolidação da cultura e a modernização estrutural, exige estratégias de gestão descentralizadas. A tentativa de *impor* ações padronizadas a partir da Sede demonstra ser um modelo precário a longo prazo, dada a diversidade e a distância dos campi.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O histórico de desenvolvimento das práticas de sustentabilidade na UNIVASF, evidencia aspectos positivos da fase de racionalização de recursos, com comprovação do impacto na redução do consumo de papel, cartuchos e água. A instituição cumpriu a etapa de institucionalização do Programa UNIVASF Sustentável e do PLS, demonstrando sua responsabilidade ambiental.

Entretanto, o principal desafio estrutural à consolidação plena dessa cultura é a dificuldade de execução uniforme das práticas em seu complexo sistema multicampi. A dispersão geográfica dos sete campi, especialmente os quatro mais afastados (Senhor do Bonfim, Serra da Capivara, Paulo Afonso e Salgueiro), exige que a universidade vá além de um modelo de gestão centralizado.

As considerações finais apontam para a necessidade de estratégias descentralizadas no intuito de desenvolver planos de ação específicos para os campi mais afastados, adaptando as metas de gestão de resíduos e infraestrutura às realidades logísticas e socioeconômicas locais.

Além de investimento estratégico em infraestrutura para priorizar no PLS investimentos que garantam a equidade de infraestrutura entre os campi, especialmente na modernização dos sistemas de água e energia, reconhecendo a necessidade de multiplicar.

Por fim ressalta-se a necessidade de engajamento da comunidade acadêmica e fortalecimento de gestores para delegar maior autonomia e recursos em cada campus para que possam monitorar e fiscalizar as práticas de forma contínua, mitigando a barreira da distância. Focando em uma integração regionalizada e estratégica, garantindo que o Programa Univasf Sustentável seja efetivo em todos os seus sete campi.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Gestão Ambiental (CGA/DDI/Propladi) e comissões de apoio, como a Comissão Gestora do PLS e a Comissão de Coleta Seletiva Cidadã.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bizerril, Marcelo Ximenes Aguiar; Rosa, Maria João; e Carvalho, Teresa. 2018. "*Construindo uma universidade sustentável: uma discussão baseada no caso de uma universidade portuguesa.*" Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas) 23, no. 2 (Julho-Outubro): 424–447. https://doi.org/10.1590/S1414-40772018000200009.

Kraemer, Maria Elisabeth Pereira. 2004. "A Universidade do Século XXI Rumo ao Desenvolvimento Sustentável." *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)* 3, no. 2 (novembro). http://revistas.facecla.com.br/index.php/recadm/.

Silveira, José Henrique Porto, organizador. 2017. *Sustentabilidade e Responsabilidade Social*. Vol. 3. 1. ed. Belo Horizonte: Poisson. DOI: 10.5935/978-85-93729-11-9.2017B001.

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). 2016. *Plano de Desenvolvimento Institucional – PDI (2016-2025)*. Petrolina, PE: Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Comissão Gestora do Plano de Logística Sustentável. 2024. *Plano de Logística Sustentável da Universidade Federal do Vale do São Francisco (PLS - UNIVASF) de Setembro de 2023 a Dezembro de 2025*. Petrolina, PE: Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). "UNIVASF Sustentável." Acesso em 29 de setembro de 2025. https://www.portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113324

USO DE ÁGUA DE POÇO NA IRRIGAÇÃO DE MARACUJÁ-AMARELO: RELATO DE EXPERIÊNCIA

José Luis de Almeida Barros[1], Roberto Bezerra Mendes Sá Filho[2], Valmir de Souza Genovez Junior[3], Elizângela Maria de Souza[4]

Graduando em Agronomia, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, jose.luis@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0006-7061-6152
Graduando em Agronomia, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, robertobm.safilho@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0009-2751-0872
Graduando em Agronomia, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, valmir.junior@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0008-5770-9703
Doutora em Zootecnia, Docente, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, elelizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0000-0002-8949-3774

EIXO VII – AGRICULTURA
Integração entre saneamento e agricultura sustentável: estratégias de gestão hídrica.

RESUMO

O presente ensaio trata-se de um relato de experiência desenvolvido por alunos graduandos em Bacharelado de Agronomia do IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, como proposta da disciplina de Biologia Geral. O objetivo do estudo foi relatar o contexto da produção de maracujá-amarelo com uso de água de poço. As visitas ocorreram durante o mês de setembro em propriedade rural, Haras AB, Ponta da Serra (Petrolina-PE). Procurou-se investigar o potencial dessa água na produção de maracujazeiros. Há 200 plantas na propriedade, que usa apenas água de poço na irrigação. Cada planta produz de 35 a 40 frutos a cada ciclo. Conclui-se que água de poço é eficiente e sustentável na produção de maracujás-amarelo. Sugere-se fazer análises físico-químicas dessa água.

Palavras-chave: Agricultura Sustentável, Aquíferos, *Passiflora* sp.

INTRODUÇÃO

A irrigação é fundamental para produtividade de culturas na região semiárida. A escassez de água doce proveniente das chuvas tem levado à perfuração de poços e intensificado o uso do rio, todavia não há um monitoramento acerca da qualidade de águas subterrâneas e superficiais.

O desenvolvimento da agricultura irrigada está na vanguarda da segurança alimentar global e é essencial para atender às crescentes necessidades alimentares da população (PUY et al., 2021). O aumento da demanda hídrica tem se tornado uma das principais preocupações para a sociedade, essencialmente para o uso racional da irrigação na agricultura, uma vez que é o setor que mais consome esse insumo (LIMA JUNIOR et al., 2016).

O Brasil destaca-se como o principal produtor mundial de maracujá, responsável por 70% da produção global, com uma produção superior a 700 mil toneladas e rendimento médio de 15.543 kg por hectare, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. O país cultiva maracujá em uma área de 46 mil hectares plantados e é também o maior consumidor da fruta. A região Nordeste é a mais relevante, sendo responsável por 60,0% da produção nacional, com a Bahia e o Ceará entre os estados de maior destaque (IBGE, 2023).

O crescente consumo interno do maracujá é motivação para o aumento de sua área cultivada. Por sua vez a expansão agrícola, principalmente no nordeste brasileiro, depende diretamente da irrigação, em função dessa região possuir altas taxas de evapotranspiração e uma má distribuição temporal de chuvas. A agricultura irrigada propicia bons rendimentos, mas por sua vez, demanda grande quantidade de água (70% da água é consumida na agricultura), sendo esse o recurso mais escasso na região (LIMA JÚNIOR, 2017).

O aumento da demanda hídrica tem se tornado uma das principais preocupações para a sociedade, essencialmente para o uso racional da irrigação na agricultura, uma vez que é o setor que mais consome esse insumo (LIMA JUNIOR *et al*., 2016). Devido ao aumento das áreas de cultivo e da escassez hídrica, faz-se necessário o aperfeiçoamento do manejo de irrigação, bem como o uso de fontes hídricas alternativas como o uso de água de poços artesinanos

Os poços artesianos captam água de aquíferos, que são reservatórios de água mais profundos e protegidos por camadas de rocha. A água desses poços é geralmente mais pura, pois é filtrada naturalmente pelos sais e pelas rochas, ao longo do tempo. Porém, para o uso seguro dessas águas subterrâneas na agricultura, deverão passar por análises de qualidade para garantir que o solo e a cultura não sejam afetados pela salinização. Entre os parâmetros utilizados salinidade e a Razão de Adsorção (SANHUDO; FRANCISCO; SILVA, 2025).

Diante do contexto, o presente estudo teve como objetivo relatar experiência em comunidade rural a respeito do cultivo de maracujá-amarelo irrigado com água de poço.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A irrigação do maracujá na área investigada é feita com água de poço artesiano. A água é armazenada em caixa de 16.000 litros, filtrada e distribuída por microaspersores por meio de bomba que garantem irrigação uniforme (Figura 1A, B, C). O sistema atende 200 plantas

organizadas em 100 coroas (duas plantas por coroa), com ajustes conforme o clima e o estágio de crescimento.

As irrigações não são realizadas de forma regular, variando conforme as condições climáticas e a fase de desenvolvimento da planta. O tempo de irrigação é ajustado de acordo com a razão dos microspersores para que forneçam água o suficiente para atender à necessidade das 200 plantas. Após a filtragem (Fig.1C), a água segue por tubulações até um tanque que por microaspersores distribui a irrigação de forma uniforme no pomar.

O plantio de maracujá-amarelo com uso de água de poço é realizado desde julho de 2024 iniciou a produção de maracujá irrigado com água de poço.

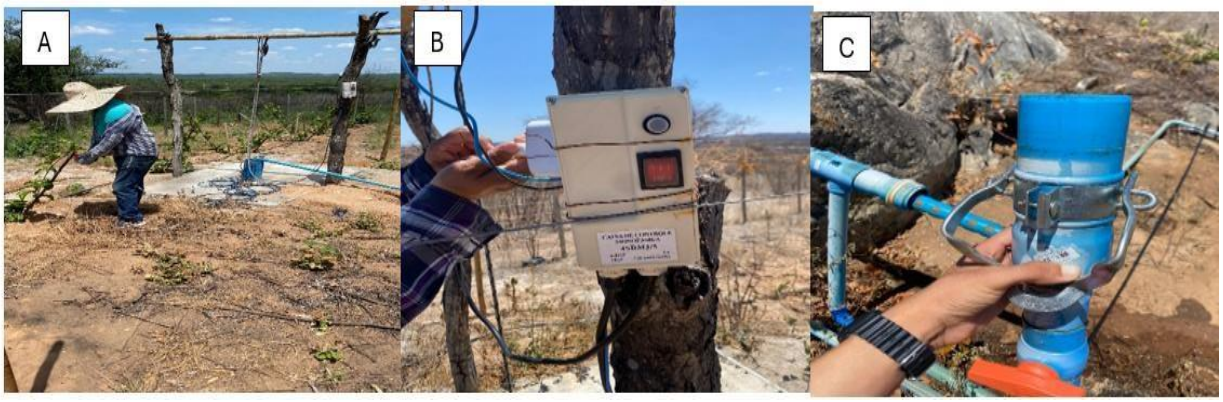


Figura 1. A. Poço artesiano.B. Interruptor que extrai água do poço para o tanque. C. Filtro para retirada de impurezas. Fotos: arquivo pessoal.

Na tabela 1 abaixo, seguem informações básicas sobre a área rural-alvo do relato de experiêcia,

Tabela 1. Informações da área rural do respective relato de experiência.

Sector	Quantidade
Plantas	200
Covas	100
Quantidade em litros por planta	1,8L/dia

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo relato do proprietário da área estudada, até o momento a terra vem produzindo maracujás desda o ano inicial, sem perder a qualidade e quantidade de frutos. Cada planta produz em média 37 maracujás a cada ciclo, sendo 200 plantas, no total serão 7.400 maracujás.

A experiência foi desenvolvida com o cultivo de plantas de maracujá em sistema irrigado, priorizando práticas sustentáveis e o uso eficiente dos recursos hídricos. A qualidade da água foi assegurada por meio de filtragem e armazenamento em reservatório, prevenindo impurezas e otimizando o desenvolvimento radicular das plantas. Como resultado, a experiência demonstrou que é possível aliar tecnologia e sustentabilidade no manejo do maracujá, garantindo eficiência, economia e respeito ao meio ambiente.

Segundo Torres et al., 2024 para mitigar a falta de água em propriedades rurais, a exemplo daa comunidade foco de estudo, a abertura de poços profundos tem se tornado cada vez mais recorrente. Em muitos casosas águas extraídas se caracterizam por apresentarem elevadas concentrações de sais. Essas águas nem sempre são indicadas para irrigação de cultivos, sobretudo de fruteiras, que são sensíveis à salinidade e nas comunidades rurais tem sido a principal fonte de renda.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de poço artesiano na produção de maracujá apresenta-se como uma alternativa estratégica para assegurar a disponibilidade hídrica necessária ao cultivo. Considerando que a cultura demanda irrigação contínua para expressar seu potencial produtivo, a utilização dessa fonte subterrânea reduz a vulnerabilidade às oscilações pluviométricas, especialmente em regiões semiáridas ou de distribuição irregular de chuvas.

Além de garantir estabilidade no fornecimento de água, a adoção do poço artesiano contribui para a eficiência produtiva, minimiza riscos de perdas econômicas e favorece a sustentabilidade da atividade agrícola, consolidando-se como uma ferramenta relevante para o fortalecimento da cadeia produtiva do maracujá.

Sugere-se realizar análises físico-químicas na água, para avaliar a qualidade e se seus componebtes não poderão prejudicar o solo, causando infertilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção de maracujá.** IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producaoagropecuaria/maracuja/br. Acesso em: junho 2025.

LIMA JUNIOR, J. C.; ARRAES, F. D.; OLIVEIRA, J. B. de; NASCIMENTO, A. L.;

MACÊDO, K. G de. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2016.

LIMA JÚNIOR, Juarez Cassiano de. **Desenvolvimento e potencial produtivo do maracujazeiro amarelo irrigado com lâminas de água residuária e de poço.** 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

PUY, A.; BORGONOVO, E.; LO PIANO, S.; LEVIN, S. A.; SALTELLI, A. Irrigated areas drive irrigation water withdrawals. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p. 4525, 2021.

SANHUDO, D. G. F.; FRANCISCO, P. J. S.; SILVA, J. P. Análise das características geoquímicas para irrigação das águas subterrâneas do aquífero do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro, Região de Tapes, Rio Grande do Sul. Perspectivas para o desenvolvimento sustentável. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 46, p p. 21-39, 2025.

TORRES, L.M.G et. USO E CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ZONAS RURAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas,** Macapá, n. 16, p. 95-110, 2024

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113653

A PARTICIPAÇÃO SOCIAL NO SANEAMENTO RURAL DO CEARÁ: O TRABALHO DAS EQUIPES SOCIAIS DO PROGRAMA ÁGUAS DO SERTÃO

LA PARTICIPACIÓN SOCIAL EN EL SANEAMIENTO RURAL DE CEARÁ: EL TRABAJO DE LOS EQUIPOS SOCIALES DEL PROGRAMA AGUAS DEL SERTÓN

SOCIAL PARTICIPATION IN RURAL SANITATION IN CEARÁ: THE WORK OF THE SOCIAL TEAMS OF THE ÁGUAS DO SERTÃO PROGRAM

Barbara Almas[1], Kilvia Freitas[2], Lívia Rodrigues[3] e Patrícia Sousa[4]

[1]Comunicadora Social, GITEC Brasil, Fortaleza/CE, Brasil, barbara.peters@gic-group.com;
[2]Assistente Social, Secretaria das Cidades, Fortaleza/CE, Brasil, kilvia.freitas@cidades.ce.gov.br;
[3]Assistente Social, Secretaria das Cidades, Fortaleza/CE, Brasil, livia.rodrigues@cidades.ce.gov.br;
[4]Tecnóloga em Saneamento Ambiental, CAGECE, Fortaleza/CE, Brasil, patricia.silva@cagece.com.br.

Eixo Temático 08 – Mobilização e participação social
Sensibilização e engajamento da população rural em ações de saneamento

Eje Temático 08 – Movilización y participación social
Sensibilización y compromiso de la población rural en acciones de saneamiento

RESUMO

Este artigo apresenta a experiência do trabalho social desenvolvido no saneamento rural do estado do Ceará, por meio do Programa Águas do Sertão (PAS), iniciativa voltada à universalização do acesso à água potável e ao esgotamento sanitário em comunidades rurais. A proposta destaca a importância da atuação das equipes sociais na mobilização, identificação e organização da população, etapas fundamentais para a implementação dos sistemas de abastecimento e esgotamento, bem como para a consolidação do modelo de gestão comunitária do SISAR, reconhecido como referência nacional. A análise está fundamentada no Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), com ênfase no eixo 2 – educação e participação social –, que orienta a inserção comunitária e a construção de práticas coletivas voltadas à sustentabilidade socioambiental. Nesse contexto, o trabalho social é estruturado em três fases: (1) reconhecimento e caracterização da comunidade; (2) acompanhamento da obra com promoção da educação ambiental e em saúde; e (3) avaliação e apresentação dos resultados. Essas etapas abrangem desde o diagnóstico inicial e a sensibilização das comunidades até a consolidação da gestão participativa dos sistemas implantados. As atividades realizadas incluem ações educativas, oficinas temáticas, reuniões comunitárias nas fases de pré-obra, obra e pós-obra, visitas domiciliares, pesquisas ex ante e ex post, além da produção de registros e relatos que documentam o processo e os resultados alcançados. Tais ações visam fortalecer o protagonismo comunitário, promover a educação ambiental e ampliar a consciência sobre o uso sustentável da água, estimulando a corresponsabilização das famílias na gestão dos sistemas. Entre os principais impactos observados destacam-se o engajamento ativo das comunidades, a valorização do conhecimento local, a melhoria das condições de saúde e higiene e o fortalecimento da gestão comunitária dos serviços de saneamento. O trabalho social,

portanto, revela-se essencial para garantir a eficácia e a sustentabilidade das intervenções, ao articular políticas públicas com práticas socioambientais e participação popular.

Palavras-chave: Saneamento rural, trabalho social, Programa Águas do Sertão

RESÚMEN

Este artículo presenta la experiencia del trabajo social desarrollado en el saneamiento rural del estado de Ceará, a través del Programa Aguas del Sertão (PAS), una iniciativa orientada a la universalización del acceso al agua potable y al saneamiento en comunidades rurales. La propuesta destaca la importancia de la actuación de los equipos sociales en la movilización, identificación y organización de la población, etapas fundamentales para la implementación de los sistemas de abastecimiento y saneamiento, así como para la consolidación del modelo de gestión comunitaria del SISAR, reconocido como referencia nacional. El análisis se fundamenta en el Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR), con énfasis en el eje 2 – educación y participación social –, que orienta la inserción comunitaria y la construcción de prácticas colectivas dirigidas a la sostenibilidad socioambiental. En este contexto, el trabajo social se estructura en tres fases: (1) reconocimiento y caracterización de la comunidad; (2) acompañamiento de la obra con promoción de la educación ambiental y en salud; y (3) evaluación y presentación de los resultados. Estas etapas abarcan desde el diagnóstico inicial y la sensibilización de las comunidades hasta la consolidación de la gestión participativa de los sistemas implantados. Las actividades realizadas incluyen acciones educativas, talleres temáticos, reuniones comunitarias en las fases de pre-obra, obra y post-obra, visitas domiciliarias, investigaciones ex-ante y ex post, además de la producción de registros y relatos que documentan el proceso y los resultados alcanzados. Tales acciones tienen como objetivo fortalecer el protagonismo comunitario, promover la educación ambiental y ampliar la conciencia sobre el uso sostenible del agua, estimulando la corresponsabilidad de las familias en la gestión de los sistemas. Entre los principales impactos observados se destacan el compromiso activo de las comunidades, la valorización del conocimiento local, la mejora de las condiciones de salud e higiene y el fortalecimiento de la gestión comunitaria de los servicios de saneamiento. El trabajo social, por lo tanto, se revela esencial para garantizar la eficacia y la sostenibilidad de las intervenciones, al articular políticas públicas con prácticas socioambientales y participación popular.

Palabras clave: Saneamiento rural, trabajo social, Programa Aguas del Sertão

ABSTRACT

This article presents the experience of social work carried out in rural sanitation in the state of Ceará, through the Águas do Sertão Program (PAS), an initiative aimed at universalizing access to drinking water and sanitation services in rural communities. The proposal highlights the importance of the role played by social teams in mobilizing, identifying, and organizing the population—essential steps for implementing water supply and sanitation systems, as well as for consolidating the community management model of SISAR, recognized as a national reference. The analysis is based on the National Rural Sanitation Program (PNSR), with emphasis on Axis 2 – education and social participation – which guides community engagement and the development of collective practices focused on socio-environmental sustainability. In this context, social work is structured into three phases: (1) recognition and characterization of the community; (2) monitoring of construction activities with promotion of

environmental and health education; and (3) evaluation and presentation of results. These phases encompass everything from initial diagnostics and community awareness to the consolidation of participatory management of the implemented systems. The activities carried out include educational actions, thematic workshops, community meetings during the pre-construction, construction, and post-construction phases, home visits, ex-ante and ex post surveys, as well as the production of records and reports that document the process and the outcomes achieved. Such actions aim to strengthen community leadership, promote environmental education, and raise awareness about the sustainable use of water, encouraging families to take shared responsibility in managing the systems. Among the main impacts observed are active community engagement, appreciation of local knowledge, improved health and hygiene conditions, and the strengthening of community management of sanitation services. Social work, therefore, proves to be essential for ensuring the effectiveness and sustainability of interventions, by connecting public policies with socio-environmental practices and popular participation.

Keywords: Rural sanitation, Social work, Águas do Sertão Program

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O Saneamento rural é uma questão multidisciplinar, de interesse multissetorial, envolvendo pessoas e suas relações com o meio ambiente. (IPLAN, 1989) O Projeto Nacional de Saneamento Rural (PNSR), elaborado no período de 1985 a 1989, surgiu como uma iniciativa inédita, em âmbito nacional, para o planejamento da atuação em saneamento rural, após anos de ações isoladas. (ROLAND; HELLER; REZENDE, 2022).

Décadas depois, em consonância com o Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab (2013), a Funasa iniciou em 2014 o processo de elaboração do Programa Nacional de Saneamento Rural visando estruturar ações permanentes para essa população. Finalmente, sua institucionalização legal ocorreu por meio da Portaria MS nº 3.174, de 2 de dezembro de 2019, que institui o Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR, com o objetivo de orientar e apoiar a implementação de políticas públicas de saneamento básico em áreas rurais e comunidades tradicionais. O PNSR também se alicerça sobre três eixos estratégicos: 1) gestão dos serviços; 2) educação e participação social; e 3) tecnologia. Ambos, em diferentes épocas e com suas particularidades, procuram ir além das abordagens predominantemente tecnocêntricas. Em sua concepção, o PNSR apresentava, portanto, inovações relacionadas às tecnologias utilizadas, aspectos de educação, participação social e gestão dos serviços. (ROLAND; HELLER; REZENDE, 2022).

Já no Ceará a partir da década de 1990, o Governo do Estado consolidou uma política de saneamento rural voltada para ampliar o acesso à água tratada e ao esgotamento sanitário

em comunidades do semiárido, historicamente afetadas pela escassez hídrica. Com foco na gestão participativa e na sustentabilidade, implementou, por meio da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), o modelo do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). Essa abordagem inovadora uniu investimentos em infraestrutura à capacitação comunitária e à gestão descentralizada, garantindo não apenas a operação e manutenção dos sistemas, mas também a autonomia das comunidades na administração dos serviços, contribuindo para a redução das desigualdades sociais e a melhoria da qualidade de vida no meio rural.

O presente artigo tem como objetivo descrever a experiência do trabalho social no Programa Águas do Sertão do Governo do Estado do Ceará, mostrando as atividades que são desenvolvidas para mobilização, identificação e organização da população em comunidades rurais, que receberão Sistemas de Abastecimento de Água – SAA´s e Sistemas de Esgotamento Sanitário – SES´s, através do Programa Águas do Sertão e do gerenciamento pelo modelo de gestão SISAR.

A população rural brasileira tem como principal fonte de abastecimento de água soluções alternativas como poços, rios, lagoas, açudes, nascentes aguadas e também caminhão-pipa. O acesso à água tratada através de rede de distribuição é de 1 em cada 3 domicílios. Já em relação ao esgotamento sanitário menos de 10% da população rural possui esgoto coletado ou fossas sépticas ligadas à rede geral. (IBGE, 2024)

O Programa Águas do Sertão (PAS) é parte estratégica da política de saneamento básico do Governo do Ceará para localidades rurais. É financiado por recursos do Governo do Estado do Ceará, de crédito externo junto ao Banco de Desenvolvimento Alemão (KfW) e por recursos do Latin American InvestmentFacility (LAIF) da União Europeia (CEARÁ, [s.d.]).

A implementação do Programa é feita pelo Governo do Estado, através da Secretaria das Cidades (SCidades), com apoio da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e do Banco KfW. O programa busca reduzir a vulnerabilidade e fortalecer a resiliência da população rural do Estado às secas e escassez de água, melhorando as condições de saúde e qualidade de vida por meio de soluções de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, além de fortalecer o modelo de gestão SISAR – Sistema Integrado de Saneamento Rural (CEARÁ, [s.d.]).

O Programa conta com quatro equipes sociais, alocadas de forma estratégica por todo o Estado do Ceará, cada uma composta por um gestor social e um técnico social. Essas equipes

exercem um papel estratégico na promoção do bem-estar das comunidades atendidas, contribuindo diretamente na melhoria das condições de vida da população, incentivando e promovendo a conscientização a respeito do uso racional dos recursos hídricos, como também a valorização dos sistemas implantados e o fortalecimento do protagonismo comunitário na gestão do saneamento básico rural.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O PAS contempla os três eixos estratégicos do PNSR já citados anteriormente. Neste artigo, vamos abordar o eixo 2: educação e participação social. O trabalho social para desenvolver suas ações se organiza em três fases, são elas: Reconhecimento e caracterização da comunidade; Acompanhamento da obra e promoção da educação ambiental e em saúde; e Avaliação e apresentação dos resultados. Essas fases dividem as ações que serão desenvolvidas durante o processo de realização do acompanhamento social após criteriosa análise da realidade da localidade em questão.

A fase inicial é de reconhecimento e caracterização da comunidade. Nessa fase é o momento de apropriação e conhecimento das comunidades a serem trabalhadas, identificando seus potenciais e suas limitações. São realizadas visitas para reconhecimento das comunidades visando conhecer as especificidades da área de intervenção e da população, com a mobilização das lideranças comunitárias para auxiliar na execução das ações nas comunidades e com a formalização de parcerias com o poder público e/ou com qualquer das múltiplas formas de organização da sociedade civil. São realizadas reuniões comunitárias de apresentação do programa e de adesão ao PAS e modelo de gestão SISAR, em busca de envolver a população atendida durante todo o processo de implantação dos sistemas.

Também são feitas reuniões nas prefeituras municipais para apresentação do programa, visando oficializar o início de sua execução no município e a implementação do arcabouço jurídico[1], tendo em vista que é um marco institucional do PAS. Essa atividade tem como base as seguintes minutas dos instrumentos jurídicos: Lei Autorizativa, Decreto, Acordo de Cooperação e Termo de Atuação em Rede. Além disso, é firmado também um Acordo de Cooperação Técnica Recíproca que tem por objeto o estabelecimento de compromissos

[1] O arcabouço jurídico é um conjunto de instrumentos jurídicos que formaliza e regulamenta as ações do gerenciamento dos Sisar's na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios.

recíprocos entre o Poder Público Estadual e Municipal, visando as implantações dos SAA's e SES's em localidades desse Município, sendo um equipamento público a ser construído pela SCidades, permitindo que o Estado tome posse da área onde serão construídos.

As equipes sociais também são responsáveis pelas tratativas da regularização fundiária dos terrenos para a implantação dos equipamentos dos SAA´s e dos SES´s e pela aplicação de uma pesquisa ex ante com a população comunitária, que acontece antes do início das atividades do trabalho social e da obra, a fim de obter informações sobre a comunidade (perfil socioeconômico, condições socioambientais, infraestrutura, associativismo, saúde) bem como o conhecimento das condições atuais de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

A segunda fase é de acompanhamento da obra e promoção da educação ambiental e em saúde. Durante a execução das atividades dessa fase é realizada uma conexão entre questão social e ambiental, pretendendo-se incitar a ação coletiva e organizada, no que se refere a educação ambiental, dos sujeitos sociais que constituem a comunidade da área de intervenção.

São realizadas visitas porta-a-porta que possibilitam uma maior aproximação com a comunidade da área de intervenção para informar a população sobre o uso correto do SAA, a importância da água tratada, orientando sobre as formas de evitar o desperdício e demais questões pertinentes ligadas a educação ambiental e saneamento básico, e ao modelo de gestão do SISAR.

As equipes sociais realizam diversas reuniões durante todas as etapas de implantação dos SAA´s. São elas: Reunião de início de obra para apresentação do projeto técnico executivo (planta, área de atendimento), para explanação do procedimento de fiscalização e também das ações socioambientais a serem executadas nas comunidades; Reunião de acompanhamento da obra para apresentação do andamento da obra, para debater sobre pontos importantes considerados pela equipe de fiscalização e para esclarecimento de dúvidas, reclamações e sugestões da população comunitária; Reunião de início da pré-operação[2] para apresentação do sistema executado, de como vai proceder os testes da operação e atividades sociais desenvolvidas. Na ocasião deverá ser assinado o Termo de Recebimento Provisório da Obra – TRPO; Reunião de conclusão da obra, para apresentação final da obra executada, de como se procedeu a pré-operação e encaminhamentos do início da etapa de operação da associação junto

[2]É quando a empresa construtora responsável pela obra realiza testes e verificações em todos os componentes do SAA antes do início das operações regulares.

ao SISAR, com a assinatura o Termo de Recebimento Definitivo da Obra – TRDO.

As equipes sociais também desenvolvem ações socioambientais, que têm como objetivos específicos: Promover uma aproximação do PAS junto às comunidades beneficiadas nas três etapas que o programa executa (pré-obra, obra e pós-obra) e assim, promover o fortalecimento do associativismo; Desenvolver a educação ambiental; Conscientizar a população sobre o bom uso dos SAA's implantados pelo programa; Sensibilizar a população para novos hábitos e atitudes relacionadas à questão sanitária e ambiental; Abordar assuntos sobre saúde, direitos humanos, políticas públicas; Incentivar o desenvolvimento das potencialidades econômicas das comunidades e Promover a valorização da população local.

A fase de avaliação e apresentação dos resultados tem como objetivo principal acompanhar e avaliar as atividades executadas durante todo o período trabalhado, visando garantir a qualidade dos resultados, por meio de ajustes necessários.

As equipes sociais realizam periodicamente reuniões de planejamento, monitoramento e avaliação e elaboram relatórios mensais com os resultados das ações executadas durante todo o período, a fim de fazer um relato sobre as atividades que foram realizadas mostrando as dificuldades e facilidades encontradas, como também, os resultados alcançados. Além disso, participam de reuniões e trabalhos sociais realizados pelo SISAR local, além de dar apoio à equipe no que for necessário, com o objetivo de acompanhar a operação da obra, o uso do SAA pela comunidade e avaliar o nível de satisfação da comunidade quanto ao modelo de gestão SISAR.

Após a entrega da obra é aplicada a pesquisa ex post que visa corroborar as informações sobre a comunidade obtidas na pesquisa ex ante. Sua realização ocorre ao fim das atividades do trabalho social, pois pretende visualizar as mudanças no cotidiano da população e os impactos na comunidade, provocados pelo SAA ou SES executado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fundamentando-se no PNSR previamente mencionado, apresentam-se os resultados das atividades desenvolvidas pelas equipes sociais no âmbito do Programa Águas do Sertão até o presente momento. A abordagem contemplará as três fases do trabalho social, evidenciando seus objetivos, metodologias e impactos.

Um exemplo de uma atividade da fase de reconhecimento e caracterização da

comunidade foi realizada na comunidade de Camilos no município de Meruoca (CE): a reunião de adesão ao modelo de gestão SISAR e apresentação do projeto da obra do SAA, com a participação da comunidade, equipe social do PAS, equipe técnica da Gerência de Obras do Programa Águas do Sertão – GOPAS, equipe do SISAR da Bacia do Acaraú e Coreaú – BAC. Na oportunidade, a equipe social do PAS apresentou o programa e explicou sobre as etapas do trabalho social durante a fase de pré-obra. A assistente social do SISAR/BAC falou sobre o modelo de gestão SISAR, sobre os atendimentos sociais prestados às comunidades filiadas e de como é feita a parceria entre SISAR e comunidade.

Figura 1. Reunião de apresentação do PAS e adesão ao modelo de gestão SISAR
Fonte: Acervo fotográfico UGP PAS, 2024.

Na fase de acompanhamento da obra e promoção da educação ambiental e em saúde destacam-se as seguintes ações do trabalho social: na comunidade de Olho d'Água da Bica, localizada no município de Tabuleiro do Norte (CE) foi realizada a reunião de início da pré-operação do Sistema de Abastecimento de Água. Na ocasião, estiveram presentes representantes da Unidade de Gerenciamento do Programa Águas do Sertão (UGP PAS), da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), da equipe do SISAR da Bacia do Baixo e Médio Jaguaribe (BBJ), da empresa executora da obra, além da prefeita, vereadores e secretários municipais. O encontro teve como objetivo apresentar aos beneficiados informações relevantes sobre o início da operação do sistema, incluindo o status atual da obra e a necessidade de pequenos ajustes domiciliares para a correta recepção da água tratada. A reunião também serviu como espaço para esclarecimento de dúvidas da comunidade.

Figura 2. Reunião de pré-operação na localidade de olho d'água da bica, em Tabuleiro do Norte/CE
Fonte: Acervo fotográfico UGP PAS, 2025.

Já na comunidade de Gozo no município de Pindoretama (CE) foi realizada pela equipe social uma ação socioambiental com alunos da EMEB Pedro Ricardo da Silva em parceria com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente. O evento teve como principal objetivo sensibilizar a comunidade escolar sobre a importância da preservação dos recursos hídricos.

Como ato concreto, os alunos participaram de uma coleta coletiva de resíduos sólidos nas margens do Açude Malcozinhado, local onde será captada a água para abastecer as comunidades rurais que serão beneficiadas pela implantação do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), por meio do Programa Águas do Sertão.

Após a coleta de resíduos, os participantes foram convidados a participar de um momento de plantio de duas mudas de Ipê, árvore nativa da região, nas imediações do açude. O plantio das mudas faz parte da Campanha "Festa Anual das Árvores", promovida pelo Governo do Estado do Ceará, que busca conscientizar e sensibilizar a população sobre a importância das árvores para o equilíbrio da vida no planeta.

Figura 3. Ação socioambiental na comunidade do Gozo em Pindoretama/CE
Fonte: Acervo fotográfico UGP PAS, 2025.

Na fase de avaliação e apresentação dos resultados, apresentam-se os dados da pesquisa ex post aplicada na comunidade de Curupati Irrigação no município de Jaguaribara (CE), a fim de visualizar as mudanças no cotidiano da população provocada pela execução do Sistema de Abastecimento de Água. Mais de 90% da população local considera-se satisfeito com a implantação do SAA e mais de 80% afirmam que a vida mudou após sua implantação. Com isso, considera-se que Programa Águas do Sertão trouxe grandes impactos positivos para essa comunidade.

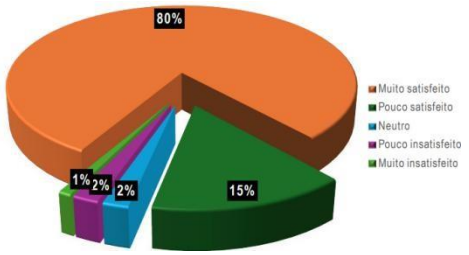


Figura 4. Satisfação com a implantação do SAA? Fonte: Pesquisa ex post comunidade Curupati Irrigação, 2025.

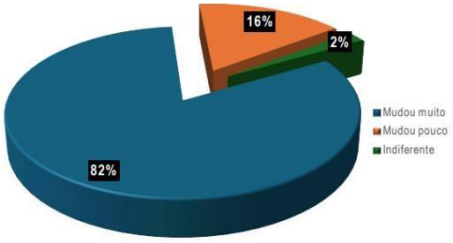


Figura 5. A vida mudou após a implantação SAA? Fonte: Pesquisa ex post comunidade Curupati Irrigação, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que o trabalho social no âmbito do PAS não apenas viabiliza a implementação técnica dos sistemas de saneamento rural, mas também promove transformações sociais significativas. Ao integrar educação, mobilização e gestão comunitária, o programa contribui para a construção de comunidades mais conscientes, organizadas e comprometidas com a preservação dos recursos naturais e com a melhoria da qualidade de vida da população rural do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bases para a Formulação de Políticas e Programas em Saneamento Rural. 1989. “Instituto de Planejamento Econômico e Social - IPLAN.”

CEARÁ. Secretaria das Cidades. Programa Águas do Sertão. Disponível em: https://www.cidades.ce.gov.br/programa-aguas-do-sertao-2/. Acesso em: 15 jun. 2025.

O Projeto Nacional de Saneamento Rural (1985-1989) No Brasil: Limites E Potencialidades Nathalia Roland, Léo Heller, Sonaly Rezende “Revista brasileira de estudos urbanos e regionais, v.24, e202217pt, 2022 https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202217pt

Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102158_informativo.pdf2023. Acesso em 24 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19113672

AÇÕES DE EDUCAÇÃO EM SAÚDE AMBIENTAL PARA A SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM MUNICÍPIOS RURAIS DO CEARÁ: O PROJETO SUSTENTAR RURAL

ACCIONES DE EDUCACIÓN EN SALUD AMBIENTAL PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN MUNICIPIOS RURALES DE CEARÁ: EL PROYECTO SUSTENTAR RURAL

ENVIRONMENTAL HEALTH EDUCATION ACTIONS FOR THE SUSTAINABILITY OF WATER SUPPLY SYSTEMS IN RURAL MUNICIPALITIES OF CEARÁ: THE SUSTENTAR RURAL PROJECT

Cleyton Oliveira Silva[1], Davi Fernandes Tomé[2], Nágela Maria de Oliveira Silva[3]

[1]Bacharel em Engenharia Civil, Estácio, Quixadá, Brasil, cleytonsanear@gmail.com, nº 0009-0002-2527-4094;
[2]Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitarista, IFCE — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará , Quixadá, Brasil, daviftmnp@gmail.com, 0009-0004-5457-6352;
[3]Licenciada em Química, IFCE — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará , Quixadá, Brasil, nagelaoliveira150289@gmail.com, 0009-0008-7078-9832.

Eixo Temático 08 – Mobilização e Participação Social
Sensibilização e engajamento da população rural em ações de saneamento.
.
Eje Temático 08 – Movilización y Participación Social
Sensibilización y compromiso de la población rural en acciones de saneamiento.

Thematic Axis 08 – Mobilization and Social Participation
Awareness and engagement of the rural population in sanitation actions.

RESUMO

O Projeto Sustentar Rural, uma colaboração estratégica e de grande relevância entre a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), foi concebido com a missão central de fortalecer a educação em saúde ambiental e promover a participação social ativa. Seu objetivo é assegurar a sustentabilidade e a eficácia dos Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA) e Soluções Alternativas Coletivas (SAC) que foram implementados pela FUNASA/SUEST Ceará. O projeto parte do princípio fundamental de que a mera entrega de obras de infraestrutura é insuficiente para a perenidade desses sistemas, que frequentemente sofrem com o abandono, a falta de manutenção adequada e a carência de conhecimento técnico e gerencial por parte das comunidades. Para enfrentar essa realidade, uma série de visitas estratégicas e oficinas de

capacitação foram realizadas, com a conclusão de todas as etapas de treinamento entre março e setembro de 2025, em nove municípios: Alto Santo, Aratuba, Canindé, Choró, Ibaretama, Jaguaretama, Morada Nova, Quixadá e Quixeramobim.

Essas ações, correspondentes às Metas 4 e 5 do projeto, envolveram um público diversificado e engajado, que incluiu gestores e técnicos municipais, líderes comunitários, operadores de sistemas de água e profissionais das áreas de saúde e educação. As oficinas abordaram uma ampla gama de temas cruciais, cobrindo desde a importância da qualidade da água e a aplicação de tecnologias sociais até a gestão de resíduos e a operação de sistemas de abastecimento. As metodologias foram cuidadosamente adaptadas às realidades locais, combinando formatos presenciais, virtuais e práticos. As avaliações de engajamento e compreensão dos participantes foram amplamente positivas, embora alguns desafios tenham sido identificados, como a baixa adesão à modalidade virtual, problemas de logística de deslocamento em áreas rurais e a necessidade de fortalecer as lideranças locais e aprimorar a comunicação. Com a finalização desta fase de treinamento, o projeto avança para a próxima etapa, focando na elaboração de Planos de Ação municipais e relatórios técnicos consolidados, com o objetivo de garantir a continuidade e o impacto duradouro das iniciativas de saneamento e saúde ambiental.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Educação ambiental, Abastecimento de água, Sustentabilidade

RESÚMEN

El Proyecto Sustentar Rural, una colaboración entre la Fundación Nacional de Salud (FUNASA) y la Universidad Federal del Valle de São Francisco (UNIVASF), se dedica a fortalecer la educación en salud ambiental para garantizar la sostenibilidad y eficacia de los Sistemas Simplificados de Abastecimiento de Agua (SSAA) o Soluciones Alternativas Colectivas (SAC) implementadas por FUNASA/SUEST Ceará. Reconociendo que la mera entrega de obras estructurales es insuficiente para la sostenibilidad a largo plazo, el proyecto tiene como objetivo abordar el deterioro de infraestructuras, la escasez técnica y gerencial, y la necesidad de una participación comunitaria activa. Para ello, se realizaron visitas estratégicas y talleres de capacitación en varios municipios de Ceará, incluidos Alto Santo, Aratuba, Canindé, Choró, Ibaretama, Jaguaretama, Morada Nova, Quixadá y Quixeramobim, entre marzo y septiembre de 2025.

Estas acciones iniciales, parte de las Metas 4 y 5 del proyecto, involucraron a gestores y técnicos municipales, líderes comunitarios, operadores de sistemas y profesionales de las áreas de salud y educación. Los temas abordados en los talleres fueron amplios, desde la calidad del agua y las tecnologías sociales hasta la gestión de residuos y la operación de sistemas de abastecimiento, con formatos híbridos (presencial, virtual y práctico) adaptados a las realidades locales. Las evaluaciones de la participación y comprensión de los participantes fueron mayoritariamente positivas, aunque se identificaron desafíos como la conectividad en áreas rurales, problemas de logística de desplazamiento y la necesidad de fortalecer los liderazgos locales y mejorar la comunicación. El proyecto avanza con la elaboración de Planes de Acción municipales e informes técnicos consolidados, con el objetivo de lograr la

continuidad y el impacto duradero de las iniciativas de saneamiento y salud ambiental.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Educación ambiental, Abastecimiento de agua, Sostenibilidad

ABSTRACT

The Sustentar Rural Project, a strategic and highly relevant collaboration between the National Health Foundation (FUNASA) and the Federal University of Vale do São Francisco (UNIVASF), was conceived with the central mission of strengthening environmental health education and promoting active social participation. Its objective is to ensure the sustainability and effectiveness of Simplified Water Supply Systems (SSAA) and Collective Alternative Solutions (SAC) that have been implemented by FUNASA/SUEST Ceará. The project starts from the fundamental principle that the mere delivery of infrastructure works is insufficient for the longevity of these systems, which frequently suffer from abandonment, lack of proper maintenance, and a shortage of technical and managerial knowledge on the part of communities. To address this reality, a series of strategic visits and intensive training workshops were carried out, with the conclusion of all training stages between March and September 2025, in nine municipalities: Alto Santo, Aratuba, Canindé, Choró, Ibaretama, Jaguaretama, Morada Nova, Quixadá, and Quixeramobim.

These actions, corresponding to Project Goals 4 and 5, involved a diverse and engaged audience, including municipal managers and technicians, community leaders, water system operators, and professionals from the health and education sectors. The workshops covered a wide range of crucial topics, from the importance of water quality and the application of social technologies to waste management and system operation. Methodologies were carefully adapted to local realities, combining in-person, virtual, and practical formats. While evaluations of participant engagement and comprehension were largely positive, some challenges were identified, such as low adherence to the virtual modality, rural displacement logistics issues, and the need to strengthen local leaderships and improve communication. With the conclusion of this training phase, the project moves to the next stage, focusing on the development of municipal Action Plans, based on local experiences and demands, with the aim of ensuring the continuity and lasting impact of sanitation and environmental health initiatives.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Environmental education, Water supply, Sustainability

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O Projeto Sustentar Rural é uma iniciativa estratégica, fruto da colaboração entre a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), formalizada pelo TED 12/2022. Seu principal objetivo é a implementação de

ações de educação em saúde ambiental para a sustentabilidade e efetividade dos Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água (SSAA) ou Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água (SAC) implantadas pela SUEST-Ceará. A relevância deste projeto advém do reconhecimento de que a mera entrega de obras estruturais não tem sido suficiente para garantir a perenidade desses sistemas. Essa abordagem, focada exclusivamente na dimensão técnica, ignora que a sustentabilidade depende da apropriação da tecnologia pela comunidade e do desenvolvimento de mecanismos de gestão local. Conforme aponta Heller (1997), a falha de muitos programas de saneamento reside na baixa atenção aos aspectos sociais, educativos e de mobilização, que são essenciais para que a infraestrutura se transforme em um serviço efetivo e duradouro. Além disso, a gestão da água não é apenas uma questão de engenharia, mas um processo político e social complexo (CASTRO, 2007). O projeto, portanto, atua diretamente na carência técnica e gerencial e na necessidade imperativa de participação ativa das comunidades para superar o histórico de sucateamento.

O projeto abrange 64 municípios e indiretamente 944 comunidades no estado do Ceará, focando em localidades que receberam obras diretas da FUNASA, como Chafariz, SAA e SALTA Z. O público-alvo inclui gestores e técnicos municipais (da vigilância sanitária, saúde, meio ambiente, agricultura, educação e áreas afins), operadores dos sistemas e lideranças comunitárias. A experiência aqui relatada concentra-se nas visitas e nos primeiros encontros de capacitação realizados em nove municípios cearenses: **Alto Santo**, **Aratuba**, **Canindé**, **Choró**, **Ibaretama**, **Jaguaretama**, **Morada Nova**, **Quixadá** e **Quixeramobim**, entre março e setembro de 2025, conforme a Figura 1. Essas ações correspondem às Metas 4 e 5 do projeto, visando o alinhamento estratégico, a formalização de parcerias e o início das capacitações para a promoção da autogestão e do empoderamento local em saneamento básico e saúde ambiental.

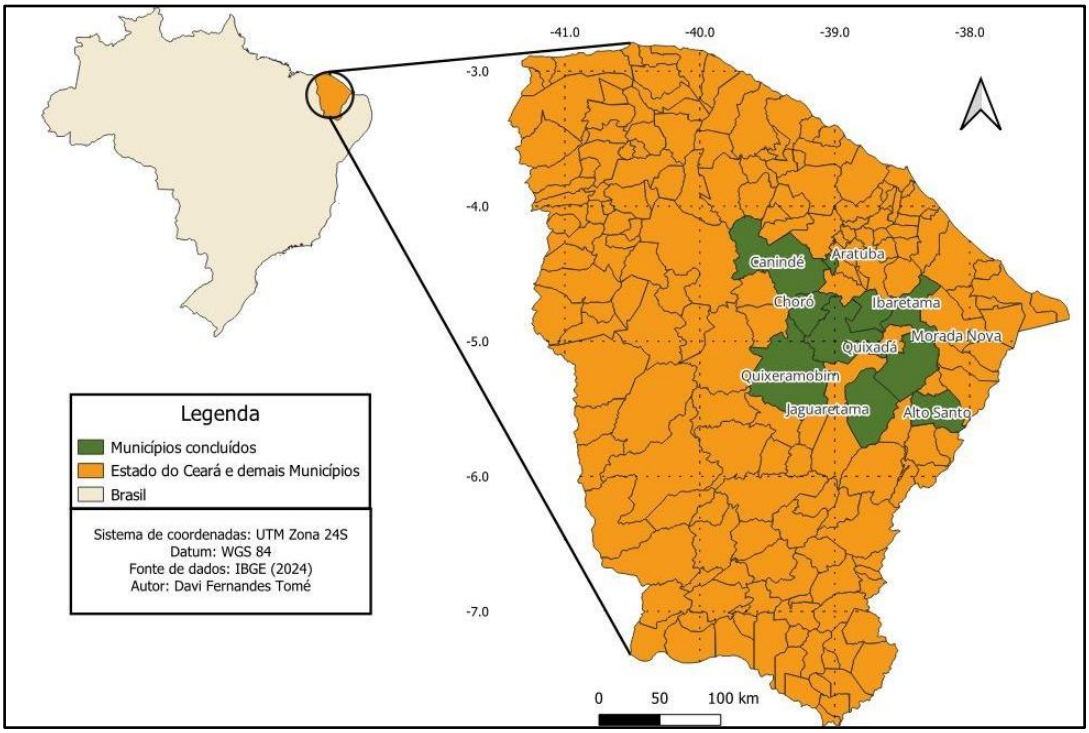


Figura 1. Municípios atendidos pelas etapas 4 e 5.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A fase inicial do Projeto Sustentar Rural consistiu em visitas de reconhecimento e reuniões de alinhamento com as prefeituras dos municípios contemplados, seguidas pela realização de oficinas de capacitação. A equipe do projeto é multidisciplinar, composta por um coordenador geral, uma coordenadora técnica, pedagogas e técnicos regionais.

As visitas aos municípios, parte da Meta 4, tiveram como objetivo principal apresentar o escopo do Projeto Sustentar Rural, delinear seus objetivos, e formalizar a participação de representantes municipais para as futuras atividades. Em cada município, foram confirmados os nomes dos representantes designados pelas prefeituras para atuar nas oficinas e solicitadas as portarias formais de designação, garantindo o apoio institucional.

As oficinas foram planejadas para um público-alvo diversificado, incluindo os

representantes municipais indicados, líderes comunitários das comunidades beneficiadas, profissionais do município envolvidos no saneamento rural, e membros dos setores de saúde e educação. Para garantir a qualidade da interação, o número máximo de participantes por oficina foi limitado a 15 pessoas. Ao final da capacitação, a UNIVASF e a FUNASA são as entidades responsáveis pela emissão dos certificados.

A infraestrutura para as oficinas foi cuidadosamente selecionada para garantir um ambiente adequado e equipado. As atividades presenciais ocorreram em locais como a Sala de Reunião da Secretaria de Educação em **Alto Santo**, o Auditório da Secretaria em **Aratuba**, o Auditório Praça dos Mestres em **Canindé**, a Câmara Municipal em **Choró**, **Ibaretama** e **Jaguaretama** (Casa da Cultura de Aurora), o Auditório da Secretaria em **Morada Nova**, o Auditório da Prefeitura de **Quixadá**, e a Ascontec em **Quixeramobim**. Todos os locais contavam com banheiros, área para lanche, cadeiras, sistema de som, projetor e água potável.

O formato das oficinas é híbrido, combinando momentos presenciais e virtuais para otimizar o aprendizado e a flexibilidade. Geralmente, o Dia 1 (8 horas/aula) inclui Momentos 1 e 2 presenciais. O Dia 2 (8 horas/aula) é composto por um Momento 1 virtual (4 horas/aula) e um Momento 2 de campo/prático (4 horas/aula). O Dia 3 (8 horas/aula) é presencial, culminando na finalização das oficinas e no início da elaboração do plano de ação. As datas dos dias subsequentes ao primeiro encontro são acordadas com o grupo de participantes.

A alimentação durante as oficinas foi organizada de forma colaborativa: as prefeituras disponibilizaram café, chá e água, enquanto o Projeto Sustentar Rural forneceu descartáveis, lanches (manhã e tarde) e custeou o almoço, geralmente servido no local da oficina, com contratação de serviços locais.

Os temas abordados nas oficinas são fundamentais para a sustentabilidade e efetividade dos sistemas de água, incluindo: Saúde ambiental e doença de veiculação hídrica; Mobilização e participação social; Vigilância e controle da qualidade da água; Boas Práticas intra-domiciliares de cuidado com a água para o consumo humano; Descarte de resíduos sólidos e reuso de águas cinzas; Gestão e operação dos sistemas de abastecimento de água; Política de saneamento, titularidade do serviço e alternativas de gestão; e Agroecologia, quintais produtivos e tecnologias sociais. Materiais didáticos como cartazes, canetas

hidrográficas, projetores multimídia e materiais impressos foram amplamente utilizados, e dinâmicas com perguntas auxiliaram na fixação do conteúdo. A mobilização foi feita através das secretarias municipais, lideranças locais e grupos de *WhatsApp*.

Tabela 1. Representantes Municipais Designados e Datas de Visita, 2025

Município	Data da Visita (Meta 4)	Representantes Designados por Portaria
Alto Santo	25 de abril de 2025	Leandro Guerra Cabo Araújo (Fiscal de Obras), Carla Barreto Carlos (Sec. Desenv. Urbano e Meio Ambiente), Antônio Ramalho Cabo Junior (Sec. Agricultura)
Aratuba	18 de agosto de 2025	Representantes de secretarias municipais, comunidades rurais e associações comunitárias.
Canindé	14 de abril de 2025	José Almir Martins de Freitas (Coord. IDACE), Francisco Mateus Vieira Gomes (Coord. Apoio Progr. e Projetos), Maria Isadora Cruz Gondim (Técnica em Agropecuária)
Choró	07 de abril de 2025	Maria Carli de Sousa Silva (Agente Administrativo), Francisco Evaldo Miguel Barbosa (Dir. Depto. Agricultura e Pecuária), Cleylton Pimentel Gomes (Chefe Div. Arrecadação)
Ibaretama	03 de abril de 2025	Marcos Cleiton Oliveira Freias (Coord. PAA), José Alexandre Ferreira (Téc. Manutenção de Poços), José Arimatéia Rodrigues de Menezes (Chefe UMC/INCRA)
Jaguaretama	01 de abril de 2025	Raimunete Oliveira Chaves (Sec. Municipal de Governo e Gestão), Francisco Rodolfo Vieira da Silva (Assessor de Análise de Projetos), Francisco Kessio Cirilo da Silva (Núcleo de Apoio Atividades Hídricas)
Morada Nova	31 de março de 2025	Cristiano Ferreira Almeida (Dir. Adm. Financeiro), Francisco Andrada de Sousa (Eletricista/Bombeiro), Naydson de Oliveira Rodrigues (Bombeiro Hidráulico)
Quixadá	29 de abril de 2025	Edson Almeida de Freitas Júnior (Dir. Licenciamento AMMA), Francisco de Assis de Souza Lima (Eletricista SEDUMASP), Maria Vilma Vidal Bezerra (Assistente

	Parlamentar)

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Figura 1. Atividade Desafio - Perguntas e Respostas - Jaguaretama - Ceará
Fonte: Elaboração própria, 2025.

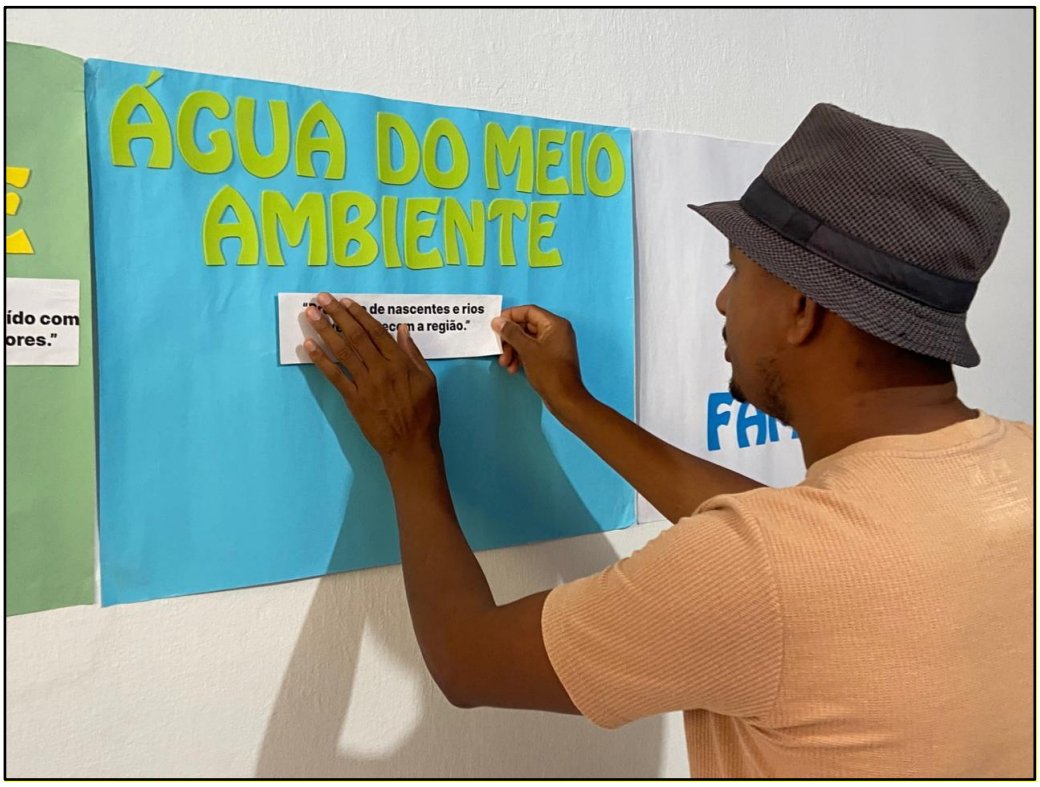


Figura 2. Dinâmica - Cinco lutas pela água - Aratuba, Ceará
Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do Projeto Sustentar Rural nos diferentes municípios visitados entre março e setembro de 2025 demonstram uma adesão e percepção majoritariamente positivas por parte dos participantes, embora com desafios comuns e particularidades regionais. A Tabela 2 sintetiza os principais dados de avaliação de engajamento e compreensão dos participantes nos municípios

Tabela 2. Resultados da Avaliação das Oficinas

Município	Nível de Engajamento e Avaliação	Principais Pontos de Destaque e Desafios
Alto Santo	Alto engajamento, com discussão aprofundada.	Participação ativa de vereadores e secretários. Preocupação manifestada com a contrapartida municipal para apoio.
Aratuba	Alto engajamento e conhecimento prático.	Grupo com bom conhecimento sobre a realidade local. Abordaram desafios como a dependência de carros-pipa e a falta de planejamento para segurança hídrica.
Canindé	Engajamento alto nas primeiras duas oficinas. Projeto não concluído.	A 3ª oficina não foi realizada por falta de mobilização e quórum mínimo. Os representantes designados não forneceram nova data ou local para a finalização do projeto.
Choró	Participação média, mas com engajamento alto. Avaliação de 100% de concordância em conteúdo e formato.	Forte compromisso da prefeitura, que garantiu contrapartida integral. Experiências negativas com projetos anteriores de cisternas ressaltaram a importância do acompanhamento.
Ibaretama	Participação em torno de 15 pessoas. Avaliação majoritariamente positiva.	Participantes com bom nível de conhecimento prático. Solicitada a entrega de certificados no encerramento da oficina.
Jaguaretama	Participação em torno de 15 pessoas. Avaliação de 92% a 100% de concordância nos indicadores.	Formato dinâmico aprovado. Identificada carência de pessoal técnico e problemas como água salobra. Demonstrou interesse em temas de dessalinização caseira.
Morada Nova	Alto engajamento.	Participação diversificada de técnicos e representantes da gestão. Debate sobre gestão hídrica e dessalinização caseira.
Quixadá	Participação em torno de 10 pessoas. Conhecimento prévio limitado.	Sugestão de horários mais flexíveis para a modalidade *online*, devido a problemas de logística e transporte. Demanda por visitas técnicas e esclarecimentos sobre projetos paralisados da FUNASA.
Quixeramobim	Alto engajamento e conhecimento técnico.	Participação de técnicos do SAAE com bom conhecimento da realidade local. Pedido de um canal

	de comunicação direto com a FUNASA para discutir demandas.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Pontos Fortes Comuns

- **Relevância do Conteúdo:** Em todos os municípios, os participantes consideraram o conteúdo relevante para o contexto local. Essa relevância do conteúdo ecoa os princípios da pedagogia freireana, que preconiza a educação como prática da liberdade, onde o saber é construído a partir da realidade experiencial e das necessidades concretas dos sujeitos (Freire, 1970) e reflete a importância do conhecimento local e da participação comunitária na construção de soluções, tal como defendido nas abordagens de desenvolvimento participativo (Chambers, 1997), onde as necessidades das comunidades são o ponto de partida para a ação.
- **Formato Engajador:** O formato das oficinas foi amplamente aprovado. Dinâmicas interativas, como o "Júri Simulado" em Alto Santo e a gincana com música em Jaguaretama, demonstraram eficácia na integração e no aprendizado coletivo ao promoverem a integração e o aprendizado coletivo, corroboram a perspectiva de Vygotsky (2007) de que o desenvolvimento cognitivo é impulsionado pela interação social e pela construção conjunta de significados.
- **Aumento da Compreensão:** Houve um aumento significativo na compreensão sobre os complexos desafios relacionados ao abastecimento de água, saúde e sustentabilidade, com a maioria dos participantes relatando ter compreendido os temas abordados. A compreensão alcançada pelos participantes reflete a necessidade de um pensamento complexo (Morin, 2015), que permite apreender a interdependência dos desafios de abastecimento de água, saúde e sustentabilidade, superando a visão fragmentada.
- **Infraestrutura e Acolhimento:** As condições físicas e o ambiente dos eventos, incluindo espaço e alimentação, foram consistentemente avaliados de forma positiva em todos os municípios. A satisfação dos participantes, frequentemente ligada à qualidade da infraestrutura e do ambiente acolhedor, é um fator determinante para o sucesso de eventos (Goldblatt, 2011; Getz, 2012).
- **Receptividade e Engajamento Institucional:** A equipe do projeto encontrou boa

receptividade nas comunidades e total disponibilidade para colaborar por parte dos prefeitos e secretários municipais em todos os municípios. A formalização da participação de servidores através de portarias é um indicativo desse engajamento. A boa receptividade e a total disponibilidade para colaborar observadas nas comunidades e entre os gestores municipais visto à luz do conceito de capital social, proposto por Putnam (1993), destacando a importância das redes de confiança e das normas de reciprocidade para o engajamento cívico e a cooperação.

Desafios e Fragilidades Comuns

- **Adesão ao Modelo Virtual:** Uma dificuldade recorrente foi a baixa adesão e a preferência por encontros presenciais em detrimento dos virtuais. Os participantes relataram problemas de conexão e falta de familiaridade com plataformas digitais.
- **Logística de Deslocamento:** A jornada integral das oficinas dificultou o retorno de participantes das zonas rurais mais distantes, um ponto levantado em Jaguaretama e Quixadá.
- **Fortalecimento de Lideranças:** A ausência de uma "liderança de frente" ativa foi relatada como um obstáculo. A sustentabilidade da gestão comunitária da água depende criticamente do fortalecimento do capital social, ou seja, da capacidade de organização, confiança e ação coletiva, que muitas vezes precisa ser induzida e apoiada por agentes externos (JACOBI, 2005).
- **Carência Técnica para Manutenção:** Relatos de problemas como água salobra, poços parados e a falta de pessoal técnico para manutenção de sistemas foram consistentes em municípios como Jaguaretama e Quixeramobim.
- **Experiências Negativas:** Em Choró, a experiência negativa com projetos anteriores, como cisternas de placas abandonadas por falta de acompanhamento e treinamento, serviu de alerta sobre a importância da capacitação contínua.
- **Cultura de "Reclamar e Não Agir":** O debate sobre a cultura de "reclamar e não agir" em Alto Santo mostrou um obstáculo enraizado que precisa ser superado para que as iniciativas comunitárias prosperem.
- **Barreiras Culturais e Individualismo:** Em Canindé, foi relatada a dificuldade em relação à mentalidade humana na gestão de resíduos (prática de queimar lixo) e a

distribuição injusta da água, com o individualismo prejudicando a todos.

Considerações Específicas por Município

- **Alto Santo:** Houve uma manifestação de preocupação quanto à contrapartida que a prefeitura poderia oferecer para o apoio às oficinas. A discussão sobre a taxação da água levantou o debate sobre a capacidade orçamentária do município para custear o abastecimento.
- **Aratuba:** O grupo demonstrou alto engajamento, abordando desafios como a dependência de carros-pipa e a falta de planejamento para a segurança hídrica. A maioria dos participantes evidenciou um bom conhecimento prático sobre a realidade hídrica local.
- **Canindé:** O projeto enfrentou desafios na realização completa das oficinas. A terceira oficina, que seria a etapa de finalização e elaboração do plano de ação, não pôde ser realizada por falta do número mínimo de participantes. Os representantes designados pela prefeitura não fizeram a mobilização necessária e não disponibilizaram uma nova data e local para concluir o projeto na cidade.
- **Choró:** A prefeitura afirmou que a contrapartida para o apoio às oficinas seria integralmente garantida, demonstrando um forte compromisso.
- **Ibaretama:** Foi solicitada a possibilidade de realizar a entrega dos certificados diretamente no encontro de encerramento da oficina de capacitação.
- **Jaguaretama:** O município demonstrou interesse em incluir nas oficinas: gestão municipal para distribuição hídrica em comunidades rurais e dicas práticas para dessalinização caseira.
- **Morada Nova:** Também demonstrou interesse em incluir nas oficinas: gestão municipal para distribuição hídrica em comunidades rurais e dicas práticas para dessalinização caseira. A sugestão de integrar as ações de educação ambiental em rotinas já existentes, como as visitas dos Agentes Comunitários de Saúde (ACS), demonstrou uma solução inteligente e de alta capilaridade.
- **Quixadá:** Sugeriu que as oficinas fossem realizadas somente nos horários da manhã e tarde na modalidade *online*, em consideração à logística de deslocamento dos

participantes, e a inclusão de visitas técnicas a sistemas de abastecimento de água.

- **Quixeramobim:** Houve um pedido para abrir um canal de comunicação direto com a FUNASA para discutir obras paradas e novas demandas para o município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto Sustentar Rural reafirma a complexidade e a importância da educação em saúde ambiental para a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água em áreas rurais. Os resultados positivos das avaliações de conteúdo e formato demonstram a pertinência da metodologia adotada e a receptividade das comunidades e gestões municipais. A abordagem híbrida das oficinas, embora desafiada por questões de conectividade e familiaridade com o ambiente virtual em algumas localidades, provou ser adaptável, e a preferência por encontros presenciais salienta a necessidade de interação direta e prática para o aprendizado efetivo.

Para as próximas etapas, é crucial que o projeto incorpore os aprendizados desta fase de treinamento. Isso inclui o fortalecimento contínuo das lideranças comunitárias, com foco na capacitação para a autogestão e o papel de multiplicadores. A revisão do formato das oficinas, privilegiando o modelo presencial ou adaptando o virtual com maior suporte técnico e consideração da realidade local, é essencial. A inclusão de atividades práticas de manutenção e operação dos sistemas, além de visitas técnicas, pode suprir a carência técnica identificada e aumentar o senso de apropriação dos beneficiários. A comunicação eficiente e a atualização constante dos materiais didáticos também são pontos-chave para aprimorar o impacto do projeto a longo prazo.

O Projeto Sustentar Rural está construindo as bases para uma gestão hídrica mais sustentável e uma melhoria na saúde ambiental das comunidades rurais do Ceará. A continuidade das ações através dos Planos de Ação municipais e o monitoramento constante dos desafios e avanços serão fundamentais para a efetividade e o legado duradouro desta importante iniciativa. Como Freire (1974) bem coloca: “Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo”.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos a todas as Prefeituras Municipais

(**Alto Santo**, **Aratuba**, **Canindé**, **Choró**, **Ibaretama**, **Jaguaretama**, **Morada Nova**, **Quixadá** e **Quixeramobim**), aos prefeitos, secretários e a todos os representantes e membros das comunidades que acolheram a iniciativa e demonstraram engajamento proativo durante as visitas e oficinas. A colaboração de todos é fundamental para o sucesso e o desenvolvimento sustentável das comunidades rurais do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, José Esteban. Governança da água no século XXI. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 10, n. 2, p. 97–118, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/gwKvL3Y8vGm685z797KdR9C/abstract/?lang=pt. Acesso em: 13 out. 2025.

CHAMBERS, R. 1997. Cuja Realidade Importa: Colocando o Primeiro em Último Lugar. Londres: Intermediate Technology Publications.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA); UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO (UNIVASF). Plano de Trabalho do Termo de Execução Descentralizada nº 01/2022. Petrolina: UNIVASF; Fortaleza: FUNASA, 2022.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1974.

HELLER, Léo. *Saneamento e saúde.* Brasília: OPAS/OMS, jun. 1997. 102 p. Disponível em: https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/0242.pdf. Acesso em: 13 out. 2025.

ACOBI, Pedro Roberto; EMPINOTTI, Vanessa; LEÃO, Renata de Souza; SOUZA, Alexandre do N. Governança da água no Brasil. In: JACOBI, Pedro R.; FRACALANZA, Ana Paula; EMPINOTTI, Vanessa (org.). *Governança da água no contexto iberoamericano: inovação em processo.* São Paulo: Annablume, 2015. p. 11–28. Disponível em: https://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2015/Livros/Jacobi%20-%20Governan%C3%A7a%20da%20%C3%A1gua%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 13 out. 2025.

GETZ, Donald. 2012. Theory, Research and Policy for Planned Events. London: Routledge.

GOLDBLATT, S. 2011. The Complete Guide to Greener Meetings and Activities. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

MORIN, Edgar. 2015. Introdução ao Pensamento Complexo. Porto Alegre: Sulina.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Alto Santo –*

Relatório por Município: Produto Meta 05. Alto Santo: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; FERNANDES, Davi; MARIA, Nagela. *Aratuba – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Aratuba: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; FERNANDES, Davi; MARIA, Nagela. *Canindé – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Canindé: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Choró – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Choró: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Ibaretama – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Ibaretama: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Jaguaretama – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Jaguaretama: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Morada Nova – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Morada Nova: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Quixadá – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Quixadá: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Quixeramobim – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Quixeramobim: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Alto Santo – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Alto Santo: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; FERNANDES, Davi; MARIA, Nagela. *Aratuba – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Aratuba: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; FERNANDES, Davi; MARIA, Nagela. *Canindé – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Canindé: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Choró – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Choró: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Ibaretama – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Ibaretama: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Jaguaretama – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Jaguaretama: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Morada Nova – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Morada Nova: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Quixadá –*

Relatório por Município: Produto Meta 05. Quixadá: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Quixeramobim – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Quixeramobim: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Alto Santo – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Alto Santo: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; FERNANDES, Davi; MARIA, Nagela. *Aratuba – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Aratuba: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; FERNANDES, Davi; MARIA, Nagela. *Canindé – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Canindé: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Choró – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Choró: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Ibaretama – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Ibaretama: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Jaguaretama – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Jaguaretama: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Morada Nova – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Morada Nova: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Quixadá – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Quixadá: FUNASA/UNIVASF, 2025.

OLIVEIRA DA SILVA, Cleyton; MARIA, Nagela; FERNANDES, Davi. *Quixeramobim – Relatório por Município: Produto Meta 05*. Quixeramobim: FUNASA/UNIVASF, 2025.

PUTNAM, Robert D. 1993. Making Democracy Work: Civic Tradition and Modern Italy. Princeton, NJ: Princeton University Press.

VIGOTSKI, L. S. 2007. A Formação Social da Mente: o Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores. São Paulo: Martins Fontes.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114228

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM BELO JARDIM–PE

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN BELO JARDIM–PE

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF IMPLEMENTING THE INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT PLAN IN BELO JARDIM–PE

Maria Letícia da Silva[1], Maria de Jesus Delmondes Neta[2], Gabriel Xavier de Holanda Cavalcanti [3] e Silvanete Severino da Silva[4].

[1]Bacharelanda em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, leticia.silva2@ufrpe.br, 0009-0008-1365-8633;
[2]Bacharelanda em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, jesus.delmondes@ufrpe.br, 0009-0001-3575-8466;
[3]Bacharelanda em Engenharia Hídrica, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, gabriel.xaviercavalcanti@ufrpe.br, 0009-0001-3575-8466;
[4]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;

Eixo Temático VII – Desenvolvimento Sustentável
Educação Ambiental e conscientização para o saneamento

Eje Temático VII – Desarrollo Sostenible
Educación Ambiental y Concienciación sobre Saneamiento

RESUMO

O crescimento urbano e industrial tem ampliado os desafios relacionados ao manejo de resíduos sólidos nos municípios brasileiros, exigindo políticas públicas integradas e efetivas. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade de implantação de um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos no município de Belo Jardim–PE, considerando os aspectos legais, técnicos, econômicos, sociais e ambientais, a fim de identificar potencialidades, limitações e diretrizes que subsidiem a gestão municipal. A metodologia consistiu em uma análise documental e normativa da legislação federal, estadual e municipal aplicável, incluindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), o Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020), a Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei nº 14.236/2010) e dispositivos municipais como o Código de Meio Ambiente e o IPTU Verde. Os instrumentos foram examinados quanto às suas exigências, descrição e grau de conformidade com a realidade local. Os resultados indicam que Belo Jardim dispõe de um arcabouço normativo amplo, mas em conformidade parcial em grande parte dos dispositivos, sobretudo pela ausência de um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) consolidado e de um Programa de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Destacam-se como potencialidades a existência de aterro sanitário, legislações ambientais municipais, incentivos fiscais como o

IPTU Verde e iniciativas de diversificação da matriz energética. Por outro lado, persistem limitações como a falta de coleta seletiva estruturada, a ineficácia da fiscalização, o lançamento de esgoto in natura e o baixo engajamento social. Conclui-se que a implantação de um PMSB articulado a um Programa de Gestão de Resíduos Sólidos é viável, desde que acompanhada de diretrizes estratégicas voltadas à infraestrutura técnica, fortalecimento institucional, educação ambiental, inclusão social e sustentabilidade financeira, garantindo maior efetividade das políticas públicas e melhoria da qualidade ambiental local.

Palavras-chave: Educação Ambiental, Desenvolvimento Sustentável, Gestão de Recursos Hídricos; Participação Social, Objetivo de desenvolvimento sustentável 6

RESUMEN

El crecimiento urbano e industrial ha ampliado los desafíos relacionados con el manejo de residuos sólidos en los municipios brasileños, exigiendo políticas públicas integradas y efectivas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de implementar un Plan de Gestión Integrada de Residuos Sólidos en el municipio de Belo Jardim–PE, considerando los aspectos legales, técnicos, económicos, sociales y ambientales, con el fin de identificar potencialidades, limitaciones y directrices que respalden la gestión municipal. La metodología consistió en un análisis documental y normativo de la legislación federal, estatal y municipal aplicable, incluyendo la Política Nacional de Residuos Sólidos (Ley nº 12.305/2010), el Marco Legal del Saneamiento Básico (Ley nº 11.445/2007, modificada por la Ley nº 14.026/2020), la Política Estatal de Residuos Sólidos (Ley nº 14.236/2010) y disposiciones municipales como el Código de Medio Ambiente y el IPTU Verde. Los instrumentos fueron examinados en cuanto a sus exigencias, descripción y grado de conformidad con la realidad local. Los resultados indican que Belo Jardim dispone de un amplio marco normativo, pero en gran parte con conformidad parcial, sobre todo por la ausencia de un Plan Municipal de Saneamiento Básico (PMSB) consolidado y de un Programa de Gestión Integrada de Residuos Sólidos. Se destacan como potencialidades la existencia de un relleno sanitario, legislaciones ambientales municipales, incentivos fiscales como el IPTU Verde e iniciativas de diversificación de la matriz energética. Por otro lado, persisten limitaciones como la falta de recolección selectiva estructurada, la ineficacia de la fiscalización, el vertido de aguas residuales sin tratamiento y la baja participación social. Se concluye que la implementación de un PMSB articulado a un Programa de Gestión de Residuos Sólidos es viable, siempre que esté acompañada de directrices estratégicas orientadas a la infraestructura técnica, fortalecimiento institucional, educación ambiental, inclusión social y sostenibilidad financiera, garantizando mayor efectividad de las políticas públicas y mejora de la calidad ambiental local.

Palabras clave: Educación Ambiental, Desarrollo Sostenible, Gestión de Recursos Hídricos, Participación Social, Objetivo de desarrollo sostenible 6

ABSTRACT

Urban and industrial growth has increased the challenges related to solid waste management in Brazilian municipalities, requiring integrated and effective public policies. This study aimed to assess the feasibility of implementing an Integrated Solid Waste Management Plan in the municipality of Belo Jardim–PE, considering legal, technical, economic, social, and

environmental aspects, in order to identify potentialities, limitations, and guidelines to support municipal management. The methodology consisted of a documentary and normative analysis of applicable federal, state, and municipal legislation, including the National Solid Waste Policy (Law No. 12,305/2010), the Legal Framework for Basic Sanitation (Law No. 11,445/2007, amended by Law No. 14,026/2020), the State Solid Waste Policy (Law No. 14,236/2010), and municipal instruments such as the Environmental Code and the Green Property Tax (IPTU Verde). These instruments were examined in terms of their requirements, descriptions, and degree of compliance with the local reality. The results indicate that Belo Jardim has a broad regulatory framework, but with partial compliance in most provisions, mainly due to the absence of a consolidated Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB) and an Integrated Solid Waste Management Program. Identified potentialities include the existence of a sanitary landfill, municipal environmental legislation, tax incentives such as the Green Property Tax, and initiatives for diversifying the energy matrix. On the other hand, limitations persist, such as the luntreated sewage, and low social engagement. It is concluded that the implementation of a PMSB ack of structured selective collection, ineffective enforcement, the discharge of articulated with a Solid Waste Management Program is feasible, provided it is accompanied by strategic guidelines focused on technical infrastructure, institutional strengthening, environmental education, social inclusion, and financial sustainability, ensuring greater effectiveness of public policies and improvement of local environmental quality.

Keywords: Environmental Education, Sustainable Development, Water Resources Management, Social Participation, Sustainable Development Goal 6

INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos representa um dos principais desafios ambientais nas cidades brasileiras contemporâneas. Esse cenário é impulsionado pelo crescimento populacional, pela expansão urbana e pelo consumo acelerado, intensificando os impactos negativos relacionados ao manejo inadequado dos resíduos, como a contaminação do solo e da água, a proliferação de vetores e as emissões de gases de efeito estufa. Por meio da decomposição de resíduos orgânicos em lixões ou aterros inadequados, grandes quantidades de metano um gás de efeito estufa com potencial 21 vezes superior ao do dióxido de carbono são liberadas, agravando os impactos climáticos (Rede ODS Brasil, 2016). Nesse contexto, a gestão integrada dos resíduos sólidos surge como uma estratégia fundamental para promover a sustentabilidade ambiental, a saúde pública e a eficiência na utilização de recursos.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabeleceu diretrizes para o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, definindo instrumentos, responsabilidades compartilhadas e metas de redução, reutilização, reciclagem e destinação final apropriada. Segundo o IBAMA (2023, p. 1), a PNRS "estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativos à gestão integrada e ao

gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis". Apesar dos avanços, a implementação da PNRS ainda encontra barreiras significativas em diversos municípios, especialmente de pequeno e médio porte, que enfrentam limitações financeiras, técnicas e institucionais para a consolidação de políticas eficazes de gerenciamento.

O município de Belo Jardim–PE, localizado no Agreste pernambucano, apresenta características socioeconômicas e ambientais que demandam maior atenção no que se refere à gestão de resíduos sólidos. O município possui Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,63, classificado como médio, e índice de Gini de 0,51, indicando significativa desigualdade social (IBGE, 2022).

Apesar de iniciativas socioambientais recentes como o projeto *Recicla Belo Jardim*, que busca evitar o descarte de cerca de 50 toneladas/mês de materiais recicláveis no aterro municipal, observa-se que as estratégias de gerenciamento integrado ainda são incipientes, o que compromete a sustentabilidade local e a conformidade com os dispositivos legais (PREFEITURA DE BELO JARDIM, 2023). Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade de implantação de um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos em Belo Jardim–PE, considerando aspectos legais, técnicos, econômicos, sociais e ambientais, de modo a identificar potencialidades, limitações e diretrizes que possam subsidiar a gestão municipal de resíduos sólidos.

METODOLOGIA

1. Caracterização da Área de Estudo

O município de Belo Jardim, está localizado na mesorregião do Agreste Pernambucano, apresenta população estimada em aproximadamente 79.507 mil habitantes (IBGE, 2022) e uma economia baseada principalmente na agroindústria (Moura, Palmeron e Natto), comércio e serviços. O município possui dinâmica urbana em expansão, o que intensifica a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e aumenta a necessidade de estratégias integradas de gestão.

O clima semiárido, a sazonalidade hídrica e as limitações de infraestrutura urbana configuram fatores que influenciam diretamente na produção, coleta e destinação final dos resíduos, tornando a área de estudo relevante para a análise de viabilidade de um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS).

2. Análise Metodológica

A pesquisa adota abordagem qualitativa e descritiva, baseada em levantamento bibliográfico, documental e normativo, além de análise de dados secundários sobre a realidade municipal. O estudo foi conduzido em três eixos principais:

1. Levantamento de dados socioeconômicos, demográficos e ambientais de Belo Jardim;
2. Identificação e análise da legislação vigente em âmbito federal, estadual e municipal;
3. Elaboração de um plano de ação teórico que contemple diretrizes para a implantação do PGIRS.

3. Plano de Ação

O plano de ação foi estruturado com base nas recomendações da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), considerando os seguintes eixos estratégicos:

- Diagnóstico da situação atual da gestão de resíduos no município;
- Definição de metas de redução, reutilização, reciclagem e destinação final ambientalmente adequada;
- Inclusão da coleta seletiva e fortalecimento de associações de recicladores;
- Proposição de campanhas de educação ambiental voltadas à população;
- Definição de responsabilidades institucionais e mecanismos de monitoramento e avaliação.

4. Legislação a ser regulamentada

A análise jurídica contempla a observância da legislação federal, estadual e municipal, isto é, Leis e decretos municipais relacionados ao meio ambiente e saneamento, verificando lacunas e a necessidade de adequação normativa.

4. Análise da conformidade

A análise de conformidade das legislações e instrumentos de gestão ambiental adotou uma classificação baseada em três níveis: “sim” (conformidade), “parcial” (conformidade parcial) e “não” (não conformidade), representados pelas cores verde, amarela e vermelha, respectivamente. Essa metodologia possibilita avaliar de forma objetiva o grau de aderência das normas às práticas locais, facilitando a identificação de lacunas e potencialidades no gerenciamento de resíduos sólidos. O uso de cores como recurso visual remete à lógica dos sistemas de indicadores de semáforo (traffic-light indicators), amplamente empregados em diagnósticos ambientais, sociais e de políticas públicas por sua capacidade de sintetizar

informações complexas e torná-las mais acessíveis à análise comparativa. Assim, a cor verde indica conformidade plena, associada a situações em que a legislação encontra-se implementada e funcional; a cor amarela representa conformidade parcial, sinalizando avanços, mas também fragilidades institucionais ou operacionais; e a cor vermelha aponta ausência de conformidade, demonstrando falhas críticas que comprometem a efetividade da gestão. Essa abordagem metodológica é reconhecida em estudos de avaliação de políticas públicas e gestão de resíduos sólidos, sendo aplicada, por exemplo, por Silva et al. (2020) em análises de indicadores ambientais municipais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise comparativa e Revisão bibliográfica e documental

O Quadro 1 consolida a legislação federal, estadual e municipal aplicável à gestão de resíduos sólidos e à política ambiental em Belo Jardim – PE. Foram destacadas as principais exigências normativas, a situação observada no município e o grau de conformidade a ser avaliado. A sistematização permite identificar avanços, lacunas e desafios para adequação às diretrizes nacionais e locais, além de evidenciar o papel das leis municipais no fortalecimento da gestão ambiental. O acesso ao Quadro 1, está disponível no link <https://docs.google.com/document/d/19HWE7QCngapaqP-ova4LcTi52qcmosp6zwjeAtpON6Y/edit?usp=sharing>, o qual está disponível para livre acesso.

O levantamento da legislação federal, estadual e municipal aplicável à gestão de resíduos sólidos e à política ambiental em Belo Jardim-PE demonstra a existência de um conjunto normativo robusto, mas cuja conformidade prática é desigual.

No âmbito federal, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), em conjunto com o Decreto nº 7.404/2010, estabelece instrumentos fundamentais para a gestão integrada, como o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), a coleta seletiva, a logística reversa e a responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010a). No entanto, em Belo Jardim observa-se apenas conformidade parcial, visto que, apesar da existência de aterro sanitário, não há programa estruturado de coleta seletiva nem incentivo consolidado à atuação de associações de recicladores. Essa lacuna compromete a efetividade da PNRS, uma vez que a população continua descartando resíduos em locais inadequados e

sem confiança no serviço público. Estudos nacionais apontam que a baixa efetividade dos PMGIRS é uma realidade em boa parte dos municípios brasileiros, sobretudo de médio porte (IPEA, 2021).

Do ponto de vista setorial, observa-se que empresas industriais conseguem atender parcialmente às exigências de logística reversa em função de incentivos fiscais, mas a adesão da população às práticas previstas na legislação é limitada, possivelmente em razão da ausência de políticas consistentes de educação ambiental. Como destacam Costa, Silva e Gomes (2021), a participação social e o engajamento comunitário são elementos críticos para a efetividade da gestão de resíduos sólidos, o que reforça a necessidade de programas de educação ambiental aliados ao planejamento municipal.

Em relação ao Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020), a conformidade também é parcial. Embora o município figure nos indicadores oficiais com 100% de cobertura de abastecimento de água, na prática a população depende de carros-pipa e enfrenta interrupções frequentes. A drenagem urbana é insuficiente, favorecendo o aporte de resíduos sólidos no canal do rio Bitury, que recebe ainda esgoto sem tratamento. A ETE instalada em 2024 não opera em plena capacidade, pois o sistema de coleta ainda não está consolidado, e parte significativa do esgoto continua sendo lançado no rio Inhumas. Essas evidências reforçam a urgência de um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), instrumento obrigatório segundo a legislação nacional (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020), é essencial para articular os serviços de água, esgoto, drenagem e manejo de resíduos sólidos.

No plano estadual, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei nº 14.236/2010) também se encontra em conformidade parcial, pois, embora estabeleça diretrizes para a elaboração de PMGIRS alinhados à PNRS, Belo Jardim ainda não consolidou plenamente esse instrumento.

No âmbito municipal, diversos instrumentos legais foram criados, mas apresentam graus distintos de conformidade. O Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (CONDEMA), instituído desde 1985 e reestruturado em diferentes momentos, encontra-se em vigência, mas sua atuação sofre limitações, sobretudo pela insuficiência de recursos financeiros do Fundo Municipal de Meio Ambiente (Lei nº 2.120/2014), cuja gestão não está plenamente integrada às decisões do conselho. O Código Municipal de Meio Ambiente (Lei nº 2.052/2013), que deveria regular infrações e prever penalidades, também revela conformidade parcial, já que

episódios recentes de queimadas em áreas de preservação, como na Mata da Rita, evidenciam falhas de fiscalização.

Por outro lado, alguns dispositivos apresentam conformidade mais sólida, como a criação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Lei nº 3.522/2023) e a reestruturação recente do COMDEMA (Lei nº 3.576/2024), que ampliou a representatividade do conselho. Da mesma forma, a normativa sobre exploração de energia eólica e fotovoltaica (Lei nº 3.419/2022) reflete avanços na diversificação da matriz energética local. Entretanto, medidas como o IPTU Verde (Lei nº 3.317/2020) apresentam conformidade parcial, pois, apesar de prever incentivos fiscais para práticas sustentáveis (como a separação de resíduos e a captação de água da chuva), carece de adesão social e mecanismos de fiscalização eficazes.

De maneira geral, os resultados revelam que Belo Jardim dispõe de um arcabouço normativo amplo, mas majoritariamente em conformidade parcial. A fragmentação entre legislação e prática cotidiana reforça a necessidade de consolidar um Programa de Gestão de Resíduos Sólidos que articule a PNRS e a legislação estadual às especificidades locais, além de avançar na implementação do PMSB. Esse alinhamento institucional é fundamental para superar a atual condição de baixa efetividade, reduzir os impactos ambientais decorrentes da urbanização acelerada e do crescimento industrial, e promover uma gestão integrada capaz de assegurar sustentabilidade e qualidade de vida à população (ABRELPE, 2022; COSTA; SILVA; GOMES, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em Belo Jardim possui condições normativas e institucionais para avançar, mas necessita superar fragilidades técnicas, financeiras e sociais. A consolidação de um Programa de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos articulado ao PMSB é imprescindível para transformar o arcabouço legal existente em ações efetivas, promovendo a sustentabilidade urbana e melhoria da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022*. São Paulo: ABRELPE, 2022.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 8 jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 3 ago. 2010a.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. *Diário Oficial da União*, Brasília, 15 jul. 2020.

COSTA, M. S.; SILVA, R. S.; GOMES, T. A. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: desafios e perspectivas para municípios de médio porte. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, n. 16, p. 211-229, 2021.

HOJE PE. Projeto socioambiental de Belo Jardim pode evitar o descarte de 50 toneladas/mês de materiais recicláveis. 2023. Disponível em: https://hojepe.com.br/projeto-socioambiental-de-belo-jardim-pode-evitar-o-descarte-de-50-toneladas-mes-de-materiais-reciclaveis/. Acesso em: 7 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022: Belo Jardim (PE)*. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/belo-jardim.html. Acesso em: 6 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Publicado em 29 nov. 2022; atualizado em 16 nov. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs. Acesso em: 6 set. 2025.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no Brasil*. Brasília: IPEA, 2021.

lINFOSANBAS. Indicadores populacionais e socioeconômicos de Belo Jardim–PE. 2023. Disponível em: https://infosanbas.org.br/municipio/belo-jardim-pe/. Acesso em: 7 set. 2025.

PREFEITURA DE BELO JARDIM. Projeto socioambiental da Prefeitura de Belo Jardim pode evitar o descarte de 50 toneladas/mês de materiais recicláveis. 2023. Disponível em: https://belojardim.pe.gov.br/projeto-socioambiental-da-prefeitura-de-belo-jardim-pode-evitar-o-descarte-de-50-toneladas-mes-de-materiais-reciclaveis/. Acesso em: 7 set. 2025.

REDE ODS BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): Lei nº 12.305/2010. 2016. Disponível em: https://www.redeodsbrasil.org/post/2016/03/02/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs-lei-n-12305-2010. Acesso em: 7 set. 2025.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, J. R.; PEREIRA, L. C. Indicadores de sustentabilidade ambiental municipal: uma análise baseada em sistema semafórico. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 15, p. 45-60, 2020. DOI: 10.21438/rbgas(2020)07154.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114242

Mapeamento Biorregional como Estratégia de Mobilização e Participação Social para o Saneamento Rural

Mapeo Biorregional como Estrategia de Movilización y Participación Social para el Saneamiento Rural

Bioregional Mapping as a Strategy for Social Mobilization and Participation in Rural Sanitation

Carla V. H. Ferraz[1], Júlia A. Barata[2].

[1]Graduada em Oceanografia e Mestra em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, UFBA, Salvador-Ba, Brasil, carlinha.hage@gmail.com
[2]Graduada em Ciências Sociais e Bacharela em Sociologia do Meio Ambiente e Saúde, UFBA, Salvador-Ba, Brasil, julia.barata@cerb.ba.gov.br

Eixo Temático 08 – Mobilização e Participação Social

Eje Temático 08 – Movilización y Participación Social

Thematic Axis 08 – Mobilization and Social Participation

RESUMO

O saneamento rural no Brasil enfrenta desafios relacionados à universalização do acesso e à baixa efetividade da participação social nas políticas públicas. Embora a legislação reconheça a importância do controle social, na prática os mecanismos de engajamento comunitário são frágeis, limitando a sustentabilidade das ações implementadas. Nesse contexto, este artigo discute o potencial do **Mapeamento Biorregional** como ferramenta metodológica para fortalecer a mobilização comunitária e atender às demandas do **Eixo VIII – Mobilização e Participação Social**. Trata-se de um processo participativo que integra convenções cartográficas ao saber popular, resultando em mapas de caráter técnico, político e cultural. A metodologia envolve etapas de definição do tema, oficinas participativas, levantamento de informações locais, reconhecimento territorial, construção coletiva, sistematização cartográfica, validação social e devolutiva. Mais do que um processo de coleta de dados, o método gera um **produto final entregue à comunidade**, que funciona como instrumento de comunicação, mobilização e planejamento. Ao contemplar inclusão de diferentes atores, tradução acessível de informações complexas e valorização da identidade territorial, o mapeamento biorregional mostra-se uma estratégia promissora para diagnósticos participativos e para a implementação de políticas de saneamento rural mais legítimas, transparentes e eficazes.

Palavras-chave: mapeamento participativo, saneamento rural, participação social, educação popular, controle social

RESUMEN

El saneamiento rural en Brasil enfrenta desafíos relacionados con la universalización del acceso y la baja efectividad de la participación social en las políticas públicas. Aunque la legislación reconoce la importancia del control social, en la práctica los mecanismos de compromiso comunitario son frágiles, lo que limita la sostenibilidad de las acciones implementadas. En este contexto, este artículo analiza el potencial del **Mapeo Biorregional** como herramienta metodológica para fortalecer la movilización comunitaria y responder a las demandas del **Eje VIII – Movilización y Participación Social**. Se trata de un proceso participativo que integra convenciones cartográficas con el saber popular, generando mapas de carácter técnico, político y cultural. La metodología contempla etapas de definición del tema, talleres participativos, levantamiento de informaciones locales, reconocimiento territorial, construcción colectiva, sistematización cartográfica, validación social y devolución. Más que un proceso de recolección de datos, el método produce un **producto final entregado a la comunidad**, que actúa como instrumento de comunicación, movilización y planificación. Al incorporar la inclusión de diferentes actores, la traducción accesible de informaciones complejas y la valorización de la identidad territorial, el mapeo biorregional se presenta como una estrategia prometedora para diagnósticos participativos y para la implementación de políticas de saneamiento rural más legítimas, transparentes y eficaces.

Palabras clave: mapeo participativo, saneamiento rural, participación social, educación popular, control social

ABSTRACT

Rural sanitation in Brazil faces challenges related to universal access and the limited effectiveness of social participation in public policies. Although legislation recognizes the importance of social control, in practice community engagement mechanisms remain fragile, which limits the sustainability of implemented actions. In this context, this paper discusses the potential of **Bioregional Mapping** as a methodological tool to strengthen community mobilization and address the demands of **Thematic Axis VIII – Mobilization and Social Participation**. It is a participatory process that integrates cartographic conventions with local knowledge, producing maps with technical, political, and cultural dimensions. The methodology includes stages of theme definition, participatory workshops, collection of local information, territorial recognition, collective construction, cartographic systematization, social validation, and final feedback. More than a data collection process, the method delivers a **final product to the community**, serving as a tool for communication, mobilization, and planning. By ensuring inclusion of diverse actors, providing accessible translation of complex information, and valuing territorial identity, bioregional mapping emerges as a promising strategy for participatory diagnostics and for implementing rural sanitation policies that are more legitimate, transparent, and effective.

Keywords: participatory mapping, rural sanitation, social participation, popular education, social control

INTRODUÇÃO

O saneamento rural no Brasil ainda apresenta grandes desafios relacionados à universalização do acesso, à qualidade dos serviços e à efetividade da gestão. Apesar dos avanços institucionais conquistados com o Marco Legal do Saneamento (Brasil, 2020) e com a Política Nacional de Saneamento Básico (Brasil, 2007), a realidade do campo permanece marcada por desigualdades históricas, infraestrutura precária e baixa integração das comunidades nas tomadas de decisão. Embora as políticas públicas estabeleçam diretrizes para a participação social, na prática, os mecanismos de escuta e engajamento da população rural são frequentemente frágeis ou inexistentes, o que compromete tanto a eficácia das ações quanto a sustentabilidade dos projetos implementados (Funasa, 2019).

A ausência de processos participativos consistentes no saneamento rural gera soluções descoladas da realidade vivida pelas populações locais. Comunidades rurais, muitas vezes, não têm suas demandas devidamente consideradas, resultando em políticas que não contemplam especificidades culturais, territoriais e ambientais. Esse distanciamento entre a formulação técnica e o cotidiano da população compromete o controle social, enfraquece a corresponsabilidade comunitária e limita o engajamento necessário para a manutenção das iniciativas (Abers, 2000). Experiências com metodologias participativas aplicadas em comunidades tradicionais evidenciam, entretanto, que a inclusão efetiva da população em processos de gestão de recursos pode gerar soluções mais justas, legitimadas socialmente e tecnicamente viáveis (Ferraz, 2014).

Nesse contexto, apresentamos o **Mapeamento Biorregional** como um instrumento de luta e aquisição de poder destinado a comunidades, a partir da sistematização e discussão com enfoque na educação popular e ambiental. O resultado dessa construção tem como produto mapas temáticos vinculados à cultura, território, histórias e empoderamento da comunidade, combinando conhecimento científico ao tradicional e estabelecendo processos participativos de ação consciente e integrada. Ao mesmo tempo, fortalece o sentido de responsabilidade cidadã e de pertencimento a uma determinada localidade (Barata, 2014).

Ele surge como uma ferramenta metodológica inovadora, capaz de integrar convenções da cartografia com o saber popular. Essa perspectiva tem sido defendida como proposta de educação popular e de mudança social, reforçando o potencial do mapeamento

para dar visibilidade às pautas comunitárias e ampliar a capacidade de negociação dos grupos locais (Barata, 2014). Ao registrar histórias, símbolos, rotas e percepções locais em diálogo com elementos cartográficos formais, os mapas biorregionais se consolidam como instrumentos de comunicação e mobilização (Silva, 2019). Sua função vai além da representação espacial: eles se constituem em espaços de diálogo e negociação entre comunidades, técnicos e gestores públicos, em consonância com a ideia de identidade territorial como fundamento para práticas sustentáveis (Ab'Saber, 2003) e com a perspectiva de comunidades como sujeitos ativos na gestão de ambientes em risco (Kasperson et al., 1995).

O trabalho apresentado tem como objetivo demonstrar o potencial do mapeamento biorregional como estratégia de mobilização e participação social na implementação do saneamento rural. Pretende-se, a partir da análise conceitual dessa ferramenta, evidenciar como ela pode atender às demandas previstas no Eixo VIII – Mobilização e Participação Social do II SANEA Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo tem caráter exploratório e se fundamenta na descrição e sistematização do mapeamento biorregional como ferramenta metodológica para mobilização e participação social. Embora ainda não tenha sido realizada uma aplicação direta no campo do saneamento rural, a análise está ancorada em experiências práticas desenvolvidas junto a comunidades tradicionais e em produções acadêmicas que consolidam essa abordagem (Ferraz, 2014; Barata, 2014). Essas experiências contemplaram diferentes demandas, como a elaboração de estudos de impacto socioambiental, apoio a processos de garantia de direitos tradicionais como o acesso a recursos hídricos e ordenamento territorial, o levantamento e registro de patrimônio histórico-cultural e o atendimento a exigências de participação social em projetos e políticas públicas. Tais aplicações reforçam a flexibilidade e a relevância do mapeamento biorregional como ferramenta participativa com potencial de adaptação para o saneamento rural.

Figura 1. Exemplo de Mapa Biorregional com temática das fontes de água, denominado "Água, a fonte da vida" construído pelas comunidades quilombolas do Vale do Iguape/Ba. Fonte: Elaboração própria, 2011.

Portanto, é compreendido como uma técnica cartográfica participativa que combina dimensões **técnicas** (escala, coordenadas, ícones e legendas), **políticas** (posicionamento e reivindicações comunitárias) e **culturais** (histórias, símbolos, desenhos e narrativas). Trata-se de um processo coletivo no qual os próprios moradores constroem o mapa do território em que vivem, unindo o saber popular às convenções cartográficas para dar visibilidade a práticas, conflitos e necessidades específicas. Quando as fontes de informações existentes são plotadas nesses mapas, normalmente tornam-se visíveis as lacunas na qualidade ou quantidade de informações que as comunidades podem utilizar para tomar decisões eficazes (Barata, 2014).

As etapas metodológicas seguem um fluxo de construção coletiva que pode ser descrito em oito fases principais:

1. **Definição do tema** – a comunidade, junto com a equipe técnica, escolhe coletivamente o foco a ser mapeado, que pode incluir acesso à água, saúde, infraestrutura, educação, práticas produtivas, entre outras.
2. **Delimitação territorial** – estabelece-se a poligonal do território a ser mapeado.
3. **Levantamento participativo** – são realizadas oficinas comunitárias, entrevistas,

coleta de histórias e registros fotográficos.

Figura 2. Registro da oficina de Mapeamento Biorregional realizada na comunidade do Camulengo/Ba. Fonte: Elaboração própria, 2019.

4. **Reconhecimento do território** – inclui caminhadas guiadas, visita a pontos estratégicos, registros fotográficos e coleta de informações.
5. **Construção coletiva do mapa** – os participantes desenham sobre bases impressas, elaborando ícones e símbolos representativos de sua realidade.

Figura 3. Registro da oficina de construção do mapa biorregional realizada na comunidade de Sítio Conceição/Pa. Fonte: Elaboração própria, 2021.

6. **Sistematização cartográfica** – o conteúdo produzido é organizado com os elementos técnicos básicos da cartografia, como escala, orientação, legenda e coordenadas.

Figura 4. Modelo de Mapa Biorregional finalizado, com destaque para seus elementos principais. Fonte: Elaboração própria, 2015.

7. **Validação social** – o mapa é revisado e discutido coletivamente, garantindo que o produto final represente de forma legítima as percepções e interesses da comunidade.
8. **Devolutiva** – após a digitalização e finalização, o mapa é entregue à comunidade como produto final do processo. Essa devolutiva assegura que o conhecimento produzido não permaneça apenas nos meios técnicos ou acadêmicos, mas retorne de forma física e aplicável para fortalecimento da autonomia comunitária (Ferraz, 2014; Barata, 2014).

Figura 3. Registro da devolutiva dos mapas biorregionais realizados na comunidade de Conde/Ba. Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do mapeamento biorregional demonstra grande potencial para fortalecer os processos de mobilização e participação social no saneamento rural, atendendo às demandas do **Eixo VIII** do II SANEA Brasil. Embora a metodologia ainda não tenha sido aplicada especificamente neste campo, experiências em comunidades tradicionais revelam sua eficácia para dar visibilidade a demandas locais e ampliar o controle social (Ferraz, 2014; Barata, 2014).

O diferencial do mapeamento biorregional está em permitir que pautas invisibilizadas pelos levantamentos técnicos tradicionais sejam incorporadas, como as histórias locais, as percepções de risco, os conflitos de uso do território e as rotas de acesso a serviços essenciais, abastecimento de água, pontos de risco ambiental, condições de infraestrutura comunitária e vulnerabilidades socioeconômicas. Dessa forma, gera produtos visuais acessíveis que facilitam o diálogo entre comunidades, técnicos e órgãos gestores, fortalecendo a mobilização e a corresponsabilidade na implementação de políticas públicas.

As **etapas iniciais**, como a definição do tema e a realização de oficinas participativas, asseguram a inclusão de diferentes atores sociais e a escuta ativa das prioridades comunitárias. Esse processo contribui para a democratização do planejamento, evitando que decisões sejam tomadas de forma centralizada ou distante da realidade local (Silva, 2019; Ferraz, 2014).

O **reconhecimento territorial** e a **construção coletiva dos mapas** tornam visíveis pontos críticos de abastecimento de água, rotas de acesso a serviços, áreas de risco ambiental e locais de mobilização comunitária. Dessa forma, o mapeamento atua como uma **tecnologia social**, traduzindo informações complexas em representações visuais de fácil compreensão, que podem ser utilizadas tanto pela comunidade quanto por gestores e técnicos (Barata, 2014).

A **sistematização cartográfica** permite que saberes locais sejam organizados em linguagem técnica, fortalecendo a capacidade de diálogo entre comunidade e poder público. Já as etapas de **validação social** e **devolutiva** ampliam a legitimidade do processo, garantindo que os produtos finais sejam reconhecidos como representações fiéis das

realidades locais. Além disso, a entrega do mapa à comunidade constitui um legado material, utilizado para reivindicações, planejamento territorial e educação popular. Esse aspecto reforça a confiança no processo e estimula o engajamento contínuo (Abers, 2000).

Por fim, ao integrar dimensões culturais e narrativas comunitárias, o mapeamento biorregional contribui para a **sensibilização e fortalecimento da identidade territorial**. O reconhecimento dos símbolos e histórias locais reforça o pertencimento e mobiliza a coletividade para ações conjuntas, criando bases sólidas para o exercício do controle social (Ab'Saber, 2003; Kasperson et al., 1995).

Assim, observa-se que cada etapa da metodologia responde a aspectos centrais do Eixo VIII: (i) oficinas participativas promovem representatividade; (ii) reconhecimento territorial evidencia demandas invisibilizadas; (iii) a sistematização traduz saberes locais em linguagem técnica; e (iv) a validação e devolutiva consolidam a corresponsabilidade. Essa articulação evidencia o mapeamento biorregional como estratégia capaz de potencializar diagnósticos participativos e subsidiar políticas de saneamento rural mais justas e eficazes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento biorregional se apresenta como estratégia metodológica promissora para a mobilização e participação social no saneamento rural. Mais do que um produto cartográfico, constitui um processo educativo, político e cultural que valoriza saberes locais, amplia a corresponsabilidade comunitária e fomenta o engajamento social.

A análise indica que a ferramenta pode atender de forma integrada às demandas do Eixo VIII, oferecendo oficinas inclusivas, produtos visuais de baixo custo, instrumentos para controle social e práticas de sensibilização que reforçam identidade territorial. Importante destacar que a **devolutiva do mapa** à comunidade transforma o processo em legado coletivo, útil para planejamento, monitoramento e reivindicação de direitos.

Recomenda-se a incorporação do mapeamento biorregional em programas de saneamento rural como estratégia complementar para ampliar legitimidade, transparência e eficácia das ações públicas. Estudos aplicados-piloto e avaliações de impacto social são indicados como próximos passos para validar e aperfeiçoar a metodologia em contextos sanitários específicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abers, Rebecca Neaera. 2000. *Inventing Local Democracy: Grassroots Politics in Brazil*. Boulder: Lynne Rienner Publishers.

Ab'Saber, Aziz Nacib. 2003. *Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial.

Barata, Júlia Abdias. 2014. *Mapeamento Biorregional por Comunidades Tradicionais: Proposta de Educação Popular como Ferramenta de Mudança Social*. Monografia (Graduação em Ciências Sociais) – Universidade Federal da Bahia.

Brasil. 2007. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Brasil. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Ferraz, Carla V. H. 2014. *Metodologia Participativa para Elaboração de Projeto de Obtenção da Cessão de Águas da União com Fins de Aquicultura por Comunidades Tradicionais*. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal da Bahia.

Funasa (Fundação Nacional de Saúde). 2019. *Manual de Saneamento Rural*. Brasília: Ministério da Saúde.

IBGE. 2010. *Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE.

Kasperson, Roger E., Jeanne X. Kasperson, Blake Turner, e William H. Schultze. 1995. *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. Tokyo: United Nations University Press.

Silva, Raimundo M. da. 2019. "Cartografia Social e Participação Comunitária." *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* 21 (2): 255–272. https://doi.org/10.22296/2317-1529.2019v21n2p255.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). 2022. *Diagnóstico do Setor de Saneamento – Água e Esgotos*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114252

PROJETO "RAÍZES E RECOMEÇOS", TRABALHO SOCIAL NO REASSENTAMENTO INVOLUNTÁRIO PARA CONSTRUÇÃO DE BARRAGEM.

Cléo Teixeira [1] e Bruce Pamponet[2]

[1]Assistente Social, Companhia de Engenharia e Hídrica e Saneamento da Bahia - CERB, Salvador, Bahia, Brasil, cleo.teixeira@cerb.ba.gov.br, nº de ORCID 0009-0004-5345-4265
[2] Engenheiro Agronômo, Companhia de Engenharia e Hídrica e Saneamento da Bahia - CERB, Salvador, Bahia, Brasil, bruce.pamponet@cerb.ba.gov.br, nº de ORCID 0009-0006-2064-0453;

Eixo Temático 08 – Mobilização e Participação Social
Metodologias pacrticipativas na implementação de soluções de saneamento

Eje Temático 08 – Movilización y Participación Social
Metodologías participativas en la implementación de soluciones de saneamiento

RESUMO

O Projeto Raízes e Recomeços foi concebido como estratégia humanizada de mobilização e participação para acompanhar o reassentamento involuntário de famílias impactadas pela construção da Barragem de Rio da Caixa, Rio do Pires, Bahia, Brasil. O objetivo do projeto foi documentar e valorizar memórias afetivas, culturais e sociais das famílias, fortalecendo vínculos territoriais e a participação social ao longo da mudança. O desenvolvimento ocorreu em quatro frentes articuladas: planejamento e mobilização com famílias e instituições; registro sistemático através de entrevistas com os expropriados, fotografias, vídeos de objetos e práticas significativas nas moradias a desocupar; acompanhamento da transição para as novas residências com mediação multidisciplinar para traduzir etapas da obra, direitos e responsabilidades; e devolutivas organizadas, com acervo por família e materiais acessíveis para memória e uso comunitário. A execução adotou procedimentos éticos e operacionais como consentimento livre e esclarecido para uso de imagem e relatos, linguagem clara na comunicação social, visitas domiciliares com escuta qualificada e produção de materiais devolutivos que respeitam a identidade cultural de cada núcleo familiar. Também foram realizadas rodas de conversa e atendimentos individuais para orientar sobre direitos, etapas do reassentamento, organização do cotidiano nas novas casas e acesso a serviços públicos. Os principais desafios foram conciliar o tempo institucional da obra com o tempo subjetivo do deslocamento das famílias, lidar com a ansiedade e as incertezas que demandaram acolhimento e encaminhamentos de apoio psicossocial, além de reconhecer dimensões simbólicas e espirituais do território como despedidas e referências a espaços religiosos, integrando essas manifestações a uma abordagem respeitosa e participativa. Como resultados, observaram-se redução de tensões durante a mudança, maior compreensão das etapas do reassentamento, fortalecimento da confiança entre comunidade e equipes técnicas, preservação de pertencimento e ganhos práticos nas novas moradias, com melhor acesso a serviços e condições de saúde. Houve ainda consolidação de canais de diálogo que facilitaram a solução de dúvidas e o monitoramento de demandas específicas de grupos prioritários como idosos, crianças e pessoas com deficiência. Como contribuição aplicada, a experiência gerou insumos metodológicos replicáveis para contextos de deslocamento involuntário, indicando que práticas de escuta, mediação em equipe multidisciplinar e valorização de memórias favorecem recomeços mais protegidos, informados e sustentáveis.

Palavras-chave: reassentamento; mobilização social; recomeço; protagonismo comunitário.

RESÚMEN

El Proyecto Raíces y Recomezos fue concebido como una estrategia humanizada de movilización y participación para acompañar el reasentamiento involuntario de familias afectadas por la construcción de la Represa de Rio da Caixa, en Rio do Pires, Bahía, Brasil. El objetivo del proyecto fue documentar y valorizar las memorias afectivas, culturales y sociales de las familias, fortaleciendo los vínculos territoriales y la participación social a lo largo del proceso de mudanza. El desarrollo se llevó a cabo en cuatro frentes articulados: planificación y movilización con familias e instituciones; registro sistemático a través de entrevistas con los expropiados, fotografías y videos de objetos y prácticas significativas en las viviendas a desocupar; acompañamiento de la transición hacia las nuevas residencias con mediación multidisciplinaria para traducir etapas de la obra, derechos y responsabilidades; y devoluciones organizadas, con acervo por familia y materiales accesibles para la memoria y el uso comunitario. La ejecución adoptó procedimientos éticos y operativos como el consentimiento libre e informado para el uso de imagen y relatos, lenguaje claro en la comunicación social, visitas domiciliarias con escucha cualificada y producción de materiales de devolución que respetan la identidad cultural de cada núcleo familiar. También se realizaron círculos de diálogo y atenciones individuales para orientar sobre derechos, etapas del reasentamiento, organización de la vida cotidiana en las nuevas casas y acceso a servicios públicos. Los principales desafíos fueron conciliar el tiempo institucional de la obra con el tiempo subjetivo del desplazamiento de las familias, gestionar la ansiedad y las incertidumbres que demandaron acogida y derivaciones de apoyo psicosocial, además de reconocer dimensiones simbólicas y espirituales del territorio, como despedidas y referencias a espacios religiosos, integrándolas en un enfoque respetuoso y participativo. Como resultados, se observaron reducción de tensiones durante la mudanza, mayor comprensión de las etapas del reasentamiento, fortalecimiento de la confianza entre la comunidad y los equipos técnicos, preservación del sentido de pertenencia y ganancias prácticas en las nuevas viviendas, con mejor acceso a servicios y condiciones de salud. Hubo además consolidación de canales de diálogo que facilitaron la resolución de dudas y el monitoreo de demandas específicas de grupos prioritarios como personas mayores, niños y personas con discapacidad. Como contribución aplicada, la experiencia generó insumos metodológicos replicables para contextos de desplazamiento involuntario, indicando que las prácticas de escucha, la mediación en equipo multidisciplinario y la valorización de las memorias favorecen nuevos comienzos más protegidos, informados y sostenibles.

Palabras clave: reasentamiento; movilización social; nuevo comienzo; protagonismo comunitario.

O

INTRODUÇÃO

O Projeto Raízes e Recomeços foi desenvolvido no município de Rio do Pires, Bahia, no contexto das intervenções da Barragem de Rio da Caixa, situada no semiárido baiano. Entre 2024 e 2025, a iniciativa acompanhou o reassentamento involuntário de 25 famílias impactadas pela obra de abastecimento de água, com o objetivo de documentar e valorizar memórias afetivas, culturais e sociais, fortalecer vínculos territoriais e ampliar a participação informada ao longo da transição para as novas moradias.

A proposta integrou registro fotográfico e audiovisual, entrevistas e visitas domiciliares com escuta qualificada, articuladas a ações de mediação junto às equipes técnicas para traduzir etapas da obra, direitos e responsabilidades em linguagem acessível. O projeto também organizou devolutivas por família (acervos e materiais de memória), de modo a reconhecer a trajetória de cada núcleo e apoiar sua adaptação no novo território.

A experiência é relevante para a área de Mobilização e Participação Social em saneamento por oferecer uma abordagem metodológica replicável em contextos de deslocamento involuntário vinculados a empreendimentos hídricos. Ao combinar comunicação social contínua, mediação e valorização de memórias, o projeto contribui para reduzir tensões, qualificar o diálogo comunidade-obra e promover recomeços mais protegidos, com ganhos práticos na organização da vida cotidiana e no acesso a serviços essenciais. Esses elementos sustentam a importância do trabalho para a sustentabilidade social de empreendimentos de abastecimento de água, indicando caminhos para uma gestão do reassentamento centrada em direitos, participação e respeito às histórias de vida.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Rio do Pires, Bahia, no semiárido baiano, no contexto das intervenções da Barragem de Rio da Caixa. Entre 2024 e 2025, acompanhou-se o reassentamento involuntário de 25 famílias diretamente impactadas, adotando-se uma abordagem metodológica voltada à documentação de memórias, à participação informada e à mediação com as equipes técnicas do empreendimento.

A estratégia metodológica estruturou-se em quatro fases interdependentes. (i) Planejamento e mobilização: reuniões com gestores e equipes técnicas, apresentação dos objetivos do projeto às famílias, definição de critérios de inclusão (famílias com processo de desapropriação em curso e mudança prevista no período do estudo), pactuação de calendário e procedimentos éticos. (ii) Registro das moradias expropriadas: visitas domiciliares com entrevistas semiestruturadas e escuta qualificada, registro fotográfico e audiovisual de espaços e objetos considerados significativos (cozinhas, quintais, árvores, marcos religiosos e de trabalho), com roteiros previamente testados e adaptações contextuais. (iii) Acompanhamento da transição e adaptação: monitoramento da mudança para as novas residências, interface sociotécnica para tradução de etapas da obra, direitos e responsabilidades em linguagem acessível, e orientação sobre organização do cotidiano e acesso a serviços públicos. (iv) Sistematização e devolutivas: organização do acervo por família (fotografias, vídeos, transcrições), elaboração de relatórios personalizados e materiais devolutivos acessíveis (álbuns/registro de memória), além da consolidação de

indicadores (famílias atendidas, demandas priorizadas, temas recorrentes, percepções de satisfação e tempo de adaptação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que o Projeto Raízes e Recomeços ultrapassou o caráter meramente documental ao articular registro de memórias com práticas de cuidado, mediação sociotécnica e participação informada das famílias reassentadas no município de Rio do Pires-BA, no contexto da Barragem de Rio da Caixa. Em coerência com os objetivos do estudo, a documentação fotográfica, audiovisual e narrativa funcionou como dispositivo de valorização de histórias de vida e de fortalecimento de vínculos territoriais, ao mesmo tempo em que qualificou o diálogo entre comunidade e equipes técnicas durante a transição para as novas moradias.

Evidências qualitativas apontam pertencimento e luto territorial como dimensões centrais do processo de deslocamento. Depoimentos sigilosos expressam a tensão entre a despedida do lugar e a perspectiva de recomeço: “Assinar aquele papel me apertou o peito […] Quando tudo estiver coberto pela água, essas imagens vão ser o que nos resta para lembrar” (Identificação sigilosa). Tais narrativas reforçam o papel do acervo devolutivo por família como recurso de memória e reconhecimento simbólico.

No período de adaptação, emergem ganhos práticos associados às novas residências, especialmente na proximidade a serviços e na organização do cotidiano, sem invisibilizar desafios materiais e afetivos: “Agora, na casa nova, consigo ir ao posto de saúde sem andar horas a pé. Isso faz diferença” (Identificação sigilosa). A leitura comparativa das falas e registros mostra que a mediação contínua com as equipes técnicas contribuiu para reduzir ansiedades e incertezas ligadas ao cronograma de obras, aos direitos e às responsabilidades de cada família.

Os dados também evidenciam sofrimento psíquico associado à incerteza e à espera, com relatos de ansiedade e sintomas somáticos que diminuíram após a garantia de posse e a estabilização do cotidiano no novo território. O acompanhamento próximo, com linguagem clara e disponibilidade para esclarecimentos, mostrou-se decisivo para mitigar esses efeitos e para fortalecer a confiança entre comunidade e instituições.

A dimensão sociocultural e espiritual do território aparece como vetor de coesão. Registros da missa e procissão de despedida — realizados com respeito e consentimento — ilustram como rituais coletivos operam na elaboração do luto, na reconstrução de pertencimentos e na continuidade de práticas comunitárias no novo espaço. Esses achados dialogam com o objetivo de valorizar memórias e indicam caminhos para políticas e rotinas de campo que integrem referências simbólicas locais ao planejamento do reassentamento.

No plano da participação social, rodas de conversa, atendimentos individuais e devolutivas estruturadas funcionaram como exercícios de controle social e ampliação de capacidades. Observou-se maior compreensão das etapas do reassentamento, melhora na circulação de informações e incremento de corresponsabilidade entre famílias e equipes, elementos que respondem aos objetivos de fortalecer vínculos e qualificar decisões informadas.

Em síntese, os resultados confirmam que a combinação entre documentação de memórias, mediação sociotécnica e acompanhamento ético favorece recomeços mais protegidos, informados e sustentáveis, alinhados ao eixo de Mobilização e Participação Social. O material produzido — acervos por família, registros audiovisuais e relatos sistematizados — constitui insumo aplicável à gestão social do pós-ocupação e oferece referenciais metodológicos replicáveis para outros contextos de reassentamento involuntário associados a empreendimentos saneamento.

Figura 1. Celebração de despedida organizada pela comunidade antes da desocupação da área diretamente afetada.
Fonte: CERB, 2025.

Figura 2. Translado simbólico da imagem religiosa como marco de continuidade de práticas de fé no novo território.
Fonte: CERB, 2025.

DISCUSSÃO

A experiência do Projeto *Raízes e Recomeços* permite refletir sobre os desafios e as potências da atuação profissional no contexto de grandes empreendimentos que impõem o deslocamento compulsório de famílias. A construção de barragens, embora traga promessas de benefícios coletivos como segurança hídrica e acesso ampliado à água, muitas vezes acarreta rupturas severas na vida dos sujeitos afetados. Nesse

sentido, o projeto se insere como uma tentativa concreta de **reverter a lógica tradicional do reassentamento meramente técnico e burocrático**, promovendo um acompanhamento pautado em **ética, escuta ativa e reconhecimento da subjetividade das famílias**.

Ao priorizar o registro das memórias e das experiências individuais e coletivas, o projeto evidencia que o deslocamento territorial **não é apenas físico, mas também simbólico, emocional e cultural**. A forma como as famílias relataram suas histórias e mostraram os espaços com os quais mantinham vínculos afetivos revela que suas moradias não se restringem à função habitacional — são lugares onde se construiu identidade, pertencimento, fé, trabalho e solidariedade. Essa percepção é reforçada nos relatos sobre árvores simbólicas, cômodos marcados por eventos importantes e, principalmente, pela mobilização da comunidade na procissão de despedida da igreja, organizada de forma espontânea, como um ato de resistência e homenagem à história do território.

Do ponto de vista profissional, o projeto reforça a importância da presença contínua da equipe social no campo, exercendo **papel mediador entre o poder público e os sujeitos impactados**, e não apenas como executores de tarefas. A atuação da equipe técnica foi fundamental para acolher as incertezas, medos e expectativas das famílias, como evidenciado nos relatos. Essas experiências indicam que o apoio emocional deve ser considerado parte integrante dos processos de reassentamento e não como algo acessório.

A discussão também aponta para a **dimensão pedagógica** do projeto. O material audiovisual produzido e os álbuns entregues às famílias não têm apenas valor simbólico, mas funcionam como instrumentos de sensibilização institucional, capazes de **formar outros profissionais e gestores** sobre a importância da humanização nos grandes projetos de infraestrutura. Ao sistematizar os dados obtidos de forma organizada e respeitosa, o projeto oferece insumos valiosos para **a formulação de políticas públicas mais participativas, sensíveis às realidades locais e orientadas por direitos**.

Entretanto, é necessário considerar os limites e tensões do contexto em que o projeto foi desenvolvido. A atuação em territórios marcados por desigualdades históricas e por forte relação com a terra exige constante negociação entre o tempo institucional e o tempo subjetivo das famílias. Embora o projeto tenha alcançado avanços significativos, o risco de institucionalizar o sofrimento como mero “dado técnico” ou reduzir a escuta à formalidade burocrática permanece latente. Por isso, é essencial que experiências como essa estejam ancoradas em uma **prática crítica, reflexiva e permanentemente comprometida com os princípios ético-políticos do Serviço Social**.

O *Raízes e Recomeços* apresenta-se, portanto, como uma prática potente de resistência à desumanização que muitas vezes marca os processos de reassentamento rural. Sua relevância está não apenas nos produtos gerados, mas na **forma como restitui dignidade às narrativas das famílias e inscreve suas histórias no processo de desenvolvimento regional**. Ao colocar a vida no centro do planejamento, o projeto mostra que é possível construir obras estruturantes sem apagar memórias — e que recomeçar, quando se tem raízes respeitadas, pode também ser um ato de florescimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução do Projeto *Raízes e Recomeços* proporcionou importantes lições que contribuem para o aprimoramento da atuação profissional no campo do reassentamento humano e do acompanhamento social em contextos de grandes empreendimentos. Uma das primeiras lições diz respeito à centralidade da escuta qualificada e do acolhimento das subjetividades. As histórias de vida compartilhadas pelas famílias deixaram evidente que o reassentamento vai muito além da realocação física: trata-se de um processo que toca aspectos profundos da identidade, das relações comunitárias e da espiritualidade dos sujeitos.

Outra lição fundamental foi o reconhecimento de que os processos de mudança, ainda que planejados e acompanhados tecnicamente, geram impactos emocionais que precisam ser legitimados e cuidados. A presença contínua da equipe social, nesse sentido, revelou-se essencial para mitigar os efeitos desse sofrimento, oferecendo suporte emocional e informações claras que ajudaram as famílias a se sentirem mais seguras e respeitadas.

Também se evidenciou que o tempo institucional nem sempre corresponde ao tempo subjetivo das famílias. A adaptação à nova moradia envolve uma ruptura com o passado e exige a reconstrução de rotinas, memórias e afetos. Respeitar esse tempo e acompanhar os diferentes ritmos de aceitação e mudança foi uma prática indispensável, que fortaleceu os vínculos entre equipe e comunidade, possibilitando intervenções mais efetivas.

Outro aprendizado importante refere-se à importância de preservar e respeitar os elementos culturais e espirituais do território, como ficou evidenciado na procissão realizada pela comunidade de Jatobá em homenagem à igreja que será submersa. A atuação sensível da equipe nesse momento reafirmou o compromisso do projeto com a valorização das manifestações de fé, revelando que o cuidado também se expressa no reconhecimento do sagrado como parte constitutiva da história dos sujeitos.

A principal lição apreendida com o Projeto *Raízes e Recomeços* foi a constatação de que é possível realizar ações técnicas de reassentamento com profundidade ética, sensibilidade social e compromisso político. Quando o poder público se propõe a ouvir, registrar e devolver às famílias a dignidade de suas narrativas, transforma o processo de recomeço em um gesto de reconhecimento e justiça. O projeto reafirma que o desenvolvimento territorial sustentável não pode ser dissociado do respeito às histórias, memórias e direitos das comunidades que habitam esses territórios.

A sistematização da experiência do Projeto *Raízes e Recomeços*, no contexto da Barragem, revela que os processos de reassentamento, quando conduzidos de forma humanizada e participativa, podem se transformar em práticas de cuidado, reparação e fortalecimento da dignidade das famílias impactadas. Mais do que documentar o deslocamento, o projeto possibilitou escutar, valorizar e preservar as memórias e os vínculos afetivos com o território, tornando visível o que muitas vezes é silenciado nos grandes empreendimentos: a subjetividade dos sujeitos que perdem suas casas, suas rotinas e seus laços comunitários.

As ações realizadas demonstraram que recomeços mais protegidos e sustentáveis decorrem da articulação entre informação técnica acessível, mediação qualificada, apoio psicossocial e protagonismo comunitário. Nesse sentido, o trabalho realizado, mostrou-se essencial para garantir que os direitos fossem respeitados, que o processo de mudança fosse compreendido pelas famílias e que as transições fossem acompanhadas com empatia e escuta ativa.

O Projeto também contribuiu para reafirmar a importância da atuação interdisciplinar e da integração entre os diferentes setores envolvidos na política de saneamento, ao utilizar metodologias participativas. A articulação entre as áreas de engenharia, comunicação, regularização fundiária e trabalho social junto aos moradores foi decisiva para que as ações de reassentamento involuntário tivessem qualidade técnica e sensibilidade humana.

Por fim, a experiência deixa um legado metodológico e político: é possível promover desenvolvimento com respeito à história, à identidade e aos direitos das comunidades. O Projeto *Raízes e Recomeços* demonstra que o reassentamento não precisa ser sinônimo de perda — pode ser também uma oportunidade de reconhecimento, reparação e construção de novos caminhos, desde que seja conduzido com ética, participação e cuidado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às equipes técnicas e administrativas envolvidas na concepção e execução do Projeto Raízes e Recomeços — em especial aos profissionais das áreas social, engenharia, comunicação e regularização fundiária — pelo compromisso ético, pela escuta qualificada e pela cooperação intersetorial que viabilizaram este trabalho.

Nossa gratidão especial às famílias expropriadas que, com coragem e generosidade, compartilharam suas memórias, abriram suas casas e confiaram em nossa equipe durante um período de transição sensível. Suas histórias, experiências e aprendizados são a razão de ser deste estudo e o fundamento de suas contribuições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banco Mundial. 2001. Operational Policy 4.12: Involuntary Resettlement. Washington, DC: World Bank.

Brasil. 2007. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, 8 de janeiro de 2007.

Brasil. 2023. Lei nº 14.755, de 15 de dezembro de 2023. Institui a Política Nacional de Direitos das Populações Atingidas por Barragens (PNAB). Brasília, DF. Disponível em: Presidência da República – Planalto.

Brasil. Ministério das Cidades. 2025. Portaria MCID nº 75, de 28 de janeiro de 2025. Dispõe sobre o Trabalho Social nos programas e ações do Ministério das Cidades. Diário Oficial da União, 5 de fevereiro de 2025.

ONU-Habitat. 2015. Guia para Reassentamentos Involuntários Sustentáveis. Nairóbi: ONU-Habitat.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114275

REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL DOS SISARS EM PERNAMBUCO: Estratégias de Regionalização para a Universalização do Saneamento Rural

Reestructuración Territorial de los SISAR en Pernambuco: Estrategias de Regionalización para la Universalización del Saneamiento Rural

Territorial Restructuring of SISARs in Pernambuco: Regionalization Strategies for the Universalization of Rural Sanitation

Bruna Marques Soares[1], Alexandre Carlos Araujo de Santana[2], William Ferreira da Silva[3] e Artur Paiva Coutinho[4].
[1]Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE, Brasil, bruna.bms@ufpe.br, 0009-0006-4401-7121;
[2]Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, Brasil, alexandre.sustentat@gmail.com, 0000-0002-6717-5396;
[3]MBA, Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife – PE, Brasil, olindaws@gmail.com, 0009-0006-7210-6295;
4Doutorado,Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE, Brasil, arthur.coutinho@yahoo.com.br, 0000-0002-0644-0037

Eixo Temático 08 – Modelos de governaça da área rual
Estruturas de governança multissetoriais para o saneamento rural

Thematic Axis 08 – Rural governance models
Multisectoral governance structures for rural sanitation

RESUMO

A pesquisa tem por objetivo explanar a expansão territorial do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) em Pernambuco, à luz do processo de reestruturação territorial conduzido pela Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento do Estado. A intenção do governo estadual é implantar o modelo SISAR em todos os municípios que possuem áreas rurais, conforme classificação do IBGE (2022), promovendo uma regionalização mais eficiente e equitativa dos serviços. A metodologia do estudo organizou a análise em dois eixos: (i) as regiões de desenvolvimento do estado, com atenção às especificidades culturais e fontes de abastecimento hídrico; e (ii) a divisão administrativa das gerências regionais da COMPESA, um dos principais responsável pela incubação dos SISARs. A análise documental incluiu normativas legais, planos regionais de saneamento, notas técnicas e mapas institucionais. Os resultados preliminares indicam que a proposta de reestruturação prevê a criação de até 10 SISARs regionalizados, respeitando critérios a divisão das microrregiões de água e esgoto, fontes de captação e escala de gestão. No entanto, identificou-se a expansão desordenada de alguns SISARs já implantados, sobreposição de áreas, vazios de cobertura, e necessidade de ajustes territoriais. A pesquisa reforça a importância do planejamento geoestratégico e da articulação interinstitucional para a consolidação do modelo SISAR como política pública.

Palavras-chave: Saneamento rural, SISAR, Regionalização, Planejamento territorial.

ABSTRACT

This study aims to analyze the territorial restructuring of the Integrated Rural Sanitation Systems (SISARs) in Pernambuco, highlighting the State Government's strategy to extend this management model to all municipalities with rural areas, as classified by IBGE (2022). The research emphasizes regionalization as a tool to enhance the efficiency and equity of rural sanitation services. The methodological approach was organized into two main axes: (i) the state's development regions, considering their cultural specificities and water supply sources; and (ii) the administrative division of the regional branches of the Pernambuco Sanitation Company (COMPESA), which plays a key role in incubating SISAR units. Documental analysis included legal frameworks, regional sanitation plans, technical notes, and institutional maps. Preliminary results indicate that the restructuring proposal envisions up to 12 regionalized SISARs, following criteria such as micro-regional divisions, water source availability (groundwater, main pipelines, PISF and Codevasf channels, and the São Francisco River), and management scale. However, challenges were identified, including unplanned expansion of existing SISARs, overlapping areas, service gaps in municipalities such as Tacaratu, Itacuruba, and Carnaubeira da Penha, and the need for territorial adjustments. This research contributes to the debate on rural sanitation regionalization and reinforces the importance of geostrategic planning and interinstitutional coordination as essential tools for consolidating the SISAR model as an effective public policy for the Brazilian semiarid region.

Keywords: Rural sanitation, SISAR, Regionalization, Territorial planning, Pernambuco

INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico em áreas rurais constitui um dos maiores desafios para a universalização dos serviços públicos no Brasil, sobretudo nas regiões do semiárido, onde predominam comunidades dispersas, baixa densidade populacional e infraestrutura precária. Entretanto, conforme Rubinger (2008), as políticas públicas de saneamento foram historicamente pensadas para contextos urbanos, desconsiderando as especificidades do campo. A ausência de gestão adequada nos sistemas implantados no meio rural comprometeu a continuidade do serviço, provocando a deteriorização dos sistemas, e abandono, provocando frustração social e perdas de recursos públicos e acabam sendo descontinuados o serviço, gerando frustrações nas comunidades e vultosas perdas de recursos públicos.

Embora o panorama rural brasileiro venha se modificando nas últimas décadas, com transformações culturais, demográficas e econômicas, o déficit de infraestrutura sanitária permanece. A dispersão territorial, o alto custo operacional e o baixo retorno financeiro tornam o meio rural pouco atrativo para as concessionárias estaduais, resultando em soluções improvisadas e insustentáveis, como o abastecimento por caminhões-pipa (Castro *et al*., 2019;

Rodrigues, 2022). Isso agrava os problemas de saúde pública, impacta a qualidade de vida da população e contribui para a manutenção de desigualdades territoriais.

Para tanto, é imprescindível que o Estado fomente alternativas que possibilitem à população rural a permanência em seu território de origem, assegurando-lhe o acesso equitativo aos mesmos serviços disponibilizados nas áreas urbanas. Essa desigualdade é corroborada por estudo do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab, 2021), que, ao analisar o cenário nacional de investimentos em saneamento básico, constatou que, em 2019, 66% das ações foram direcionadas ao meio urbano, enquanto apenas 34% contemplaram a zona rural. No referido período, o montante de investimentos no setor totalizou aproximadamente R$ 15,70 bilhões, distribuídos entre três eixos principais: gestão, esgotamento sanitário e abastecimento de água (Plansab, 2021; Rodrigues, 2022).

Com o cenário, faz-se necessário, então, a implementação de políticas públicas para que o saneamento no meio rural se torne realidade. Tais projetos buscam em sua maioria o incentivo de modelo de gestão compartilhada, ou seja o Estado, juntamente com as próprias comunidades rurais sejam capazes de fornecer a sustentabilidade do serviço através da cobrança do fornecimento da água. O modelo, criado no Ceará em 1996, foi desenvolvido a partir da articulação entre o governo estadual, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), o Banco KfW e organizações comunitárias (Rocha, 2013). A proposta consiste na organização de associações comunitárias em federações regionais, com estrutura legal própria e suporte técnico e logístico do Estado.

A gestão do SISAR é baseada em uma estrutura jurídica sem fins lucrativos, que permite às comunidades filiadas operar seus próprios sistemas de abastecimento com apoio técnico centralizado. O Estado, por sua vez, atua como executor das obras e provedor de insumos de alta complexidade, assegurando a sustentabilidade institucional e operacional dos sistemas. Esse arranjo garante a manutenção contínua dos serviços e a responsabilização direta das comunidades atendidas.

Inspirado nesse modelo, o Governo de Pernambuco, por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento (SRHS), antiga SEINFRA, da Secretaria de Desenvolvimento Agrário (SDA) e da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), deu início, em 2021 a implantação do modelo de gestão compartilhada a partir da implantação do SISAR do Sertão do Moxotó. A expansão continuou com a criação do SISAR Alto Pajeú, ainda em 2021, seguido

pelos SISARs São Francisco (junho de 2023), Sertão Central e Araripe (janeiro de 2024) e, mais recentemente, o SISAR Agreste Central, fundado em agosto de 2025. Com isso, a área de cobertura dos SISARs passou a corresponder a aproximadamente 70% do território de Pernambuco. O esforço interinstitucional entre COMPESA, SRHS e SDA tem sido decisivo para viabilizar essa expansão e consolidar o modelo como política pública de escala(Lafayette, 2021).

Inicialmente, o planejamento estadual previa a criação de doze blocos territoriais para implantação dos SISARs: São Francisco, Sertão Central e Araripe, Pajeú, Alto Pajeú, Moxotó, Agreste Meridional, Agreste Setentrional, Agreste Central, Russas, Mata Norte e Mata Sul. No entanto, a repercussão e a adesão voluntária de diversas comunidades aceleraram a expansão do modelo, o que resultou na incorporação de municípios não previstos originalmente. Algumas associações passaram a ser atendidas por SISARs vizinhos antes mesmo da formalização dos SISARs referente a sua área, ocasionando sobreposições de área, expansão territorial desordenada e zonas de exclusão.

Esse processo gerou desequilíbrios na gestão, dificultando o controle técnico e administrativo das unidades. Com a expansão desordenada dos SISARs Moxotó e Sertão Central e Araripe, suas áreas de abrangência superaram os limites originalmente definidos, como demonstrado na Figura 2. Para enfrentar essa situação, foi elaborada a Nota Técnica SRHS/SESAN/GGSISAR nº 001/2024, propondo uma nova divisão territorial, com base em critérios geográficos, hídricos, técnicos e políticos-administrativos, visando à otimização da atuação de cada região.

Este trabalho tem como objetivo analisar a experiência de reestruturação territorial dos SISARs no estado de Pernambuco, no período de 2021 a 2025. O foco é compreender os critérios utilizados na redefinição dos unidades regionais de cada SISAR, avaliar os impactos da expansão desordenada e discutir as potencialidades e limites do modelo SISAR como estratégia de gestão consorciada e regionalizada para o saneamento rural. A importância desta experiência reside no fato de representar uma política pública de escala, voltada à inclusão de comunidades historicamente excluídas, fortalecendo o planejamento territorial como instrumento essencial para garantir o direito humano ao saneamento básico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza descritiva e abordagem qualitativa, com suporte em dados secundários e cartografia institucional. O objeto analisado foi a experiência de implantação e reestruturação territorial dos Sistemas Integrados de Saneamento Rural (SISARs) no estado de Pernambuco. O foco da investigação centrou-se na avaliação dos critérios técnicos, institucionais, geográficos e políticos-administrativos adotados para reorganizar a divisão territorial de cada unidade regional do modelo.

A coleta de dados foi realizada por meio de análise documental de fontes institucionais, envolvendo os seguintes documentos e plataformas: (i) estatutos sociais dos SISARs constituídos entre 2021 e 2025; (ii) notas técnicas emitidas pela Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento (SRHS); (iii) Planos Microrregionais de Água e Esgoto do Sertão (MRAE-I) e da Região Metropolitana e Sertão do Pajeú (MRAE-II); (iv) o Marco de Gestão Ambiental e Social (MGAS) do Projeto de Saneamento Rural de Pernambuco (PROSAR/PE); (v) dados demográficos e territoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022); (vi) os Cadernos Regionais do Governo do Estado de Pernambuco; e (vii) informações administrativas e geográficas da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e da própria SRHS.

A sobreposição cartográfica foi realizada utilizando o software QGIS 3.10, a partir da divisão oficial dos municípios por Regiões de Desenvolvimento (RDs). Em seguida, foram integrados os mapas disponibilizados na Plataforma de Saneamento Rural (2025) e os dados presentes no GISCOMP (2025), plataforma institucional que apresenta a divisão das Gerências de Negócio da COMPESA.

Para compreender a evolução da implantação territorial dos SISARs, foram levantadas as datas de fundação das unidades: Moxotó, Alto Pajeú, São Francisco, Sertão Central e Araripe, e Agreste Central, conforme registrado nos respectivos estatutos sociais. A partir disso, procedeu-se à comparação entre os mapas de planejamento inicial dos 12 SISARs (Figura 1) e a situação atual do projetado (Figura 2), disponibilizada pela SRHS.

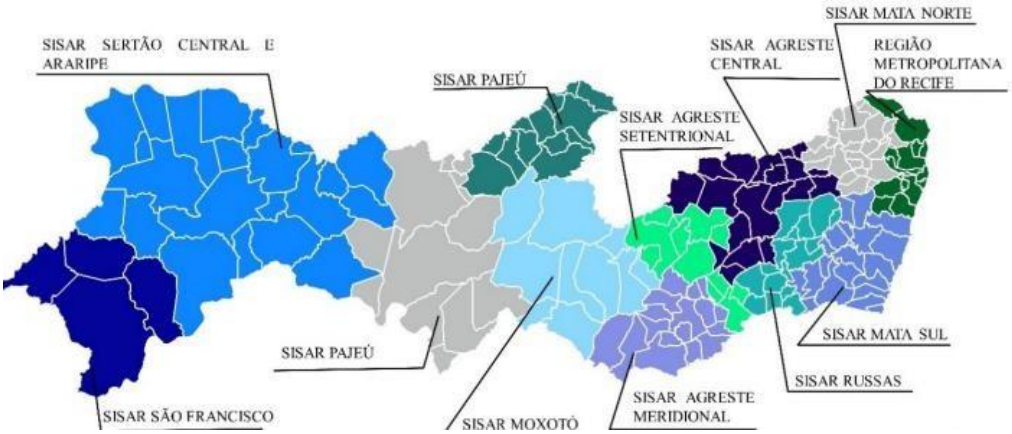


Figura 1. Planejamento inicial para Implantação dos 12 SISARs
Fonte: Rodrigues,2022

Figura 2. Situação 2024 projetada para implantação dos SISARs
Fonte:SRHS,2024

A análise metodológica seguiu cinco etapas interdependentes. Na primeira, foi realizada a caracterização das Regiões de Desenvolvimento de Pernambuco, considerando suas tipologias culturais, disponibilidade hídrica e delimitações político-administrativas. Na segunda etapa, analisou-se a divisão das Gerências de Negócio da COMPESA, visto que, nos primeiros anos de operação, os SISARs funcionam fisicamente integrados às estruturas dessas gerências, favorecendo a transferência de conhecimento técnico-operacional. Na terceira etapa, avaliou-se a compatibilidade entre os SISARs e as Microrregiões de Água e Esgoto (MRAEs), buscando verificar que cada unidade respeitam a predominância microrregional em sua

composição.

A quarta etapa consistiu na análise da viabilidade técnica de abastecimento, com foco na tentativa de padronizar o melhor possível as diferentes tipologias de fontes de captação hídrica, dentro de um mesmo SISAR: poços cadastros no SIAGAS, canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), adutoras estaduais e o próprio Rio São Francisco. Por fim, a quinta etapa compreendeu a verificação da delimitação formal dos territórios de atuação de cada SISAR, conforme disposto em seus estatutos sociais.

Essa abordagem metodológica permitiu identificar sobreposições de áreas, vazios de cobertura, critérios utilizados para a inclusão ou realocação de municípios entre a sede do SISAR e as comunidades que possuam sistemas de abastecimento de água e desafios logísticos para a operação. O uso de representações gráficas fornecidas pela SRHS possibilitou comparar, de forma visual, a configuração originalmente planejada com a situação consolidada, subsidiando a análise crítica dos impactos da regionalização sobre a gestão do saneamento rural em Pernambuco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A expansão dos Sistemas Integrados de Saneamento Rural (SISARs) em Pernambuco representou um avanço significativo na política pública de saneamento básico voltada ao meio rural. Entretanto, a implantação progressiva e descentralizada gerou distorções na lógica territorial originalmente proposta. A análise dos estatutos sociais, documentos técnicos e mapas comparativos revela que dois (Sertão Cetral/Araripe e Moxotó) dos cincos SISARs, ultrapassaram os limites inicialmente planejados, resultando em sobreposição de áreas, vazios de cobertura e desafios operacionais relevantes.

O planejamento inicial previa a formação de 12 SISARs organizados conforme as Gerências Regionais da COMPESA (Figura 1). Contudo, à medida que os SISARs foram sendo implantados, o modelo de expansão adotado favoreceu o acolhimento de municípios não previstos inicialmente, como forma de atender rapidamente demandas locais urgentes. Com isso, o SISAR Moxotó e o SISAR Sertão Central e Araripe passaram a abranger municípios pertencentes a outras RDs ou microrregiões de saneamento distintas, como evidenciado na Figura 2.

Esse processo de expansão espontânea gerou repercussões significativas. Municípios

como Tacaratu, Itacuruba, Betânia, Carnaubeira da Penha, Serra Talhada, Betânia, Santa Cruz da Baixa Verde, Triundo e Calumbi ficaram temporariamente sem vínculo com qualquer SISAR formal, enquanto outras localidades foram incorporados nos SISARs em operação. A falta de delimitação oficial e a carência de critérios técnicos uniformes dificultaram o controle administrativo, a definição de fluxos operacionais e a sustentabilidade do modelo.

O cruzamento cartográfico das áreas de atuação real com os dados das Microrregiões de Água e Esgoto (MRAEs) demonstrou que o SISAR Sertão Central e Araripe possui sua área de abrangência operando das duas MRAEs (municípios de Mirandiba e Belém do São Francisco, estão em MRAEs distintas dos demais) o que compromete o alinhamento institucional e técnico com os planos regionais de saneamento. Tal estruturação também interfere na eficiência logística da operação dos sistemas, dificultando o atendimento técnico e a manutenção preventiva, especialmente nas localidades mais distantes, pois alguns municipios possuem mais de 200 km de distância da sede do SISAR.

Com o SISAR Moxotó, sua expansão orgânica, resultou três municipios “ilhados” Tacaratu, Itacuruba e Carnaubeira da Penha, deixando sem previsão de assistência conforme os estatutos atuais, o que é uma situação inadequada, visto que os municipios podem ter a percepção que a politica publica não irá benecifia-lós e no caso de englobarem aos SISARs Moxotó ou Sertão Central e Araripe, a dificuldade de operação devido a grandes distância da sede.

Em resposta a esse cenário, foi criado uma proposta de reestruturação territorial baseada nos seguintes critérios:

a) Adequar as áreas de abrangência do sisar para que sejam compatíveis/dialoguem com uma gerência regional da compesa, quando não for possível manter exatamente esse critério, ajustar para que as áreas do sisar para que estes se relacionem com o menor número possível de gerentes da compesa;

b) Na delimitação das regiões, consideraram-se as principais formas de captação de água, abrangendo o potencial do subsolo, os canais do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), os canais da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) e o próprio Rio São Francisco. Ademais, foram analisadas as áreas de influência das principais adutoras. Desse modo, sempre que possível, buscou-se padronizar as tipologias de captação entre diferentes SISAR,

de forma a assegurar maior coerência técnico-operacional entre as regiões;

c) Restringir o tamanho da área geográfica do sisar de forma a garantir uma gestão eficiente dos sistemas, considerando a logística operacional; e

d) Respeitar a divisão das microrregiões de saneamento rural — como a Microrregião RMR–Pajeú e a Microrregião do Sertão —, de modo a evitar que um mesmo Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) incorpore municípios pertencentes a microrregiões distintas.

Outro resultado importante diz respeito à presença física dos SISARs em estruturas da COMPESA. Essa estratégia, adotada nas fases iniciais de implantação, é primordial para a capacitação das equipes locais e a transferência de *know-how* técnico, contudo, para sustentar o modelo no médio e longo prazo, será necessário transição para sedes próprias e independência operacional de cada SISAR regional, conforme a Figura 03.

Figura 3. Reestruturação dos SISARs
Fonte:SRHS,2024

Sendo assim a reestruturação fica da seguinte configuração, considerando as seguintes primissas:

a) Em relação ao Sisar Sertão Central e Araripe, é recomendada a futura subdivisão em dois Sisars distintos (SISAR Sertão Central e SISAR Araripe). Para viabilizar essa reorganização, é importante a elaboração de um plano de negócios e

sustentabilidade, considerando que a densidade populacional dessa região é significativamente menor em comparação com as demais áreas do estado de Pernambuco e o número de ligações é um importante indicador para mensurar a sustentabilidade de um SISAR;

b) Sisar Sertão Central e Araripe: transferirá os municípios de Santa Maria da Boa Vista e Orocó para o Sisar Sertão do São Francisco. Além de futuramente tranferir os municípios de Belém de São Francisco e Mirandiba, para o SISAR Pajeú/Itaparica, respeitando as divisões das Microregiões de Saneamneto.

c) Sisar Agreste Central: passará a incluir os municípios de Pesqueira e Alagoinha, atualmente na área de abrangência do Sisar Moxotó;

d) Sisar Moxotó: cederá os municípios de Floresta, Petrolândia e Jatobá ao futuro Sisar Pajeú/Itaparica, a ser implementado apenas quando este novo SISAR, estiver operacional.

A análise crítica dos dados indica que, apesar dos avanços conquistados, o modelo SISAR em Pernambuco ainda enfrenta desafios relacionados à articulação institucional, à consolidação jurídica das unidades e à padronização dos procedimentos de gestão. Ao mesmo tempo, a experiência se mostra exitosa na ampliação do acesso ao saneamento em comunidades rurais antes desassistidas, contribuindo para a redução das desigualdades territoriais e o fortalecimento do planejamento estadual.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da experiência de regionalização do saneamento rural por meio dos Sistemas Integrados de Saneamento Rural (SISARs) no estado de Pernambuco evidencia um importante avanço na busca pela universalização dos serviços básicos em áreas historicamente negligenciadas. A adoção do modelo SISAR, inspirado na experiência do estado do Ceará, consolidou-se como uma alternativa viável para promover a gestão compartilhada, a autonomia comunitária e a sustentabilidade operacional dos sistemas no meio rural.

No entanto, o processo de expansão territorial dos SISARs no estado revelou fragilidades significativas no planejamento inicial. A ausência de critérios técnicos uniformes para a delimitação das áreas de abrangência e a atuação descentralizada resultaram em sobreposição de territórios, lacunas de cobertura e desafios logísticos para a operação dos sistemas, especialmente em localidades de difícil acesso.

A reestruturação surge como uma resposta estratégica a esses desafios. Ao adotar critérios como proximidade geográfica, infraestrutura hídrica e alinhamento com as Microrregiões de Água e Esgoto (MRAEs), o estado de Pernambuco dá um passo importante rumo à consolidação de um modelo territorialmente equilibrado e funcional para o saneamento rural.

Conclui-se, portanto, que a experiência pernambucana com os SISARs reafirma a importância do planejamento territorial como instrumento técnico e político na efetivação do direito humano ao saneamento. Ao mesmo tempo, evidencia a necessidade de constante revisão e aperfeiçoamento das estratégias de regionalização, com base em dados atualizados, escuta ativa das comunidades e integração entre os federativos. A continuidade da expansão dos SISARs deve ser acompanhada de investimentos em governança local, capacitação técnica e monitoramento permanente, garantindo não apenas o acesso aos serviços, mas também sua qualidade, permanência e legitimidade social.

Como proposta de aperfeiçoamento do processo contínuo de revisão das regiões de atuação dos Sistemas Integrados de Saneamento Rural (SISAR), recomenda-se que a Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento (SRHS) incorpore, em suas próximas análises, os seguintes critérios: i) definição de um raio máximo, em quilômetros, para a distância entre a sede e as comunidades atendidas; ii) estabelecimento de uma quantidade mínima de população e de domicílios rurais necessária à atuação do SISAR, de modo a garantir sua viabilidade técnico-operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro, L. A.; Taleires, F. C. S. S.; Silveira, S. S. 2019. “Índice de desenvolvimento humano em municípios que possuem sistema integrado de saneamento rural: uma análise comparativa. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. https://doi.org/10.1590/1413-81232020261.24452018.

Lafayette, Fernandha Batista.2021. “Proposta e avaliação de moledo de gestão de Sistema de abastecimento de água no meio rural no estado de Pernambuco”. https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/45631/1/TESE%20Fernandha%20Batista%20Lafayette.pdf.

Monteiro, Gabriela Torre Gonçalves, Silva, Simone Rosa, et al. 2022. “Impactos na saúde pública pós-implantação de Sistema Integrado de Saneamento Rural: Resultados no SISAR Moxotí em Pernambuco.” Revista Hygeia. DOI: https://doi.org/10.14393/Hygeia2070873.

Plano o Microrregional de Água e Esgoto do Sertão. 2025. https://srhs.pe.gov.br/images/MRAE-I-consulta-publica/PRSB-SERTAO.pdf

Plano o Microrregional de Água e Esgoto da RMR – Pajeú. 2025.

https://srhs.pe.gov.br/images/MRAE-II-consulta-publica/PLANO_REGIONAL_DE_SANEAMENTO-RMR-PAJEU.pdf.

Plansab. 2021. "Plano Nacional de Saneamento Básico" https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/relatriodeavaliaoanualdoplansab2021.pdf.

Rocha, W. S. 2013. "Estudo de caso do sistema integrado de saneamento rural (SISAR) no Brasil". https://doi.org/10.18235/0010702

Rodrigues, Elyfas Allyjackson Morais. 2022."Avaliação de impacto e de sustentabilidade financeira para política públoca de saneamento rural no estado de Pernambuco".https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/45460/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Elyfas%20Allyjackson%20Morais%20Rodrigues.pdf.

SRHS.2023 "Marco de Gestão Ambiental e Social (MGAS)". https://www.apac.pe.gov.br/images/PROSAR_PE_-_Marco_de_Gest%C3%A3o_Ambiental_e_Social.pdf.

SRHS.2024. Nota Técnica: NT SRHS/SESAN/GGPS – 001/2024. "Reestruturação territorial dos SISARs no estado de Pernambuco. 2024.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114298

SABERES TRADICIONAIS COMO PROMOTORES DA SEGURANÇA HÍDRICA EM REGIÕES DE SEMIÁRIDO

CONOCIMIENTO TRADICIONAL PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA

TRADITIONAL KNOWLEDGE FOR ENSURING WATER SECURITY IN THE SEMI-ARID REGION

Hugo Larchert de Oliveira[1], Jeanes Martins Larchert[2], Thamiris Santos de Santana[3], Francisco Ramon Alves do Nascimento[4].

[1]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, , hugolarchert@ufba.com, nº 0009-0000-9224-0666;
[2]Doutora em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, Brasil, Jeanes@uesc.br.com, nº0000-0002-2232-9646;
[3]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, thamirisss@ufba.br, nº 0009-0007-0418-0511;
[4]Doutor em Engenharia Industrial, UFBA, Salvador, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 08 – mobilização e participação social -Tecnologias sociais para difusão do conhecimento sobre saneamento.

Eje Temático 08 – movilización y participación social tecnologías sociales para la difusión del conocimiento sobre saneamiento.

RESUMO

O desequilíbrio ambiental é um fenômeno político econômico irrefutável que tem intensificado as mudanças climáticas, agravando a vulnerabilidade de comunidades em regiões de semiárido. No entanto, destaca-se comunidades tradicionais que resistem há séculos em ambientes de estresse hídrico, para este cenário é pressuposto que os saberes tradicionais (ST) devem promover a segurança hídrica. Este trabalho, por meio de uma revisão bibliográfica, almeja abordar a integração dos ST com os desafios hídricos enfrentados em regiões de semiárido. O objetivo é analisar práticas e tecnologias de promoção da segurança hídrica desenvolvidas ou adaptadas, a partir de saberes tradicionais em regiões de semiárido, em contraposição ao paradigma do "combate à seca". analisou-se conteúdos científicos que destacam práticas localizadas em regiões semiáridas do Brasil e outros países, como Omã, Índia, Quênia e África do Sul. Os dados permitem compreender que, as comunidades tradicionais compartilham estratégias convergentes para enfrentar os desafios do semiárido, especialmente a escassez hídrica. A diversidade desses saberes tradicionais revela a capacidade das comunidades de se adaptar a condições ambientais adversas, especialmente no semiárido. Esses saberes são transmitidos por gerações e englobam práticas de previsão do clima, armazenamento de água e manejo do solo e da flora, permitindo às populações desenvolver soluções locais para desafios hídricos. Cada saber tradicional atua como um mecanismo de mitigação, permitindo que as comunidades desenvolvam soluções próprias, adaptadas e implementadas, que garantem a segurança hídrica, alimentar e ambiental, fortalecendo ainda sua autonomia e preservando a cosmovisão ancestral. A integração entre saberes tradicionais e

tecnologias modernas demonstra como as comunidades conseguem ampliar sua autonomia e resiliência sem perder sua identidade . Conclui-se que ao reconhecer e valorizar esses saberes, é possível construir estratégias de gestão de recursos hídricos que sejam socialmente justas, ambientalmente corretas, reforçando a importância dos saberes tradicionais como um caminho para a convivência com o semiárido, sendo uma alternativa viável na promoção da segurança hídrica.

Palavras-chave: Saberes tradicionais, Comunidades tradicionais, Semiárido, Segurança hídrica.

RESÚMEN

El desequilibrio ambiental es un fenómeno político y económico irrefutable que ha intensificado el cambio climático, agravando la vulnerabilidad de las comunidades en regiones semiáridas. Sin embargo, se destacan las comunidades tradicionales que han resistido durante siglos en ambientes con estrés hídrico; en este escenario, se presupone que los saberes tradicionales (ST) deben promover la seguridad hídrica. Este trabajo, por medio de una revisión bibliográfica, tiene como objetivo abordar la integración de los ST con los desafíos hídricos enfrentados en regiones semiáridas. El objetivo es analizar prácticas y tecnologías de promoción de la seguridad hídrica desarrolladas o adaptadas a partir de saberes tradicionales en regiones semiáridas, en contraposición al paradigma del "combate a la sequía". Se analizaron contenidos científicos que destacan prácticas localizadas en regiones semiáridas de Brasil y otros países, como Omán, India, Kenia y Sudáfrica. Los datos permiten comprender que las comunidades tradicionales comparten estrategias convergentes para enfrentar los desafíos del semiárido, especialmente la escasez hídrica. La diversidad de estos saberes tradicionales revela la capacidad de las comunidades para adaptarse a condiciones ambientales adversas, especialmente en el semiárido. Estos saberes se transmiten por generaciones e incluyen prácticas de predicción climática, almacenamiento de agua y manejo del suelo y la flora, permitiendo a las poblaciones desarrollar soluciones locales para los desafíos hídricos. Cada saber tradicional actúa como un mecanismo de mitigación, permitiendo que las comunidades desarrollen soluciones propias, adaptadas e implementadas, que garantizan la seguridad hídrica, alimentaria y ambiental, fortaleciendo además su autonomía y preservando su cosmovisión ancestral. La integración entre saberes tradicionales y tecnologías modernas demuestra cómo las comunidades pueden ampliar su autonomía y resiliencia sin perder su identidad. Se concluye que al reconocer y valorar estos saberes, es posible construir estrategias de gestión de recursos hídricos que sean socialmente justas y ambientalmente correctas, reforzando la importancia de los saberes tradicionales como un camino para la convivencia con el semiárido, siendo una alternativa viable en la promoción de la seguridad hídrica.

Palabras clave: Saberes tradicionales, Comunidades tradicionales, Semiárido, Seguridad. hídrica

ABSTRACT

Environmental imbalance is an irrefutable political and economic phenomenon that has intensified climate change, aggravating the vulnerability of communities in semi-arid regions. However, traditional communities that have resisted for centuries in water-stressed

environments stand out; in this scenario, it is assumed that traditional knowledge (TK) should promote water security. This work, through a literature review, aims to address the integration of TK with the water challenges faced in semi-arid regions. The objective is to analyze practices and technologies for promoting water security developed or adapted from traditional knowledge in semi-arid regions, in contrast to the "combating drought" paradigm. Scientific content highlighting practices located in semi-arid regions of Brazil and other countries, such as Oman, India, Kenya, and South Africa, was analyzed. The data allow us to understand that traditional communities share convergent strategies to face the challenges of the semi-arid, especially water scarcity. The diversity of this traditional knowledge reveals the capacity of communities to adapt to adverse environmental conditions, especially in the semi-arid. This knowledge is transmitted through generations and encompasses practices of climate prediction, water storage, and soil and flora management, enabling populations to develop local solutions to water challenges. Each traditional knowledge acts as a mitigation mechanism, allowing communities to develop their own adapted and implemented solutions that guarantee water, food, and environmental security, while also strengthening their autonomy and preserving their ancestral worldview. The integration between traditional knowledge and modern technologies demonstrates how communities can expand their autonomy and resilience without losing their identity. It is concluded that by recognizing and valuing this knowledge, it is possible to build water resource management strategies that are socially just and environmentally correct, reinforcing the importance of traditional knowledge as a path for coexistence with the semi-arid, being a viable alternative in the promotion of water security.

Keywords: Traditional knowledge, Traditional communities, Semi-arid region, Water security.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as mudanças climáticas têm se agravado e provocado sinais cada vez mais evidentes de desequilíbrio ambiental. Eventos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor, enchentes intensas e alterações no regime de chuvas vêm afetando diretamente a vida das populações, sobretudo, as comunidades tradicionais. Esses fenômenos interferem na disponibilidade hídrica e evidenciam não apenas a fragilidade dos sistemas ambientais, mas também a desigualdade social no acesso a recursos básicos (Mélo, 2022).

Neste contexto, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a segurança hídrica é alcançada quando existe disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades humanas, econômicas e ambientais, garantindo também proteção contra riscos de secas e enchentes. No mundo, cerca de 2,2 bilhões de pessoas não têm acesso seguro à água potável, e estima-se que até 2050 mais de 50% da população global viverá em áreas com estresse hídrico (ONU, 2019).

Em regiões semiáridas, que representam 40% da superfície terrestre e abrigam mais de 2 bilhões de pessoas, a irregularidade das chuvas, a evaporação intensa e a fragilidade dos solos tornam a garantia da segurança hídrica ainda mais desafiadora (Oliveira, 2017). Vale ressaltar que estas condições ambientais são condições naturais de uma região semiárida. Neste contexto, a abordagem de convivência com o semiárido é melhor aplicada que a abordagem de combate à seca, pois reconhece as condições naturais da região, com adoção de práticas já adaptadas ao contexto local, valorização dos recursos locais e promoção da dignidade da população.

Os povos originários e tradicionais de regiões de semiárido resistem a séculos em ambientes instáveis com escassez de recursos, apresentando caminhos de adaptação e convivência com esses ecossistemas (Ratemo *et al*., 2020). As práticas adotadas demonstram que o verdadeiro progresso pode (e deve) estar em sintonia com o meio natural. Segundo o ambientalista indígena Ailton Krenak, "o futuro é ancestral e a humanidade precisa aprender com ele a pisar suavemente na terra" (Krenak, 2022). O mesmo pesquisador enfatizou que o futuro só pode existir com sustentabilidade e, para isso, faz-se necessário aprender com o conhecimento ancestral dos povos, que há séculos cuidam da harmonia entre a atividade antrópica e a natureza (Andrade e Almeida, 2022).

A valorização dessas culturas e dos saberes tradicionais (ST) é fundamental, não apenas para combater a visão colonial e a violência contra esses povos, mas também para reconhecer as formas sustentáveis de viver, produzir e de garantir acesso à segurança hídrica. Esta pesquisa abrange regiões consideradas semiárido, caracterizado em razão da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração potencial, que resulta no índice de aridez estabelecido pela UNESCO. De acordo com os critérios estabelecidos por Thornthwaite e Penman (Instituto Nacional do Semiárido - INSA, 2014), o índice de aridez varia entre 0,21 e 0,5 determina se a região é caracterizada como semiárido. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar práticas de promoção da segurança hídrica desenvolvidas ou adaptadas a partir de saberes tradicionais de regiões de semiárido.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma pesquisa bibliográfica de caráter qualitativo conforme (Gil, 2008). Para a análise de práticas de promoção da segurança hídrica, a metodologia desta pesquisa foi constituída por quatro etapas, que são: I - revisão bibliográfica; II - Coleta de dados; III - Análise de dados; e IV - Apresentação de resultados.

A revisão bibliográfica foi realizada a partir da seleção de publicações disponíveis em bases de dados, como Scielo, Google Scholar e Periódicos CAPES. Para isso, foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: "Segurança hídrica", "semiárido", "comunidades", "saber tradicional", "water security", "Traditional communities", "traditional knowledge". Com base na leitura de título, resumo e palavras-chaves, os critérios de inclusão considerados foram pertinência ao tema, trabalhos que abordassem saberes tradicionais para promoção de segurança hídrica no semiárido, e produções publicadas entre 2014 e 2025. Os critérios de exclusão considerados foram artigos que não estivessem em português e/ou inglês, não fossem referentes à regiões de semiárido, que não especificassem o saber tradicional relacionado à segurança hídrica e não indicassem a comunidade tradicional estudada.

Para a organização das informações das produções acadêmico científicas selecionadas foi realizado um fichamento. Os dados coletados foram organizados a partir da construção de um quadro-síntese. O quadro permitiu uma análise crítica e sistematizada dos temas apresentados em cada trabalho, possibilitando a identificação dos desafios para a segurança hídrica em regiões de semiárido, da caracterização dos saberes tradicionais, da identificação da comunidade tradicional relacionada às práticas de promoção da segurança hídrica, dos benefícios socioambientais gerados pelos saberes e dos tipos de tecnologia utilizados.

As tecnologias/práticas identificadas foram classificadas como implementadas (I), quando a tecnologia foi absorvida de fonte externa à comunidade, mas aplicada sobre o saber tradicional, adaptadas (A), quando o saber tradicional foi ajustado ou aprimorado por técnicas contemporâneas, e desenvolvidas (D), quando a tecnologia surgiu diretamente do saber tradicional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da primeira etapa de identificação e localização das fontes, obteve-se um total de vinte e quatro produções selecionadas, dentre artigos científicos, monografias, teses, revistas acadêmicas, escrever porque quinze 15 trabalhos foram excluídos, após etapa de exclusão foram selecionadas nove produções científicas.

Dos nove trabalhos selecionados, cinco são localizados no semiárido brasileiro, que possui o índice de aridez de 0,5 (Instituto Nacional do Semiárido - INSA, 2014), os outros quatro trabalhos se dividem entre outros quatro países, como Omã, onde a maior parte do território nacional se enquadra em uma faixa de valores médios de aridez entre 0,20 - 0,50 (Al-Ajmi, 2018); Índia com 35% da sua área total sendo semiárido (Ramarao, *et al*., 2018); Quênia que possui 89% do território classificado como árido ou semiárido (Akuja, Kandagor, 2024) e África do Sul com 80% da sua área territorial sendo regiões que apresentaram características de clima ou índices pluviométricos de semiárido e árido (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005).

A análise das práticas de promoção da segurança hídrica relacionadas aos ST (Quadro 1) possibilita comparar práticas adotadas em diferentes comunidades, embora distintas entre si, compartilham estratégias semelhantes para lidar com problemas comuns do semiárido, especialmente no que diz respeito à escassez hídrica, podendo compilar os diversos saberes tradicionais encontrados, sendo eles: i) Previsão do clima/tempo. ii) Captação e armazenamento da água da chuva. iii) Uso de sementes crioulas. iv) Conhecimento da relação floresta e ciclo hídrico. v) Sistema de abastecimento comunitário com canais subterrâneos. vi) identificação de fontes de água subterrâneas. vii) Manejo do solo. viii) Reutilização de águas cinzas. Isso acontece pois os (ST) estão intrinsecamente ligados ao uso e manejo de recursos naturais, portanto também ligado às características da região das comunidades.

Quadro 1. Caracterização das práticas de promoção da segurança hídrica relacionadas à saberes tradicionais.

Localização	Comunidade tradicional	Saber tradicional	Prática/Tecnologia Utilizada*	Tipo de tecnologia aplicada**	Referência
Município de Triunfo, Pernambuco.	Sertanejos	Armazenamento e partilha de semente crioulas	Armazenamento em garrafas plásticas, transparentes e identificadas nas residências	**(A)**	(Mélo, 2022)
	Sudeste da		Uso de águas cinzas familiar	Reutilização de águas cinzas	do tempo
Município de Quixadá, Ceará.		Caatingueiro			Armazenamento de água
Município de Itapiúna, Ceará.		Sertanejos			Sistema ancestral de irrigação
Omã -		Rural, agricultura		Previsão	

ligadas diretamente ou indiretamente à irrigação.	**(A)**	
Observação do comportamento da fauna, dos fenômenos atmosféricos e astronômicos.	**(D)**	(Silva, Santos e Olímpio, 2020)
	(I)	(Ferreira, Pedrosa e Pontes, 2020)
	(A)	(Remmington, 2018)
Cisternas de placas (de 16 mil litros).		
AFLAJ (ou ou Falaj)/galerias, sistema de gravidade		

península arábica.		comunitário e de gestão de água	para canalizar a água		
Khambashe - Cabo oriental, África do Sul.	Indígenas cultura Xhosa.	Manejo do uso do solo	Aração.	**(D)**	(Mahlangu e Garutsa, 2014)
		Perfuração de poços	Não especificada	**(NE)**	
Município de Simões Filho, Bahia.	Quilombos Dandá, Santa Maria e Guerreiro.	Conhecimento da relação floresta e ciclo hídrico	Reflorestamento da mata ciliar e nativa e de espécies hidroretentoras.	**(D)**	(Andrade e Almeida, 2022)
Condado de Turkana, no Quênia.	Comunidades de ASAL***	Identificação de fontes de água	Localizar aquíferos subterrâneos através das espécies arbóreas.	**(D)**	(Ratemo *et al.*, 2020)
		Previsão do clima/tempo	Observação da fauna e flora	**(D)**	
Seridó potiguar - Rio Grande do Norte.	Sertanejos	Previsão do clima/tempo	Observação da flora, fauna, astros, elementos atmosféricos, corpos d'água.	**(D)**	(Silva, Andrade e Rozendo, 2014)
Distrito de Purulia, Bengala Ocidental, Índia.	Indígenas	Captação de águas subterrâneas e pluviais	PAT KUA: poço comunitário.	**(D)**	(Kar, *et al.*, 2023)
			Dari: pequeno buraco semicircular ao lado de rios secos, de natureza semi permanente.	**(D)**	
			Dighi: reservatórios abertos de captação pluvial.	**(D)**	

* O modo ou o instrumento utilizado para o saber tradicional. **Implementada(I); Desenvolvida (D); adaptada(A); Não especificado (NE). ***Arid and semi-arid lands.
Fonte: Autoria própria (2025).

A adoção de práticas como sistemas de abastecimento comunitário e reaproveitamento de águas cinzas modernizadas, revelam que a combinação de ST e tecnologias modernas permite às comunidades enfrentar variações climáticas e preservar seus recursos naturais, o exemplo das cisternas de placas mostra que práticas transmitidas por gerações podem ser aprimoradas por inovações técnicas (Ferreira, Pedrosa e Pontes, 2020). Da mesma forma, sistemas ancestrais de irrigação, como o AFLAJ em Omã, apontam como técnicas ajustadas ao contexto local se mantêm eficazes para a gestão comunitária da água (Remmington, 2018). A valorização e integração dos saberes tradicionais com tecnologias modernas, não apenas garantem soluções hídricas adaptadas e economicamente viáveis, como também reforçam a autonomia, a identidade cultural e a sustentabilidade das comunidades semiáridas, esclarecem que é possível conciliar

inovação com práticas ancestrais para o enfrentamento dos desafios socioambientais complexos (Ferreira, Pedrosa e Pontes, 2020).

Os ST desenvolvidos a partir da observação das características do semiárido, como a identificação de fontes de água subterrâneas por meio da flora e a previsão do tempo, formam uma base de práticas confiáveis para a gestão dos recursos hídricos e evidenciam o conhecimento da relação entre floresta e ciclo hídrico (Andrade e Almeida, 2022). Além disso, o uso de sementes crioulas fomenta a segurança alimentar e hídrica, sendo mais resistentes ao ambiente seco e ao solo salino (Silva, Santos e Olímpio, 2020). Há também o uso de plantas adaptadas a solo salino e seco que podem redistribuir sais no perfil do solo, promover a infiltração de água e melhorar a estrutura do solo e qualidade da água (Wang *et al*., 2023), reforçando a integração entre práticas tradicionais e sustentabilidade.

Na revisão bibliográfica identificou-se os principais desafios e fatores enfrentados pelo semiárido brasileiro, que o torna local de vulnerabilidade ambiental hídrica, sendo estes: A) Períodos de Secas. B) Salinização e sodificação de fontes subterrâneas. C) Ausência de rios perenes para abastecimento. D) Elevado potencial de evapotranspiração. E) Exploração, degradação dos recursos hídricos (atividade antrópica) (Arskyi e Assisii, 2013). De acordo com as publicações analisadas é possível inferir sobre a relação entre os ST e a segurança hídrica (Quadro 2).

Quadro 2. Benefícios dos saberes tradicionais para promoção da segurança hídrica.

Desafios do semiárido	Saberes tradicionais	Benefícios para segurança hídrica	Referências
Períodos de Secas	Previsão do clima/tempo	Permite planejar o momento do plantio, identificar tempos de seca para saber quando armazenar água e alimentos com base nos sinais da natureza.	(Silva, Andrade e Rozendo, 2014) (Silva, Santos e Olímpio, 2020)
	Captação e armazenamento da água da chuva	Garante reserva de água para consumo humano, animal e irrigação em períodos de estiagem.	(Ferreira, Pedrosa e Pontes, 2020)
Salinização e sodificação de fontes subterrâneas	Uso de sementes crioulas	As sementes crioulas são adaptadas às condições de solo e água locais assim a flora endémica funciona como filtro natural, reduzindo o acúmulo de sais e utilizando menos água para irrigação.	(Wang *et al*., 2023) (Mélo, 2022)
Ausência de rios perenes para abastecimento	Sistema de abastecimento comunitário com canais subterrâneos	Otimização do uso da pouca água disponível, reduzindo evaporação e desperdício, trazendo segurança e reserva de água para o coletivo.	(Remmington, 2018)
	Identificação de fontes de água subterrâneas	Mapear nascentes e lençois freáticos, garante o acesso a reservas naturais de água.	(Ratemo *et al*., 2020)

Elevado potencial de evapotranspiração	Manejo do solo	Controlar a erosão do solo, reter a água da chuva e aumentar a produtividade agrícola	(Mahlangu e Garutsa, 2014)
	Conhecimento da relação floresta e ciclo hídrico	Aumento da retenção de água no solo a partir da manutenção da mata.	(Bacellar, 2005)
Exploração, degradação dos recursos hídricos (atividade antrópica)	Manejo do solo	Utilização de técnicas tradicionais como terraceamento, para evitar o uso de agrotóxicos, degradação do solo e contaminação de Cursos d'água e aquíferos.	(Mahlangu e Garutsa, 2014)

Fonte: Autoria própria (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, foi evidenciado que a aplicação de saberes tradicionais pode promover segurança hídrica e melhores condições de sobrevivência para comunidades tradicionais em regiões de semiárido. Vale ressaltar a capacidade de absorção de novos conhecimentos e tecnologias pelas comunidades, considerando o alinhamento com valores, práticas e cosmovisão de povos tradicionais. Esse movimento assegura a preservação cultural e reforça sua autonomia, ao mesmo tempo em que amplia estratégias de segurança hídrica de convivência com o semiárido.

A proposição em valorizar os ST se refere diretamente às quatro dimensões pautadas no Plano Nacional de Segurança Hídrica: a dimensão humana; a econômica; a ecossistêmica e a resiliência. Para ampliar, garantir e manter a segurança hídrica nas regiões do semiárido nessas dimensões, faz-se necessário a execução das tecnologias organizadas a partir das matrizes dos saberes tradicionais das comunidades. Logo, a presente pesquisa tratou do tema segurança hídrica na perspectiva do paradigma interdisciplinar e transversal, considerando e reconhecendo o território e suas riquezas culturais e sociais representadas pelos os saberes tradicionais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os membros do PET ESA que contribuíram para a realização desse trabalho e ao FNDE/MEC pela concessão das bolsas ao grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Ajmi, Dhari N. 2018. "Climate Aridity: The Sultanate of Oman as a Case Study." *International Journal of Earth Science and Geology* 1 (1): 1–3. https://doi.org/10.18689/ijeg-1000101.

Akuja, T., e J. Kandagor. 2024. "Climate Smart Agriculture in Kenya's ASALS: Gaps and Barriers in Policy Development and Implementation." African Journal of Climate Change and Resource Sustainability 3 (1). https://doi.org/10.37284/ajccrs.3.1.1690.

Ramarao, M. V. S., J. Sanjay, R. Krishnan, M. Mujumdar, A. Bazaz, and A. Revi. 2018. "On Observed Aridity Changes over the Semiarid Regions of India in a Warming World." *Theoretical and Applied Climatology.* https://doi.org/10.1007/s00704-018-2513-6.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2005. *The State of the*

World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture: Chapter 6 – Aridity Zones and Water Relations. https://www.fao.org/4/y5998e/y5998e06.htm.

Gil, Antônio Carlos. 2011. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. *Atlas*.6. ed. São Paulo. https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf.

Arskyi, Igor da Costa, e Gustavo Corrêa de Assisii. *Parâmetros de Disponibilidade Hídrica no Semiárido*. In *Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social – Vol. 2*, Brasília, DF: Editora IABS, 2013.

Wang, Yanyan, Shiqi Wang, Zhenyong Zhao, Ke Zhang, Changyan Tian, Wenxuan Mai. 2023. "Progress of Euhalophyte Adaptation to Arid Areas to Remediate Salinized Soil." *Agriculture* 13 (3). https://doi.org/10.3390/agriculture13030704.

Melo, Anastácia Brandão de. 2022. *Práticas tradicionais de adaptação às secas no semiárido brasileiro: o caso do município de Triunfo, Pernambuco*. Tese de doutorado, Universidade Nova de Lisboa. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/139049/1/Melo%20Brand%C3%A3o%2C%20Anast%C3%A1cia.%20Pr%C3%A1ticas%20tradicionais%20de%20adapta%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0s%20secas%20no%20semi%C3%A1rido%20brasileiro.pdf

Silva, Francisco Haulivan Ferreira, Bruno de Castro Santos e João Luis Sampaio Olímpio. 2020. "Conhecimento popular para previsão da qualidade do período chuvoso no semiárido do Ceará: os profetas da chuva." In *Saberes tradicionais das comunidades no semiárido*, 48–57. Sobral, CE: PROEX/UVA. Disponível em: https://siteadmin.uvanet.br/apps/common/documentos_proex/publica_95850cbc3058baba5cd692.pdf

Pedrosa, Fredson Maciel, Rafaela de Sousa Ferreira, Emilio Tarlis Mendes Pontes. 2020. "Saberes do semiárido: tecnologias sociais, convivência, cultura e recursos naturais." S*aberes tradicionais das comunidades no semiárido*Sobral.CE: PROEX/UVA. Disponível em: https://siteadmin.uvanet.br/apps/common/documentos_proex/publica_95850cbc3058baba5cd692.pdf

Mahlangu, Mbiji, and Tendayi C. Garutsa. 2014. "Application of Indigenous Knowledge Systems in Water Conservation and Management: The Case of Khambashe, Eastern Cape South Africa." *Academic Journal of Interdisciplinary Studies* 3 (4): 151–58. https://doi.org/10.5901/ajis.2014.v3n4p151.

Remmington, Tim. 2018. "The Aflaj Systems in Sultanate of Oman." *ResearchGate*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/377133027_The_Aflaj_Systems_in_Sultanate_of_Oman_Its_Traditional-Engineer_Construction_and_Operation.

Al-Marshudi, Ali. 2007. "Overview about the Aflaj of Oman." ResearchGate. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328560516_Overview_about_the_Aflaj_of_Oman.

Bacellar, L. de A. P. 2006. "O Papel das Florestas no Regime Hidrológico de Bacias Hidrográficas." Universidade Federal de Santa Maria. Acesso em 29 de setembro de 2025.

Krenak, Ailton. 2019. O futuro é ancestral. São Paulo: *Companhia das Letras*.

Brasil. 2016. Decreto nº 8.750, de 9 de maio de 2016. Institui o Conselho Nacional dos Povos e Comunidades Tradicionais. *Diário Oficial da União*. Acesso em 29 de setembro de 2025. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/d8750.htm.

Brito, Higor Costa de, Yáscara Maia Araújo de Brito e Iana Alexandra Alves Rufino. 2022. "O Índice de Segurança Hídrica do Brasil e o Semiárido Brasileiro: Desafios e Riscos Futuros." *Revista Brasileira de Cartografia* 74 (1): 1–20. https://doi.org/10.14393/rbcv74n1-60928.

Oliveira, Diego Bruno Silva de. 2013. O uso das tecnologias sociais hídricas na zona rural do semiárido paraibano: entre o combate à seca e a convivência com o semiárido. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9806/1/DiegoBrunoSilvaDeOliveira_Dissert.pdf.

Andrade, Maria Aparecida da Silva, e Rosiléia Oliveira de Almeida. 2022. "Relação entre florestas e produção de água: diálogos entre conhecimento tradicional quilombola e conhecimento científico como referência para a educação escolar." *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental* 27 (2): 1–30. https://doi.org/10.14295/ambeduc.v27i2.13988.

Instituto Nacional do Semiárido (INSA). 2013. O Semiárido Brasileiro: Riquezas, Diversidades e Saberes. Campina Grande: INSA. Disponível em: https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes-do-insa/desertificacao/o-semiarido-brasileiro-riquezas-diversidades-e-saberes_compressed.pdf.

Kar, Surajit. 2023. "Achieving Rural Water Security Through Traditional Knowledge: A Comprehensive Appraisal of Traditional Water Harvesting Techniques Used in Dry Lands of Purulia District, West Bengal, India." In Indigenous Knowledge and Disaster Risk Reduction: Insight Towards Perception, Response, Adaptation and Sustainability, editado por G. K. Panda, Uday Chatterjee, Nairwita Bandyopadhyay, Martiwi Diah Setiawati e Debarpita Banerjee, 343–384. Cham: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26143-5_16

Silva, Nivaldo Martins da. 2014. "Profetas da chuva do Seridó potiguar, Brasil." *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas* 9 (2): 309–324. https://doi.org/10.1590/1981-81222014000200006.

Ratemo, Cecilia Mwango, George Morara Ogendi, Guangwei Huang e Rhoda N. Ondieki. 2020. "Application of Traditional Ecological Knowledge in Food and Water Security in the Semi-Arid Turkana County, Kenya." *Open Journal of Ecology* 10 (6): 321–340. https://doi.org/10.4236/oje.2020.106020.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025

II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural

RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114312

SANEAMENTO RURAL NO BRASIL E AS DIFICULDADES DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA ELABORAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMENTO BÁSICO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SANEAMIENTO RURAL EN BRASIL Y LAS DIFICULTADES DE LA PARTICIPACIÓN SOCIAL EN LA ELABORACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMIENTO BÁSICO: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

RURAL SANITATION IN BRAZIL AND THE CHALLENGES OF SOCIAL PARTICIPATION IN THE DEVELOPMENT OF PUBLIC POLICIES FOR BASIC SANITATION: A LITERATURE REWIEW

Laiza Vitória Leão de Carvalho[1], João Victor Fagundes de Oliveira[2], Pétala Martins Lopes de Souza[3] e Solange Araújo Oliveira[4].

[1]Bacharelado em Administração, Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), Petrolina, Brasil, laizaleite367@gmail.com;
[1]Bacharelado em Psicologia, Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), Petrolina, Brasil, jvfagundes01@gmail.com;
[1]Bacharelado em Administração, Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), Petrolina, Brasil, phmls08032005@gmail.com;
[1]Bacharelado em Administração, Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), Petrolina, Brasil, sollange.aoliveira@gmail.com.

Eixo Temático 08 – Mobilização e Participação Social

Eje Temático 08 – Movilización y Participación Social

Thematic Axis 08 – Social Mobilization and Participation

RESUMO

Ao longo da história brasileira, as áreas e as comunidades rurais foram desonrosamente negligenciadas em vários aspectos, especialmente no que tange ao saneamento básico. Além disso, de forma infeliz, as intervenções do setor público para sanar tal necessidade mostram-se ineficazes para adaptar-se às dinâmicas e especificidades do meio rural, em destaque na falta de abordagens integrais com participação popular na elaboração das ações de higiene e água. Diante da negação de acesso à este pilar essencial à existência humana, o presente trabalho deteve-se a analisar os impasses da participação social na elaboração da política pública de saneamento básico no espaço rural, que levam iniciativas desta natureza ao fracasso. O trabalho baseou-se em uma pesquisa de tipo documental de abordagem qualitativa e usou materiais bibliográficos de periódicos Scielo e CAPES e sites oficiais da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico e Ministério das Cidades, para a análise bibliográfica e consolidação desta produção. A partir das bases analisadas nesta pesquisa, concluiu-se que há problemas na elaboração – e consequente implantação – da política de saneamento pela desconsideração das

realidades locais e a falta da ativa inclusão das populações rurais neste processo. Além disso, observou-se o despreparo dos responsáveis pela promoção das ações de saneamento, devido à falta de alinhamento de horário dos momentos de escuta com a rotina dos ouvintes e do excesso de formalidade e linguagem técnica durante a interação com estes, não tornando a comunicação compreensível e dificultando a inserção das representatividades sociais nestas políticas. A partir disso, endossa-se a urgência de ouvir os residentes rurais de forma efetiva. Adicionalmente, oferecer formação técnica e teórica em saneamento ecológico, respeitando os conhecimentos e a cultura dos indivíduos beneficiados, é também fundamental para elaborar e aplicar ações que gerem retornos significativos à estas comunidades, e aproximar desta população a dignidade do acesso ao saneamento básico.

Palavras-chave: Saneamento básico, Participação social, Políticas públicas, Saneamento Ecológico.

RESÚMEN

A lo largo de la historia brasileña, las zonas y comunidades rurales han sido deshonrosamente negligenciadas en varios aspectos, especialmente en lo que respecta al saneamiento básico. Además, lamentablemente, las intervenciones del sector público para atender esta necesidad han resultado ineficaces para adaptarse a las dinámicas y especificidades del entorno rural, destacándose la falta de enfoques integrales con participación popular en la elaboración de acciones relacionadas con la higiene y el acceso al agua. Frente a la negación del acceso a este pilar esencial para la existencia humana, el presente trabajo se propuso analizar los obstáculos a la participación social en la formulación de políticas públicas de saneamiento básico en el ámbito rural, los cuales conducen al fracaso de iniciativas de esta naturaleza. El estudio se basó en una investigación de tipo documental con un enfoque cualitativo y utilizó materiales bibliográficos provenientes de revistas de Scielo y CAPES, así como sitios oficiales de la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico y del Ministerio de Ciudades, para el análisis bibliográfico y la consolidación de esta producción. A partir de las fuentes analizadas en esta investigación, se concluyó que existen problemas en la formulación —y, en consecuencia, en la implementación— de políticas de saneamiento debido a la falta de consideración de las realidades locales y a la ausencia de una inclusión activa de las poblaciones rurales en este proceso. Asimismo, se observó la falta de preparación de los responsables por promover las acciones de saneamiento, debido a la falta de adecuación horaria de los momentos de escucha a la rutina de los participantes, así como al uso excesivo de formalidad y lenguaje técnico durante las interacciones, lo cual dificulta la comprensión de la comunicación e impide la inclusión de representaciones sociales en dichas políticas. A partir de ello, se refuerza la urgencia de escuchar de manera efectiva a los residentes rurales. Además, ofrecer formación técnica y teórica en saneamiento ecológico, respetando los conocimientos y la cultura de los individuos beneficiados, también es fundamental para diseñar e implementar acciones que generen impactos significativos en estas comunidades, acercando a esta población a la dignidad del acceso al saneamiento básico.

Palabras clave: Saneamiento básico, Participación social, Políticas públicas, Saneamiento ecológico

ABSTRACT

Throughout Brazilian history, rural areas and communities have been disgracefully neglected in several aspects, especially regarding basic sanitation. Furthermore, unfortunately, public sector interventions aimed at addressing this need have proven ineffective in adapting to the dynamics and specificities of the rural environment, particularly due to the lack of comprehensive approaches involving popular participation in the development of hygiene and water-related actions. Given the denial of access to this essential pillar of human existence, the present work focused on analyzing the challenges of social participation in the formulation of public policies on basic sanitation in rural areas, which often lead such initiatives to failure. The study was based on documentary research with a qualitative approach and used bibliographic materials from Scielo and CAPES journals, as well as official websites of the National Water and Basic Sanitation Agency and the Ministry of Cities, for bibliographic analysis and consolidation of this production. Based on the sources analyzed in this research, it was concluded that there are issues in the formulation—and consequently the implementation—of sanitation policies due to the disregard for local realities and the lack of active inclusion of rural populations in the process. Moreover, it was observed that those responsible for promoting sanitation actions are often unprepared, due to the lack of alignment between meeting times and the daily routines of the participants, as well as the excessive formality and technical language used during interactions, which hinders effective communication and the inclusion of social representatives in these policies. Based on these findings, the urgency of effectively listening to rural residents is strongly reinforced. Additionally, offering technical and theoretical training in ecological sanitation, while respecting the knowledge and culture of the individuals being served, is also essential to develop and implement actions that generate meaningful outcomes for these communities and bring them closer to the dignity of access to basic sanitation.

Keywords: Basic sanitation, Social participation, Public policies, Ecological Sanitation

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do nosso país se apresentou de uma forma muito vergonhosa, excluindo e desconsiderando as realidades da zona rural no âmbito da água e do saneamento. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva analisar os fatores que inviabilizam o protagonismo da população rural, com a finalidade de entender as dificuldades que inviabilizam a atuação ativa apresentada por muitas comunidades rurais, entendidas no presente trabalho como agrupamentos geograficamente distantes das sedes urbanas, incluindo as ribeirinhas, quilombolas, catingueiras, ciganas, indígenas, extrativistas entre outros grupos.

Diante disso, a utilização de abordagens horizontais na diversa população rural

brasileira é fundamental para promover a aplicação efetiva de políticas públicas de saneamento, pois permitem uma leitura minuciosa das realidades enfrentadas, abarcando as subjetividades de cada indivíduo. Este método pode permitir contemplar os diversos atores envolvidos e integrar os saberes tradicionais, para obter resultados satisfatórios para todos os envolvidos (Maciel e Thiollent 2021).

Apesar de sua relevância reconhecida, a aplicação desta abordagem é frequentemente comprometida por diversos fatores. A literatura demonstra o desalinhamento das ações propostas com a realidade dos moradores do campo, pois desconsideram seus saberes, tradições e modos de vida, além de imporem tecnologias convencionais sem o diálogo com os beneficiados, tornando as ações inefetivas. Nesse sentido, o trabalho se desenvolve a partir da seguinte problemática: Quais são os fatores que dificultam a participação social das comunidades rurais na implementação do saneamento rural?

Por meio de uma pesquisa documental, com o procedimento de levantamento bibliográfico e abordagem qualitativa, pretende-se responder à questão basilar do trabalho. A análise dos materiais levantados permitirá entender as dificuldades na participação ativa social das localidades rurais, de modo a fomentar um debate enriquecedor sobre a aplicação das ações sanitárias no campo, fornecendo contribuições para a melhoria do saneamento rural.

Para organizar as reflexões, dividiu-se este trabalho em três sessões, que incluem esta introdução. A segunda seção busca responder a questão orientadora da pesquisa. Por fim, são apresentadas as considerações finais deste resumo expandido.

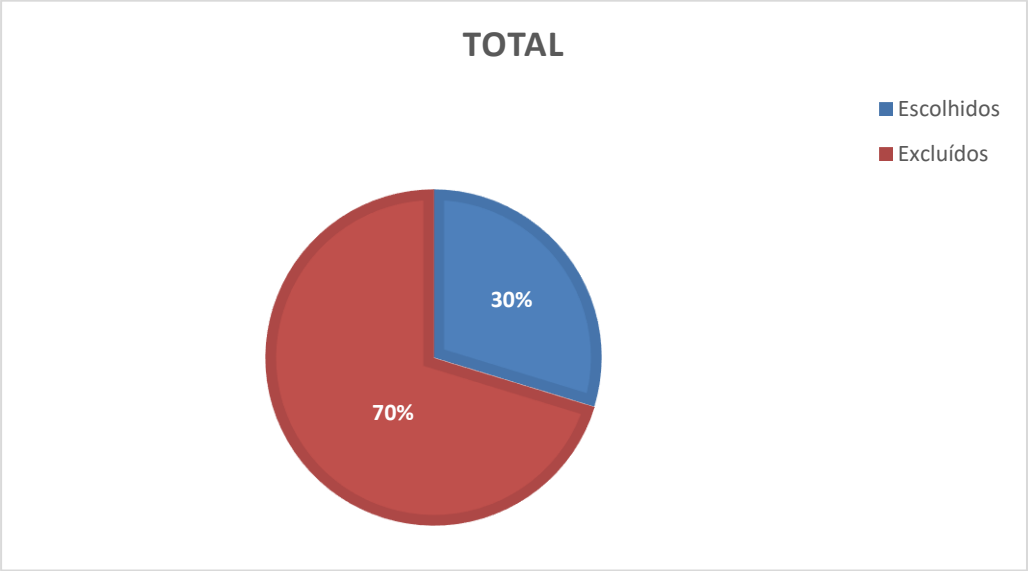
MATERIAIS E MÉTODOS

O presente material “Saneamento Rural no Brasil e as Dificuldades da Participação Social na Elaboração das Políticas Públicas de Saneamento Básico: Uma Revisão Bibliográfica” utiliza a metodologia de pesquisa do tipo documental com objetivos de ampliar a compreensão da temática a partir do acervo existente e de procedimentos bibliográficos (Pimentel, 2001) e de abordagem qualitativa. Essa abordagem qualitativa foi considerada a mais adequada para atingir os objetivos da pesquisa.

Conforme evidenciado por Martins (2004), a pesquisa documental de abordagem qualitativa possui uma proposta inovadora na produção científica, visto que uma exploração documental amplia a compreensão de temáticas e fortalece a produção acadêmica em razão da metodologia validar os fatores não-métricos, logo apresentando um aspecto não rigidamente estruturado quanto os fatores estudados pelo pesquisador. Dessa forma, o trabalho teve como etapas: o planejamento, a seleção de materiais disponíveis em sites oficiais Agência Nacional de Água e Saneamento Básico e Ministério das Cidades e banco de dados Google Acadêmico, Scielo e CAPES para embasar a análise e a estruturação do Estado da Arte (Teixeira 2023) com foco na exploração do acervo existente nos bancos de dados sobre a temática.

Desse modo, na etapa de seleção dos materiais foi adotado critérios de seleção e exclusão na escolha dos resultados encontrados nos periódicos acadêmicos. Sendo assim, o uso de filtros de tempo: artigos publicados entre 2015 a 2025 , escritos em português, tipo: artigo e em formato de PDF e como descritores foram usadas as seguintes palavras-chaves "Saneamento Rural", "Participação Social" e "Participação Social na Política Pública" foram instrumentos para essa seleção. Diante disso, foram excluídos todos os materiais que - após leitura prévia do resumo e metodologia - apresentavam pouco destaque a participação social e ampliavam a discussão para o polo econômico dando destaque ao papel do poder público. Com isso, segue o gráfico em porcentagem dos materiais escolhidos após os critérios de seleção.

Gráfico 1 - Percentual de materiais excluídos



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Nesse sentido, o caráter inovador trazido pela abordagem qualitativa é percebido nas contribuições importantes para a temática (Godoy 1995), considerando que os periódicos científicos constituem uma rica fonte de dados para análise multidisciplinar quanto ao investigado na pesquisa – visto que os materiais reuniram produções nas áreas das ciências agrárias, administração pública, ciências sociais, ecologia e psicologia social. Com isso, abaixo há apresentação dos materiais escolhidos com os respectivos títulos, área mãe e ano de publicação.

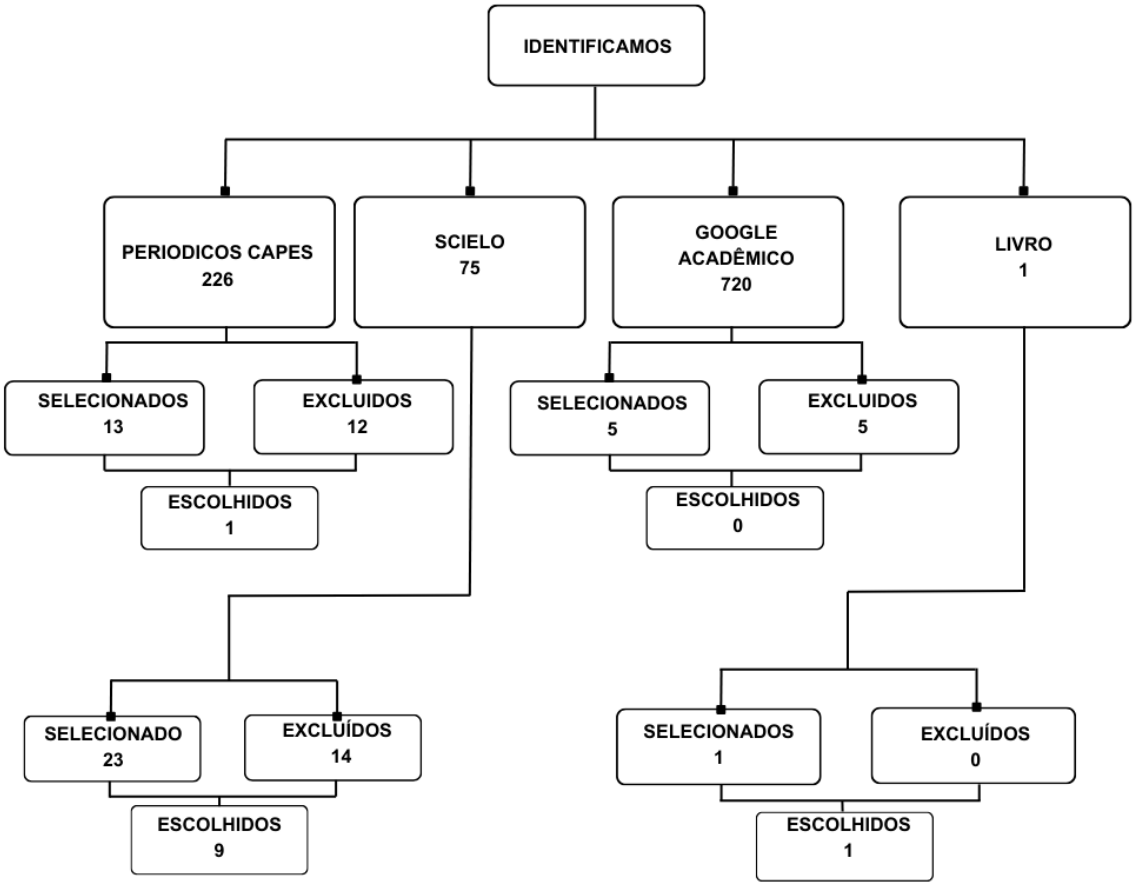
Tabela 1 - Materiais selecionados

Titulo	**Área de conhecimento**	**Ano**
Método da análise documental: seu uso numa pesquisa historiográfica	Psicologia Social e Institucional	2001
Metodologia qualitativa de pesquisa	Filosofia, Letras e Ciências Humanas	2004
Políticas públicas: Uma revisão de literatura	Economia e Ciência Política	2006
O programa de aceleração do crescimento no estado da Bahia e os desafios da universalização do saneamento básico	Engenheiros Sanitaristsa e Ambiental	2018
A entrada na agenda brasileira do Projeto Nacional de Saneamento Rural	Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos	2020
Uma abordagem integral para Saneamento Ecológico em Comunidades Tradicionais e Rurais	Psicossociologia de Comunidades e Ecologia Social	2021
Desafios do saneamento básico rural no cenário da reforma agrária	Arquitetura e Urbanismo	2022
Os direitos humanos á água e ao saneamento	Engenharia Civil	2022
Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas	Engenharia Civil e Ambiental	2023
Estados da Arte: aparando arestas na compreensão dessa modalidade de pesquisa	Ciências Biológicas	2023
O “novo” marco legal e a universalização do saneamento básico no espaço rural	Políticas Públicas e Desenvolvimento	2024
Total Utilizado		11

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Por fim, a coleta de dados teve por objetivo a escolha de materiais em revistas em que um dos critérios para publicação é a revisão de pares para garantia de um referencial teórico seguro e de produção confiável.

Figura 1 - Materiais selecionados



Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do Brasil, a garantia do acesso ao saneamento básico foi ignominiosamente prejudicada na comunidade rural - grupo esse entendido neste trabalho como os agrupamentos geograficamente distantes das sedes urbanas, não desconsiderando as diversas configurações de comunidades rurais como as ribeirinhas, quilombolas, catingueiras, ciganas, indígenas, extrativistas entre outros grupos.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), saneamento básico é entendido como um grupo de ações responsáveis por promover o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos, a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas e o abastecimento de água, tanto em áreas urbanas quanto nas localidades rurais. Dado seu caráter essencial, o saneamento básico tornou-se obrigatório, no Brasil, através do Marco Legal do Saneamento, arcabouço legal, administrativo e regulatório composto pelas leis 11.445/2007 e 14.026/2020.

No entanto, a inserção de investimentos privados no Marco Legal do Saneamento Básico distanciou o Estado de sua responsabilidade de garantir o saneamento básico no meio rural, pois, normalmente, não é lucrativo aplicar intervenções desta natureza no espaço rural (Marcon e Wesz Junior 2024). Isto evidencia que impor ações de saneamento sem promover o diálogo com os grupos atendidos pode gerar resultados insatisfatórios para todos os envolvidos (Machado, Maciel e Thiollent 2021). Assim, desenvolver políticas públicas setoriais a partir de uma análise antecipada é essencial para atender as demandas específicas dos agrupamentos rurais (Roland, Heller e Rezende, 2020, p. 1655).

Celina (2006) entende por políticas públicas a forma como o governo age para alcançar seus objetivos e, ao mesmo tempo, a área que estuda a efetividade e o impacto dessas ações. Nesse sentido, para alcançar a efetividade das políticas públicas, Heller (2022) defende que é imprescindível contornar obstáculos relacionados à disposição dos governos em proporem espaços participativos, a fim de efetivar o marco legal do saneamento em espaços rurais.

Sobre outra dimensão, a escassez de capacitação técnica nas comunidades rurais, os horários de encontros com a população desfavorável à comunidade e a falta de diálogo horizontal e acessível entre os saberes técnicos e tradicionais durante os momentos de reuniões com a população representam obstáculos significativos para a implementação, manuseio e manutenção do saneamento ecológico – abordagem compreendida como a mais adequada ao meio rural por comportar diversas tecnologias diferentes capazes de se adequarem às diversas comunidades (Machado, Maciel e Thiollent 2021; Norberto 2022).

Respondendo à questão suscitada no trabalho, “quais são os impasses da aplicação das metodologias participativas nas políticas públicas de saneamento básico?”, esta revisão bibliográfica tornou nítido que as limitações se evidenciam tanto no despreparo técnico dos profissionais responsáveis pela coleta de dados para formulação das políticas quanto pela desconsideração da denúncia da realidade dos residentes rurais. Como consequência, as políticas formuladas distanciam-se da realidade e afastam as comunidades da ação ativa na formulação e implementação das políticas, gerando uma política pública com poucos retornos à sociedade.

Sob uma ótica positiva, a pesquisa ratifica também a potencialidade dos espaços e momentos de escuta às localidades, pois isso centraliza os representantes locais no processo de alinhamento da política de saneamento com necessidades reais, tornando-o mais eficaz e devolvendo à população rural a dignidade humana. Nesse sentido, a participação popular não só a permite a adaptação de tecnologias ao rural, mas também garante o controle social (Cunha e Borja 2018).

No entanto, cabe reforçar que o presente trabalho possui limitações acerca da compreensão plena das políticas públicas de saneamento básico rural, visto o número limitado de trabalhos classificados frente à amplitude do assunto e as diferentes áreas do conhecimento que abarca, sendo útil maiores explorações em produções científicas futuras centradas nas especificidades das diversas comunidades e suas relações com o saneamento básico, em específico no rural.

CONCLUSÃO

Diante da abordagem adotada, este trabalho analisou as dificuldades da participação social na elaboração de políticas públicas de saneamento rural no Brasil, um tema crucial dada a negligência histórica do desenvolvido no país no âmbito do saneamento, que exclui as realidades e as necessidades das comunidades do campo. A partir do problema, a pesquisa buscou relatar as dificuldades e analisar os fatores que impedem a participação social das comunidades rurais na implementação do saneamento básico, questão fundamental para a eficácia das políticas públicas.

Por meio de uma metodologia qualitativa e revisão bibliográfica com análises de artigos de diferentes áreas acadêmicas que permitiu uma leitura das abordagens integrais nas populações rurais atuais. Compreendeu-se que há limitações na inclusão da população rural nas políticas de saneamento, apesar de existirem metodologias participativas, sendo indispensável contornar tais dificuldades reforçando a participação e boa comunicação de encontros com essas comunidades.

Este estudo, ao analisar as dificuldades das zonas rurais com o saneamento, ratifica que, embora exista uma exaltação dos saberes técnicos na gestão das ações e metas de saneamento básico, é indispensável o protagonismo do conhecimento popular enquanto bússola orientadora da realidade específica, contribuindo para a inclusão e integração das realidades locais e a melhoria do desenvolvimento do saneamento básico. A partir disso, vê-se que relevância deste estudo reside na compreensão do saneamento básico como devolvedor de dignidade humana às minorias sociais, reforçando como o acesso à água e ao esgotamento é essencial para o desenvolvimento digno da população rural.

Contudo, o presente trabalho apresenta limitações acerca da generalização das vivências das comunidades rurais, sem considerar a percepção socioambiental de outras comunidades tradicionais, e a quantidade limitada de materiais analisados, dificultando a compreensão plena sobre a política pública de saneamento básico rural, sua eficácia e eficiência. Por isso recomenda-se que sejam feitas futuras investigações que explorem as diversas comunidades rurais, aprofundem a análise dos impactos das tecnologias e políticas públicas de saneamento, para compreender as múltiplas realidades rurais e proporcionar a efetiva inclusão da população nos processos decisórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cunha, Mateus. A., e P. C. Borja. 2018. "O programa de aceleração do crescimento no estado da Bahia e os desafios da universalização do saneamento básico." *Revista Brasileira de Gestão Urbana (S.I.)* 10 (supl. 1): 173–85. https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.SUPL1.AO09.

Godoy, Arilda S. 1995. "Pesquisa qualitativa tipos fundamentais." Revista de Administração de Empresas 35 (3): 20–29. https://doi.org/10.1590/S0034-75901995000300004.

Heller, Léo. 2022. *Os Direitos Humanos à Água e ao Saneamento*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. https://doi.org/10.7476/9786557081693.

Machado, Gustavo C. X. M. P., T. M. de F. B. Maciel, e M. Thiollent. 2021. "Uma abordagem integral para Saneamento Ecológico em Comunidades Tradicionais e Rurais." *Revista Ciência & Saúde Coletiva* 26 (4): 1333–44. https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.08242019.

Marcon, A. M., e V. J. Wesz Junior. 2024. "O 'novo' marco legal e a universalização do saneamento básico no espaço rural." *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* 26: 1–30. https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202441pt.

Martins, H. H. T. de S. 2004. "Metodologia qualitativa de pesquisa." *Educação e Pesquisa* 30 (2): 325–43. https://doi.org/10.1590/S1517-97022004000200007.

Norberto, Tamyse Campos Bueno. 2022. "Desafios do saneamento básico rural no cenário da reforma agrária." *Revista Extraprensa* 15 (Especial): 313–28. https://doi.org/10.11606/extraprensa2022.195444.

Pimentel, A. 2001. "O método da análise documental: seu uso numa pesquisa historiográfica." *Cadernos de Pesquisa* 31 (113): 157–73. https://doi.org/10.1590/S0100-15742001000300008.

Roland, N., L. Heller, e S. Rezende. 2020. "A entrada na agenda brasileira do Projeto Nacional de Saneamento Rural (1985)." *Revista de Administração Pública* 54: 1654–71. http://dx.doi.org/10.1590/0034-7612201900392.

Rosa, M. N., D. Teixeira, e K. E. R. Hora. 2023. "Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas." *Revista Saúde Soc.* 32 (2): 1–15. https://doi.org/10.1590/S0104-12902023201040pt.

Souza, Celina. 2006. "Políticas Públicas: uma revisão da literatura." *Sociologias* 8 (16): 20–45. https://doi.org/10.1590/S1517-45222006000200003.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114322

VIDEOCONFERÊNCIAS COMO INSTRUMENTO METODOLÓGICO PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO

Ângela Patrícia Deiró Damasceno[1] e Eduardo Linhares Loureiro[2].

[1]Doutora em Sociologia pela Universidade Federal de Sergipe-UFS, Profagua- Universidade Federal da Bahia-UFBA, Salvador-BA, Brasil, adamasceno.76.ad@gmail.com
[2]Engenheiro Ambiental-UniFTC, Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF, Petrolina-PE, Brasil, eduardoloureiro.plansanear@gmail.com

Eixo Temático VIII – Mobilização e Participação Social
Estratégias de participação e controle social para construção de políticas públicas de saneamento.

RESUMO

Os Planos Municipais de Saneamento Básico são importantes instrumentos de gestão, tanto na perspectiva de expressar os desafios para a universalização dos serviços, quanto para captar recursos com os parceiros institucionais. Nesse sentido, o processo de elaboração de um PMSB precisa envolver os diferentes atores sociais, numa construção coletiva e consistente, a partir do uso de diferentes instrumentos metodológicos que viabilizem a participação e o controle social. Este estudo tem como objetivo analisar o uso das videoconferências como instrumento metodológico no processo de elaboração de planos municipais de saneamento básico (PMSB). A pesquisa adota uma abordagem analítica, a partir da revisão bibliográfica técnica-científica e das observações participantes de práticas de videoconferências, em municípios brasileiros de 2020 aos dias atuais. Os resultados evidenciam que as videoconferências ampliam as possibilidades de participação de diversos atores sociais, demandando a qualificação do corpo técnico das prefeituras e as estruturas de acesso à tecnologias. Alguns dos desafios identificados estão relacionados à operacionalização e divulgação das ações nas mídias digitais, o acesso e a qualidade da internet em determinadas regiões, a limitação de tempo e a adequação de linguagem e ementas. Conclui-se que a adoção de videoconferências é uma estratégia viável e eficaz como instrumento metodológico para auxiliar na construção de políticas públicas em saneamento básico. Este estudo ressalta a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura digital, garantindo o acesso dos participantes e levando em consideração suas limitações (escrita ou visual), além disso, a qualificação do corpo técnico das prefeituras com vistas a garantir a inclusão digital em processos participativos, de acesso à informação, controle social e de gestão pública do saneamento básico, com a disponibilização de tutoriais para acesso com os celulares ou computadores, replicação do conteúdo em plataformas de *streaming*, assim como, na instalação de periféricos em eventos presenciais, permitindo desta forma, que os participantes interajam de forma intuitiva.

Palavras-chave: Eventos síncronos, Eventos assíncronos, Educação à distância, Processos de Elaboração de Políticas Públicas, Participação Social

INTRODUÇÃO

O Brasil, como país de dimensão continental, tem desafios territoriais que esbarram nas

especificidades de cada região. Ao analisar aspectos referentes ao saneamento básico, a falta de investimentos que assegura a universalização do acesso aos serviços básicos e direitos fundamentais, como acesso à água potável gera maior expectativa quanto aos instrumentos de gestão e a forma de elaboração e implementação de políticas públicas que expressem metas progressivas para atendimento da população. O Plano Municipal de saneamento básico previsto na Lei Federal Lei nº 11.445/2007 tem a sua importância mantida na Lei Federal nº 14.026/2020 que estabeleceu novas metas para a universalização do acesso ao saneamento até o ano de 2033. Entre os princípios, destaca-se a importância da participação e do controle social na elaboração e revisão dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). É importante ressaltar que o plano de saneamento básico é elaborado a partir de um processo dividido em fases, segundo orientações do Ministério das Cidades (2018) e da Funasa (2018). Cada fase é de extrema importância e deverá ser executada com qualidade, pois impactará diretamente na melhoria das condições de saneamento e qualidade de vida da população. As fases, de modo geral, incluem a mobilização social e os ritos institucionais, a elaboração de um diagnóstico, do prognóstico, a definição de programas, projetos e ações, e previsão de plano de execução que respeite o horizonte temporal de vigência do Plano e que possa ter suas metas avaliadas e revisadas, adequando a realidade orçamentária de cada município.

A mobilização social e os ritos institucionais que caracterizam a elaboração de uma política pública com participação da sociedade, constituem a primeira fase para a elaboração do plano de saneamento básico de um município. Esta fase é de suma importância, pois viabiliza maior ou menor engajamento da comunidade e dos órgãos governamentais no processo. Ora, para elaborar um Plano de saneamento básico é preciso saber quais os problemas que o município enfrenta, e ninguém melhor que seus habitantes locais para informar. Dessa forma, a mobilização social carece de um processo prévio de comunicação e divulgação para que seja eficiente. É preciso que o desenho didático-pedagógico das atividades previstas contemple a realização de eventos como oficinas, reuniões, seminários, audiências públicas, entre outros. Importante ressaltar que, conforme estudos de Damasceno (2020), “a mobilização social, antecede o processo de participação e este antecede a condição de controle social”.

Para acompanhar a política pública de saneamento, os municípios e estados podem compor um conselho específico, ou utilizar outro órgão colegiado existente, desde que seja garantida a representação de diversos segmentos da sociedade, incluindo a sociedade civil organizada. Tal estratégia é usada em outras áreas da administração pública, como de meio

ambiente, saúde, educação e recursos hídricos, e tem se mostrado importante nos processos de democratização das políticas públicas e na definição de administrações mais compatíveis com as realidades e demandas locais (BRASIL, 2011). Além disso, há de se observar que a participação social será obtida pela junção da participação popular, pautadas nas manifestações, nos movimentos sociais, observatórios e outros, e da participação institucionalizada, representada pelos diversos colegiados instituídos pelas políticas públicas, sendo eles, comitês de bacia hidrográfica, comitês de execução e de gestão, e conselhos municipais, estadual ou federal.

A participação social envolve custos financeiros para celebração de encontros. Envolve tempo para construção de consensos e de tomadas de decisão; envolve compromisso e dedicação técnica e política que extrapolam o tempo da gestão municipal vigente, pois atendem aos interesses e necessidades do município. Para que a participação social ocorra, além da definição prévia dos conceitos e dimensões de participação que se pretende, é importante que seja feito um mapeamento dos atores sociais estratégicos para as discussões sobre o tema. É importante também que haja um processo formativo, qualificando e promovendo integração de saberes locais, comunitários, técnicos e científicos, afinal, é importante conhecer para melhor avaliar e decidir.

Infelizmente, nos dias atuais, alguns processos de planejamento, negligenciam a importante fase de mobilização e os espaços de participação na construção de políticas públicas. E nessa direção, a partir das metodologias agregadas de outras áreas do conhecimento no período da vigência dos protocolos sanitários impostos pela incidência da pandemia Covid-19 é que este artigo propõe analisar o uso de videoconferências como instrumento metodológico para ampliar o acesso à informação, a transparência e a participação social no processo de elaboração de um PMSB.

A pandemia da COVID-19, doença que evidenciou uma crise sanitária, trouxe à sociedade um cenário de medo, incertezas e isolamento. O ambiente tecnológico apresentou o espaço digital como possibilidade de encontros e negócios, preservando o distanciamento físico necessários à época e mantendo os fluxos de acesso a informações, formações e decisões. As plataformas digitais ganharam maior visibilidade e antes, muito utilizadas na perspectiva de Educação à Distância (EaD), a partir de 2020 passaram a ser utilizadas por todas as áreas do conhecimento, das artes, aos trâmites jurídicos ou reuniões familiares.

A Videoconferência é um sistema de comunicação que permite às pessoas realizarem

chamadas por vídeo, vendo e ouvindo um número variável de pessoas simultaneamente, interagindo entre si. É uma tecnologia de telecomunicação que permite a interatividade em tempo real, podendo contar com ativos de apresentação, editores de som, vídeo e texto. Os avanços foram tantos, que mesmo com o debelar da situação de pandemia, a prática de videoconferência permaneceu ativa no mundo dos negócios e na vida das pessoas. Os planos de saúde, por exemplo, adotaram a modalidade da telemedicina e oferecem essa possibilidade para os seus assegurados, como nova opção, incluindo as sessões de terapia individual e em grupo que estão sendo amplamente utilizadas na modalidade virtual.

O uso das videoconferências como instrumento metodológico no processo de elaboração dos planos municipais de saneamento tem sua relevância pautada na transformação digital e na necessidade de ampliar o acesso à informação e a participação social. Um dos problemas destacados na mobilização social é o alcance de uma agenda comum a todos, algo que justifique e sustente deslocamentos de grandes distâncias, e estrutura logística de acolhimento num dado recorte temporal, um turno ou em dias, que podem, a depender das distâncias percorridas, transformar-se em dias de deslocamento e pernoite. Por outro lado, a videoconferência poderá ser uma alternativa para reduzir distâncias e avançar na condição formativa, qualificando equipes técnicas, na possibilidade de construção colaborativa e integrada de documentos compartilhados, e ainda na possibilidade de sediar consultas e audiências públicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para tratar das videoconferências como instrumento metodológico para elaboração dos planos municipais de saneamento básico, a abordagem adotada no trabalho contou com a realização de uma revisão bibliográfica técnico-científica e das observações de práticas em municípios brasileiros de 2020 aos dias atuais, em processo de elaboração dos seus planos municipais de saneamento básico.

Foram observados processos realizados por diferentes instituições, tanto de ensino com Instituto Federal da Bahia (IFBA) que celebrou cooperação com a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) e contribuiu para a elaboração de planos municipais de saneamento básico em 50 municípios baianos entre 2018 e 2021, e a Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) em cooperação com o Ministério das Cidades capacitando e auxiliando tecnicamente

93 municípios dos Estados da Bahia, Rio de Janeiro e Pernambuco, quanto pela Secretaria Estadual de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS/BA). Observou-se também o funcionamento de plataformas digitais livres e pagas, compreendendo a facilidade de acesso e manejo pelos diferentes atores sociais participantes. A delimitação territorial observada foram os municípios baianos em fase de elaboração de PMSB e o uso das videoconferências foram observadas em diferentes etapas do processo, compreendendo as especificidades para apresentação de documentos, para construção coletiva de diagnósticos e cenários e para a socialização de conceitos necessários para o entendimento do certame. Importante ressaltar que foram observados eventos realizados por videoconferência com finalização e também aqueles que por diversas questões não foram validados ou concluídos, visto que as causas e motivos para o não funcionamento da atividade via videoconferência também constituiu ambiente de observação dos limites deste instrumento metodológico.

Das videoconferências observadas, muito poucas deixaram de ser realizadas, percentualmente menos de 10% e entre as limitações foram identificadas: falhas no sinal de internet (intermitência ou queda); queda de energia elétrica, comprometendo a iluminação e a autonomia de bateria dos equipamentos. Entre os elementos que limitaram a quantidade de participantes, mas não chegaram a comprometer a realização da videoconferência, foram vistos: escolha do horário mais adequado para realização da atividade a distância, respeitando as práticas cotidianas dos participantes; e a disponibilização de pontos de acesso como escolas e associações com equipamento de transmissão para acesso dos participantes, isso no caso das localidades em zona rural, onde escolas e sedes de associações foram utilizadas para reunir grupos de participantes das atividades relacionadas ao processo de elaboração do PMSB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Usada em grande frequência a partir dos protocolos de distanciamento físico, impostos pela situação de pandemia, as videoconferências para a realização de eventos públicos na construção de políticas públicas, programa, projetos e ações que envolvem o interesse coletivo, extrapolam o processo de elaboração dos planos municipais de saneamento básico (IFBA,2023); (Plansanear, 2025) e permanecem como instrumento metodológico em evolução.

Muito antes da situação de pandemia, Prado (2011) já descrevia a importância da utilização da videoconferência como ferramenta para o desenho e implementação de políticas públicas. Na época, sua ênfase era para o processo penal e ações do judiciário e uma das

justificativas era a extensão territorial do país e a importância de brevidade para a tomada de decisão. Os desafios e limitações encontrados na análise dos documentos e da observação dos participantes, não mudaram muito e verificou-se a necessidade de qualificação do corpo técnico das prefeituras para que possam operacionalizar as plataformas digitais como Microsoft Teams, Google Meet e Zoom, entre outras; é importante também avançar na universalização do acesso digital, combatendo a oscilação do sinal de internet, e outras dificuldades técnicas pelos usuários em relação a ausência de acesso aos equipamentos de conexão e rede, a queda ou ausência de energia elétrica também limitam as condições de cidadania, e não se pode negligenciar a importância de programas sociais que subsidiem as tarifas sociais, ampliando o fornecimento de energia elétrica para todos. Aspectos como a limitação de tempo e adequação da ementa ao ambiente digital, precisam ser considerados de forma didática e pedagógica, valorizando a composição multidisciplinar de equipes técnicas que viabilizem um concepção de atuação integrada dos saberes, valorizando os diferentes perfis profissionais para a construção de políticas públicas.

A partir da observação da experiência do Programa IFBA Saneando a Bahia (IFBA, 2023), por ter concluído o processo de elaboração de planos municipais de saneamento em um maior número de município baianos até o momento e utilizado grande número de videoconferências em diferentes etapas do processo de elaboração dos produtos, demonstra que a participação de diferentes atores sociais por videoconferências pode estreitar distâncias e permitir maior participação de grupos historicamente excluídos, gerando ampliação do debate, transparência e maior acesso à informação.

Ao comparar os resultados com experiências presenciais e as atividades realizadas por videoconferência, é possível destacar que a autonomia dos acessos em horários mais acessíveis à realidade de cada indivíduo, com o uso de atividades assíncronas torna-se grande vantagem. As atividades quando síncronas precisam respeitar a realização dentro de um limite de horas menor, visto que a utilização de telas por grande período, não contribui para aquisição do conteúdo e muita informação pode deixar de ser aproveitada pelo veículo de transmissão. Em média, as atividades síncronas, à distância, conseguem manter audiência produtiva por até 2 horas de duração, mais tempo que isso, já compromete, inclusive, o uso de dados móveis para aqueles que utilizam aparelho celular para acompanhar as atividades. Em destaque a participação a distância pode ser complementar à presencial, viabilizando a interação dos ambientes virtual e presencial, desde que no ambiente híbrido haja facilitadores nos dois

ambientes, viabilizando o encontro e tornando acessíveis as informações e o tempo de debate para todos que desejarem.

Entre os aspectos legais e metodológicos para consolidar o uso de videoconferências nos PMSB, é possível citar uma das exitosas experiências com videoconferência ocorreu no processo de elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Jequié-BA, que contou com o apoio técnico da AJDV Engenharia S.A. em execução técnica à Secretaria Estadual de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS/BA), tendo como fonte de recursos, o Ministério do Desenvolvimento Regional Caixa/OGU Federal e prazo de execução de 31/12/2019 a 30/04/2023. Durante a elaboração deste plano, por conta da situação da pandemia COVID-19, houve alteração metodológica das ementas que antes previam eventos presenciais. A realização de videoconferência pela plataforma Zoom, teve significativa participação tanto dos membros dos comitês de coordenação e executivo, quanto da população geral, os documentos de cada etapa foram discutidos e ajustados coletivamente, bem como, os eventos setoriais para diagnóstico e discussão dos programas, projetos e ações com a sociedade. O perfil da página da Prefeitura Municipal de Jequié-BA em uma das redes sociais (vide Figura 1) possui mais de cem mil seguidores, o que possibilitou chamadas informativas nas redes sociais, divulgação prévia dos eventos e a transmissão de *stories* (diversas publicações feitas pelos usuários) evidenciando a realização de cada etapa.

Figura 1. Perfil Oficial da Prefeitura Municipal de Jequié-BA no Instagram
Fonte: Jequié, 2025.

A vinculação das informações a respeito do PMSB além de dar ciência das ações e recursos públicos, qualifica saberes e atinge um maior número de pessoas, empregando baixo custo de investimentos financeiros e gerando menos resíduos por não envolver uso dos cartazes, *folders* e panfletos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que as videoconferências permitem a participação social, a representatividade dos municípios, o envolvimento dos atores e redução dos custos logísticos. Em contraponto, constatou-se a necessidade de qualificação do corpo técnico das prefeituras com relação a operacionalização e divulgação dos eventos nas mídias digitais, baixa qualidade do sinal de internet em determinadas regiões e limitação da participação em algumas plataformas de *streaming* quando a população possuía dificuldade de escrita e/ou leitura. Atualmente, com o avanço do processo de transformação digital, adaptar-se às mídias digitais tem se tornado regra e não exceção, portanto a discussão para implementação das videoconferências em PMSBs avança como proposta para resolver os entraves que limitam a democratização do acesso à informação e ao processo decisório, podendo ser utilizada ainda de forma híbrida, juntamente com os eventos presenciais, ampliando o alcance das discussões a respeito da importante política pública de saneamento básico.

Recomenda-se que Municípios e órgãos responsáveis pela regulamentação do saneamento, ao instituir a metodologias para participação popular através das videoconferências, garantam o acesso digital à população por meio de plataformas que facilitem a interação dos participantes pensando em suas limitações (escrita ou visual), permitindo assim, maior interação e inclusão. Outro ponto importante, refere-se a importância de disponibilização de técnico em informática auxiliando a população na utilização das plataformas, instalação de aplicativos, tutoriais para acesso com celular ou computador, replicação do conteúdo em plataformas de *streaming*, assim como, na instalação de periféricos em eventos presenciais, permitindo que os participantes interajam de forma intuitiva.

Por fim, a realização de pesquisas futuras, como a avaliação de impacto da participação à distância na qualidade dos planos e na implementação das ações previstas são necessárias como forma de mensurar quais pontos necessitam ser melhorados em busca da ampla e efetiva participação popular.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos ao Projeto Plansanear e ao Ministério das Cidades (MCID), ao Projeto IFBA Saneando a Bahia e à Secretaria Estadual de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS/BA) pela oportunidade de vivenciar a metodologia e pelas

oportunidades disponibilizadas para acesso a todo material técnico, e às demais instituições fomentadoras de recursos, para que os planos municipais de saneamento básico pudessem ser elaborados com apoio técnico prestados aos municípios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Manual para Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) para Municípios de Pequeno Porte, com até 20.000 habitantes. Brasília, 2028. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/programa-interaguas/manual_de_aplicacao_pmsb.pdf>. Acesso em: 31/03/2025.

BRASIL.Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. "Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências". Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm>. Acesso em: 31/03/2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. "Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências". Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 29/03/2025.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Termo de Referência para Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico. Versão 2018. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/web/guest/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica>. Acesso em: 31/03/2025.

BRASIL. Eu quero me exercitar: O que significa ter saúde. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-brasil/eu-quero-me-exercitar/noticias/2021/o-que-significa-ter-saude>. Acesso em:26/03/2025.

BRASIL Instituto Federal da Bahia. Programa IFBA Saneando a Bahia (PISA), 2023. https://portal.ifba.edu.br/@@search?Subject%3Alist=PISA. Acesso em:26/03/2025.

COSTA, R. N. P, PINHEIRO, E. M. O cenário de saneamento básico no Brasil. Revista Eletrônica Educação Ambiental em Ação. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3523>. Acesso em: 28/03/2025.

DAMASCENO. A. P. D. Regência das águas - Participação social e gestão dos recursos hídricos. 2020. Tese (Doutorado em Sociologia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2020.

JEQUIÉ. Perfil Institucional da Prefeitura Municipal de Jequié-BA. Disponível em: <https://www.instagram.com/prefeiturajequie?igsh=ZXA1NHdwMDNkdWpt. Acesso em: 31/03/2025.

PLANSANEAR. Projeto Plansanear. Nossa atuação. Disponível em: <https://www.plansanear.com.br/>. Acesso em: 29/03/2025.

PRADO, Wagner Junqueira. A videoconferência como política pública. Rev. Bras. de Políticas Públicas, Brasília, v. 1, n. 2, p. 75-110, jul./dez. 2011.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114393

ANALISES DE CRITÉRIOS MORFOMÉTRICOS E HIDROLOGICOS EM BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

ANÁLISIS DE CRITERIOS MORFOMÉTRICOS E HIDROLÓGICOS EN CUENCAS DE APORTACIÓN DE PRESAS SUBTERRÁNEAS

ANALYSIS OF MORPHOMETRIC AND HYDROLOGICAL CRITERIA IN CONTRIBUTION BASINS OF UNDERGROUND DAMS

João Augusto Marques da Silva[1], Maria Alaide dos Santos[2], Rita de Cássia Braga Assunção[3] e Osvaldo Nogueira de Souza Neto[4].

[1] Engenheiro Civil, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, jonh.augusto@hotmail.com, 0009-0000-3024-3482;
[2]Graduanda em C&T, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, maria.santos62469@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0009-6354-2839;
[3]Graduanda em C&T, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, rita.assuncao@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0000-7907-3277;
[4]Prof. Doutor, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, osvaldo.neto@ufersa.edu.br, 0000-0002-6256-4333.

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural.

.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Lajes/RN, região semiárida caracterizada por longos períodos de estiagem. Foram analisados parâmetros como fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (Ic), além da organização dos canais de drenagem, conforme a proposta de Strahler. Os resultados indicaram que as sub-bacias apresentam baixa capacidade de produzir enchentes, o que favorece a adoção de técnicas de captação e armazenamento hídrico. A análise mostrou que a maioria das BS foi construída em canais de 4ª, 5ª e 6ª ordens, proporcionando maior área de contribuição e eficiência no acúmulo de água no subsolo. A tecnologia se apresenta como uma alternativa viável para o semiárido, pois associa baixo custo e à possibilidade de garantir água por longos períodos. Contudo, ressalta-se a necessidade de integrar outras variáveis, como uso e ocupação do solo, dados climáticos, temperatura e precipitação, para uma análise mais precisa da eficiência das BS no contexto regional.

Palavras-chave: Barragens subterrâneas, Semiárido, Recursos hídricos, Sustentabilidade.

RESÚMEN

Este estudio se realizó en el municipio de Lajes, Rio Grande do Norte, una región semiárida caracterizada por largos períodos de sequía. Se analizaron parámetros como el factor de forma (a), el coeficiente de compacidad (a) y el índice de circularidad (a), así como la organización de los canales de drenaje, según lo propuesto por Strahler. Los resultados indicaron que las subcuencas tienen una baja capacidad de producción de inundaciones, lo que favorece la adopción de técnicas de captura y almacenamiento de agua. El análisis mostró que la mayoría

de las subcuencas se construyeron utilizando canales de 4.º, 5.º y 6.º orden, lo que proporciona una mayor área de contribución y una acumulación eficiente de agua subterránea. Esta tecnología se presenta como una alternativa viable para la región semiárida, ya que combina bajo costo y la posibilidad de garantizar agua durante largos períodos. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de integrar otras variables, como el uso y la ocupación del suelo, los datos climáticos, la temperatura y la precipitación, para un análisis más preciso de la eficiencia de las subcuencas en el contexto regional.

Palabras clave: Presas subterráneas, Semiárido, Recursos hídricos, Sostenibilidad.

ABSTRACT

This study was conducted in the municipality of Lajes, Rio Grande do Norte, a semiarid region characterized by long periods of drought. Parameters such as shape factor (a), compactness coefficient (a), and circularity index (a), as well as the organization of drainage channels, as proposed by Strahler, were analyzed. The results indicated that the sub-basins have a low flood-producing capacity, which favors the adoption of water capture and storage techniques. The analysis showed that most sub-basins were built using 4th-, 5th-, and 6th-order channels, providing a larger contribution area and efficient groundwater accumulation. This technology presents itself as a viable alternative for the semiarid region, as it combines low cost and the possibility of guaranteeing water for long periods. However, the need to integrate other variables, such as land use and occupation, climate data, temperature, and precipitation, is emphasized for a more accurate analysis of the efficiency of sub-basins in the regional context.

Keywords: Underground dams, Semi-arid region, Water resources, Sustainability

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por longos períodos de escassez hídrica em virtude das irregularidades climáticas. Essa má distribuição das chuvas termina sendo um fator preponderante na realidade social e econômica dessa região, onde ficam os piores indicadores sociais do Brasil.

Os agricultores do semiárido estão sempre enfrentando riscos de perdas totais ou parciais de suas safras. Para vencer essas limitações, é imprescindível que se aumente a eficiência do aproveitamento de água das chuvas que caem nas unidades de produção agrícola.

O desenvolvimento da pesquisa, se constitui a partir de investigações em barragens subterrâneas construídas no município de Lajes/RN.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram caracterizadas (Tabela 1) as variáveis fisiográficas de área de drenagem (*A*),

expressa em (km²); perímetro (P), expresso em (km); fator de forma (Kf); coeficiente de compacidade (Kc); densidade de drenagem (Dd) expressa em (km km²); índice de circularidade (Ic); tempo de concentração (Tc) calculada pela equação de Kirpich; características morfométricas: declividade mínima, máxima, média e a amplitude altimétrica máxima das sub-bacias, e por fim, o modelo de ordem de bacias hidrográficas proposto por Strahler.

Tabela 1. Caracterização fisiográfica das sub-bacias hidrográficas.

Sub - bacia	A (km^2)	P (km)	Ordem - Strahler	Comprimento do maior fluxo (km)	(K_f)	(K_c)	(I_c)	D_d (km/km^2)	T_c (h)	T_p (h)
SUB - BACIA H	11,359	26,734	5ª	9,8322	0,1175	2,2210	0,1998	0,5375	1,73	1,04
SUB - BACIA B	8,1835	17,001	5ª	6,1986	0,2130	1,6640	0,3559	0,2875	1,83	1,10
SUB - BACIA L	4,9962	12,566	6ª	4,1135	0,2953	1,5741	0,3977	0,6565	1,26	0,76
SUB - BACIA D	9,8994	19,588	6ª	6,5917	0,2278	1,7432	0,3243	0,3323	1,37	0,82

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Com relação aos parâmetros geométricos da caracterização fisiográfica, quanto as áreas das sub-bacias, Tucci (2009), a área da bacia expressa relevantemente sua potencialidade hídrica e resposta hidrológica, uma vez que, quanto maior a área, menor a chance de ocorrer picos de enchentes, pois maior será o tempo para que toda a bacia contribua para a saída da água após a ocorrência de precipitações.

O que de fato se comprova na análise realizada para as sub-bacias analisadas com relação as suas áreas, em ordem decrescente, tem-se a respectiva sequência: Sub-bacia H; Sub-bacia D; Sub-bacia B e Sub-bacia L, que quando relaciona-se com o tempo de concentração (Tc) obtido para cada sub-bacia, demonstra que o tempo que a precipitação leva para atingir o exutório é relativamente alto para o tamanho das áreas, esse fato corrobora com os parâmetros obtidos para o relevo, que em sua maior parte é classificado como sendo de declividade plano e suave-ondulado, declividades mais acentuadas não apresentam expressiva relevância para a área de estudo, o que contribui diretamente para um escoamento superficial mais lento, favorecendo ao aumento da taxa de infiltração da água no solo.

Por consequência da pouca elevação no relevo na região, atrelado aos aspectos como fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (Ic), é possível

afirmar que as sub-bacias analisadas possuem baixa propensão a enchentes, por exemplo a sub-bacia H apresenta um formato alongado, onde a água não contribui ao mesmo tempo para o exutório, e isto corrobora com o que já foi dito anteriormente, ou seja, se torna pouco propícia a ocorrência de enchentes.

Com relação a densidade de drenagem (Dd), as Dd obtidas para as sub-bacias B e D respectivamente de 0,2875 ($km/km2$) e 0,3323 ($km/km2$) são considerados bacias com drenagem pobre, pois possuem valores < 0,5 ($km/km2$), já para as sub-bacias H e L, os valores obtidos para Dd foram de respectivamente 0,5375 ($km/km2$) e 0,6565 ($km/km2$), sendo assim consideradas bacias com drenagem regular, pois encontram-se no intervalo $0,5 \leq Dd < 1,5$ ($km/km2$), isso demonstra que existe baixa capacidade para formação de novos canais de drenagem devido a degradação pelo escoamento superficial ser menos agressivo no relevo.

A altitude média obtida para as sub-bacias B, D, H e L foi de 201,3; 231,8; 322,9; e 199,4 m, respectivamente. Onde quanto maior a variação nos valores de altitude mais evidente será a presença de relevo montanhoso, o que, consequentemente, influenciará na precipitação, na temperatura do ar e no escoamento das sub- bacias, percebe-se nos valores obtidos que essa variação não é tão evidenciada, devido a maior parte da área de interesse apresentar aspectos de declividade pouco acentuados.

O Fator de Forma (Kf), (Equação 1) é responsável por fornecer um parâmetro que indica a tendência a enchentes de uma bacia. Este fator é obtido a partir da relação entre a largura média e o $Laxial$ da bacia .

$$K_f = \frac{A}{L^2} \tag{1}$$

Kf = o fator de forma (adimensional);

A = a área de drenagem (km²);

L = o comprimento axial da bacia (km).

I_c = 1,00 a 0,75 - sujeita a enchentes.
I_c = 0,75 a 0,50 - tendência mediana.
I_c < 0,50 - não sujeita a enchentes.

O Coeficiente de Compacidade (Kc) é determinado a partir das variáveis área (A) e

perímetro (P), sendo estes obtidos após a delimitação automática das sub-bacias.

$$Kc = 0{,}28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Kc = o coeficiente de compacidade (adimensional);

P = o perímetro da bacia (km);

A = a área de drenagem (km²).

K_c – 1,00 a 1,25 – bacia com alta propensão a grandes enchentes.
K_c – 1,25 a 1,50 – bacia com tendência mediana a grandes enchentes.
K_c > 1,50 – bacia não sujeita a grandes enchentes.

Índice de circularidade (Ic), (Equação 3) apresenta certa semelhança com o Kc e tende a unidade à medida que a bacia se desenha semelhante a uma forma circular. Esse índice é calculado pela relação entre a área da bacia e a área de um círculo de P igual ao da bacia.

$$Ic = \frac{12{,}57 * A}{P^{\ 2}} \quad (3)$$

Ic = o índice de circularidade (adimensional);

A = a área de drenagem (km²);

P = o perímetro (km).

I_c = 1,00 a 0,75 - sujeita a enchentes.
I_c = 0,75 a 0,50 - tendência mediana.
I_c < 0,50 - não sujeita a enchentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do mapa (Figura 1) foi possível localizar a posição das barragens subterrâneas na área de estudo, constatar que algumas das BS estavam localizadas fora da área de interesse, sendo assim o seu número reduzido para 20 barragens.

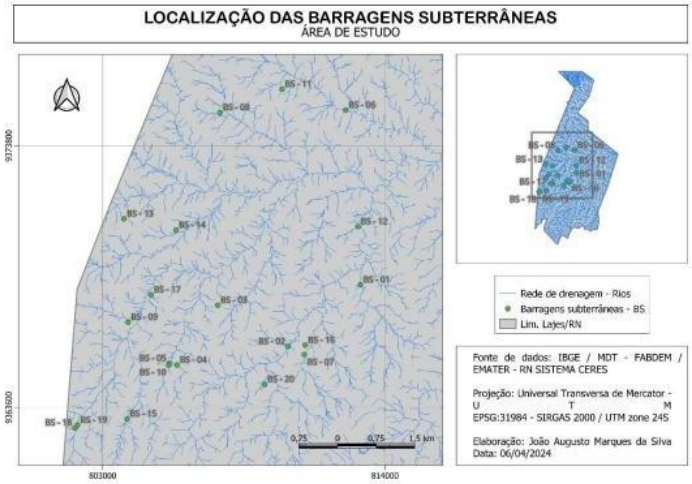


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Seguindo o refinamento das informações, foi aplicado outro filtro quanto ao número de barragens e sub-bacias analisadas nos parâmetros de caracterização fisiográfica. Esse filtro se justifica pela vasta gama de informações obtidas nesse tipo de estudo, tornando recomendada uma redução do número de unidades avaliadas para garantir a objetividade da pesquisa. Foram considerados aspectos como posição das barragens nas sub-bacias, detalhamento do tipo e dimensão do barramento, profundidade do poço e fatores fisiográficos, como fator de forma, ordem do rio, características geométricas e morfológicas. A partir disso, foram selecionadas quatro barragens em suas respectivas sub-bacias B, D, H e L, ilustradas no mapa (Figura 2).

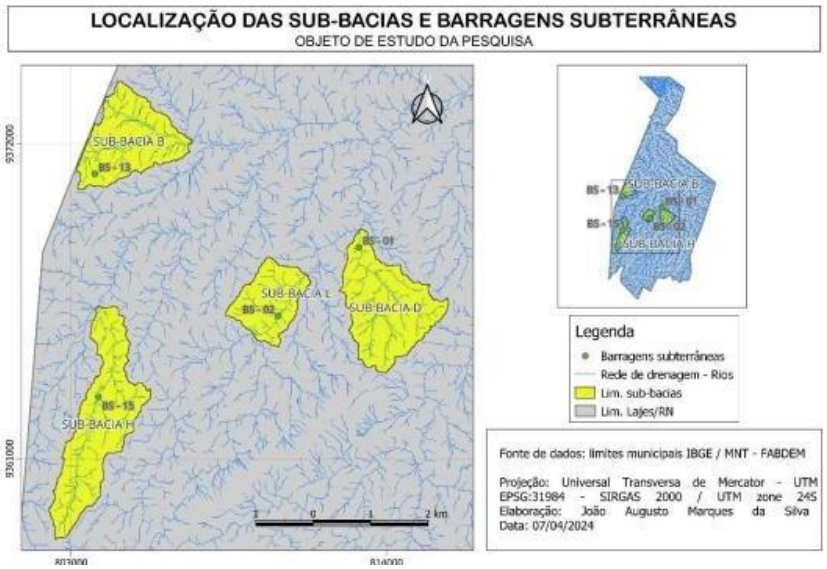


Figura 2. Mapa de localização das sub-bacias e barragens subterrâneas.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem podendo receber tributários das ordens inferiores e assim sucessivamente, até a última ordem que corresponde à ordem geral da bacia considerada, refletindo o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem.

A partir da definição dos elementos estudados, foi possível caracterizar fisiograficamente as sub-bacias e realizar uma análise detalhada dos parâmetros das barragens subterrâneas, considerando sua posição em cada sub-bacia, a área de contribuição, acumulação, declividade do curso d'água, taxa de infiltração do solo, entre outros aspectos.

O modelo de hierarquia hídrica de Strahler permite analisar a relação entre a rede de drenagem (Figuras 3,4,5 e 6) e a ordem dos canais nas sub-bacias. A área de contribuição das barragens subterrâneas é um parâmetro importante para avaliar sua eficiência e, a partir dessa análise, identificar, por meio de mapas, locais adequados para a construção de futuras barragens, considerando a ordem dos canais de drenagem.

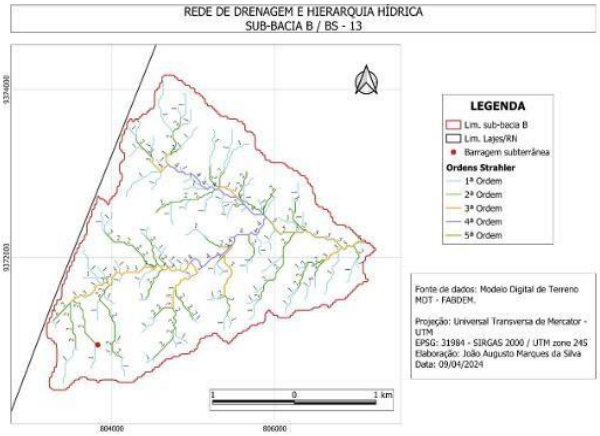


Figura 3. Rede de drenagem e hierarquia hídrica da sub-bacia B.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

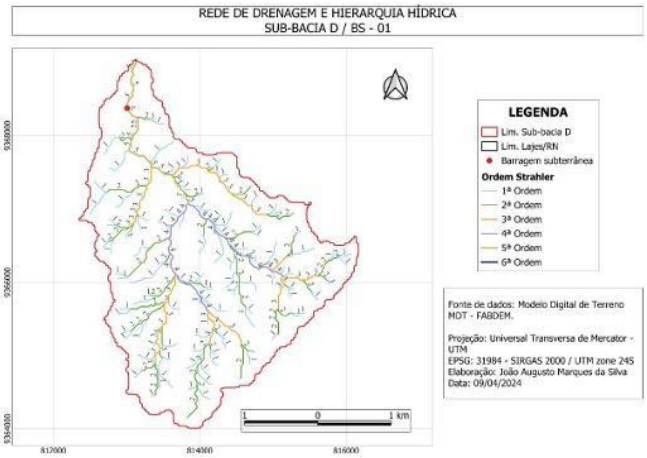


Figura 4. Rede de drenagem e hierarquia hídrica da sub-bacia D.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

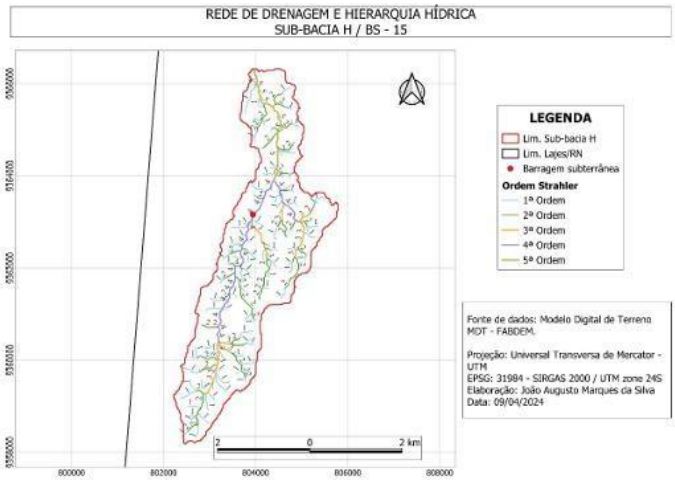


Figura 5. Rede de drenagem e hierarquia hídrica da sub-bacia H.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

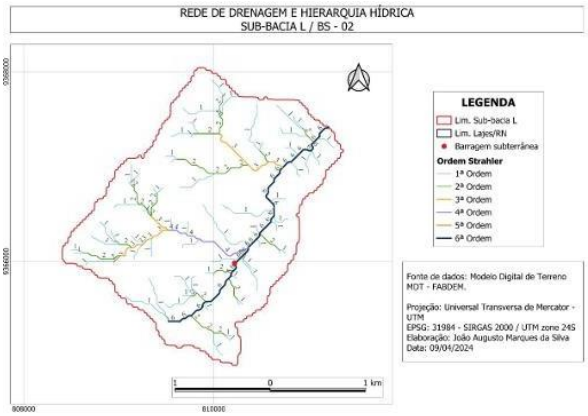


Figura 6. Rede de drenagem e hierarquia hídrica da sub-bacia L.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

As barragens subterrâneas nas sub-bacias B, D, H e L demonstram variações em relação à hierarquia dos canais de drenagem. A sub-bacia L, que se encontra em um canal de 1ª ordem, possui uma área de contribuição menor, limitando seu potencial de armazenamento de água. Por outro lado, as sub-bacias H e B, que estão situadas em canais de 5ª ordem, possuem uma área de drenagem mais extensa, o que favorece o acúmulo de água no subsolo. A sub-bacia D, localizada em um canal de 6ª ordem, apresenta a maior área de contribuição, tornando-a a mais vantajosa para a eficiência das barragens subterrâneas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise exclusiva dos parâmetros Kf, Kc e Ic resulta em um indicativo de que as sub-bacias apresentam baixa capacidade de produzirem enchentes. Porém, diante desta consideração é preciso que se tome a devida atenção para a análise de outros parâmetros que tornam ainda mais precisas as afirmações, dentre estes parâmetros estão, como uso e ocupação do solo, dados de clima, temperatura, precipitação.

As barragens subterrâneas analisadas se mostram eficientes quanto a sua construção em canais de ordem 4, 5 e 6, sendo apenas uma delas construída em um canal de ordem 1, limitando assim a sua área de acumulação de água no subsolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; BESKOW, S. Hidrologia de Superfície: princípios e aplicações. 2ª Edição. 531p. Editora UFLA, 2020.

SILVA. J. A. M. da; COSTA. M. da C.; FERREIRA. R. C.; NETO. O. N. de S. Análise multitemporal da degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirem por de sensoriamento remoto. 2018. Disponível em: Acesso em: 11 de abr. 2024.

STRAHLER, A. N. Hyposometric analysis of erosional topography. Geologic Society American Bulletin, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10492. Acesso em: 10 de abr. 2024.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. Revista Brasileira Multidisciplinar, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236. Disponível em: https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/236. Acesso em: 15

abr. 2024.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943p.

WENZEL, Denise Aline; MORGAN ULIANA, Eduardo; TERRA DE ALMEIDA, Frederico; PACHECO DE SOUZA, Adilson; DOS SANTOS ALVES MENDES, Múcio André; DA SILVA SOUZA, Lucas Gerônimo. Características fisiográficas de sub- bacias do médio e alto Rio Teles Pires - MT. Revista de Ciências Agro-Ambientais, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 123–131, 2018. DOI: 10.5327/rcaa.v15i2.2193. Disponível em: https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/2193. Acesso em: 14 abr. 2024.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. Disponível em: Acesso em: 15 abr. 2024.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114427

Aplicações de Tecnologias Digitais no Monitoramento de Água e Saneamento Rural: A Integração da IoT em Cisternas no Brasil

Aplicaciones de Tecnologías Digitales en el Monitoreo de Agua y Saneamiento Rural: La Integración de IoT en Cisternas en Brasil

Applications of Digital Technologies in Rural Water and Sanitation Monitoring: The Integration of IoT in Cisterns in Brazil

João Pedro de Brito Matias[1] e Miriam Cleide Cavalcante de Amorim[2]

[1]Discente, UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, joao.britomatias@discente.univasf.edu.br, 0009-0005-6974-5443;
[2]Doutora, UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, miriam.cleide@univasf.edu.br, 0000-0003-0887-7790;

Eixo Temático 09 – Tecnologias Digitais no Saneamento Rural: A integração de IoT (Internet das Coisas) no saneamento rural.

Eje Temático 09 – Tecnologías Digitales en el Saneamiento Rural: La integración de IoT (Internet de las Cosas) en el saneamiento rural.

Thematic Axis 09 – Digital Technologies in Rural Sanitation: The integration of IoT (Internet of Things) in rural sanitation.

RESUMO

Este artigo realiza uma prospecção tecnológica sobre o uso de **tecnologias digitais** no **monitoramento de água** e **saneamento rural** no Brasil, com ênfase em **cisternas** de captação de água de chuva. A partir da combinação de palavras-chave em bases de dados científicas e de patentes (SciELO, CAPES, INPI, SPB), buscou-se identificar softwares com tendências emergentes na integração da **Internet das Coisas (IoT)** para melhorar o acesso, a qualidade e a gestão da água em comunidades rurais. Os resultados revelam baixo registro de patentes e ainda pouca produção acadêmica diretamente articulada ao tema, apontando oportunidade para inovação tecnológica e social neste setor.

Palavras-chave: Saneamento rural, Tecnologias digitais, Internet das Coisas, Monitoramento de água, Cisternas

RESÚMEN

Este artículo realiza una prospección tecnológica sobre el uso de **tecnologías digitales** en el **monitoreo de agua** y el **saneamiento rural** en Brasil, con énfasis en **cisternas** de captación de agua **de lluvia**. A partir de la combinación de palabras clave en bases de datos científicas y de patentes (SciELO, CAPES, INPI, SPB), se buscó identificar softwares con tendencias emergentes en la integración del **Internet de las Cosas (IoT)** para mejorar el acceso, la calidad y la gestión del agua en comunidades rurales. Los resultados revelan un bajo registro de patentes y aún poca producción académica directamente articulada al tema, lo que señala una oportunidad para la innovación tecnológica y social en este sector.

Palabras clave: Saneamiento rural, Tecnologías digitales, Internet de las Cosas, Monitoreo de agua, Cisternas

ABSTRACT

This article conducts a technological foresight on the use of **digital technologies** in **monitoring water** and **rural sanitation** in Brazil, with an emphasis on rainwater harvesting **cisterns**. Using keyword combinations in scientific and patent databases (SciELO, CAPES, INPI, SPB), the study sought to identify software with emerging trends in the integration of the **Internet of Things (IoT)** to improve water access, quality, and management in rural communities. The results reveal a surprisingly low number of patent registrations and very limited academic production directly related to the subject, highlighting a clear opportunity for impactful technological and social innovation in this vital sector.

Keywords: Rural sanitation, Digital technologies, Internet of Things, Water monitoring, Cisterns

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável nas áreas rurais brasileiras ainda é um obstáculo relevante, especialmente em regiões do semiárido, onde a escassez hídrica prejudica diretamente a saúde e o desenvolvimento comunitário. Tecnologias sociais como as cisternas de placa têm representado uma solução eficaz para o abastecimento de água nesses contextos, sendo reconhecidas, entre outros autores, por Tucci (2008), Sepúlveda et al. (2025) e De Marque et al. (2021) como alternativas que promovem inclusão, participação comunitária e sustentabilidade ambiental. O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) , com mais de um milhão de reservatórios instalados, evidencia o potencial de políticas públicas voltadas ao saneamento rural e à convivência produtiva com o semiárido, conforme Tavares et al. (2024) e Albuquerque dos Santos et al. (2023).

Apesar dos avanços, desafios na manutenção e na qualidade da água armazenada persistem. Estudos recentes apontam com preocupação para o descumprimento dos padrões de potabilidade em boa parte das cisternas avaliadas, sugerindo a adoção de medidas educativas e programas de monitoramento mais eficientes. Batista et al. (2024) destaca a importância do engajamento comunitário e da capacitação técnica para garantir o uso seguro da água e aumentar a efetividade das tecnologias sociais em diversos territórios.

Nesse contexto, o uso de tecnologias digitais passa a ser uma tendência promissora. O monitoramento automatizado, baseado na Internet das Coisas (IoT), tem sido testado para

controle do volume e dos parâmetros físico-químicos da água em reservatórios rurais, com resultados positivos tanto no Brasil quanto internacionalmente. Renzcherchen et al. (2025) aponta para o papel disruptivo da IoT no ambiente rural, sobretudo da internet 5G, permitindo o desenvolvimento de fazendas inteligentes e sistemas autônomos de gestão da água. No Brasil, essa integração ainda é prematura, mas tem um enorme potencial para modernizar regiões vulneráveis e ajudar o país a cumprir suas metas de desenvolvimento sustentável (ODS).

Portanto, este artigo revê as abordagens de tecnologias sociais para o acesso à água em áreas rurais, ampliando o debate para o papel das tecnologias digitais no monitoramento e gestão de cisternas, e fundamenta sua análise na literatura nacional e internacional recente, visando contribuir para a construção de políticas públicas inovadoras e inclusivas no saneamento rural brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem exploratória e descritiva, empregando uma prospecção tecnológica sobre o uso de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural, com foco na integração da Internet das Coisas (IoT) em cisternas. O levantamento ocorreu entre janeiro de 2015 e setembro de 2025, abrangendo pesquisas bibliográficas, análise documental e cruzamento de dados em bancos de patentes, bases acadêmicas e softwares públicos.

Definição das Palavras-Chave

Para esta prospecção tecnológica, foram definidas palavras-chave que refletem aspectos centrais do tema. As palavras foram selecionadas visando cobrir os conceitos de água para consumo, monitoramento da água a partir da IoT, gestão digital de cisternas e tecnologias sociais aplicadas no meio rural.

As palavras-chave, bem como seus objetivos estão dispostos a seguir:

Tabela 1 – Palavras-Chave da Prospecção Tecnológica

Palavra-Chave	Objetivo na Pesquisa
Água para consumo	Mapear tecnologias e pesquisas voltadas à água potável
Monitoramento de água	Identificar dispositivos voltados ao monitoramento
Software para gestão de cisternas	Avaliar soluções digitais para gestão de cisternas
Acesso à água	Mapear tecnologias e políticas para ampliar acesso
Qualidade da água	Verificar estudos e patentes sobre métodos de controle
Internet das Coisas (IoT)	Investigar aplicações IoT em cisternas e água
Cisternas rurais	Avaliar tecnologias sociais e tradicionais
Captação de água de chuva	Mapear soluções inovadoras de captação
Reservatórios	Analisar métodos e softwares de controle
Tecnologias sociais	Identificar inovações aplicáveis a comunidades

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Combinação das Palavras-Chave e Bases de Dados

Para estruturar a prospecção, as palavras-chave foram combinadas em dois níveis, que aumentam o grau de especificidade e foco da busca:

Tabela 2 – Combinação das Palavras-Chave

Nível	Descrição da Combinação
Nível 1 — Combinações Fundamentais	Combinações de 2 termos para mapear áreas amplas e conexões iniciais entre os conceitos.
Nível 2 — Combinações Específicas	Combinações de 3 termos para aproximar o foco do tema de interesse tecnológico e social.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A pesquisa foi realizada nas seguintes bases, contemplando tanto produção acadêmica quanto inovação tecnológica (patentes e software):

- Bases acadêmicas: SciELO, CAPES
- Base de patentes: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Software Público Brasileiro (SPB)

Procedimentos para a Prospeção

Conforme mostra a Figura 1, o processo iniciou-se com a **(1) Pesquisa Prospectiva**, na qual foram selecionadas bases de dados estratégicas, incluindo o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e o Software Público Brasileiro (SPB) para o levantamento de patentes e softwares, e as plataformas SciELO e CAPES para a prospecção de produções científicas. Em seguida, foi definida a **(2) Estratégia** de busca, utilizando combinações de palavras-chave em dois níveis de complexidade (Nível 1 com dois termos e Nível 2 com três termos), a fim de garantir uma varredura ampla e, ao mesmo tempo, específica do campo de estudo.

Posteriormente, procedeu-se à **(3) Aplicação de Filtros**, uma etapa de triagem essencial para refinar os resultados. Foram estabelecidos dois critérios principais: o recorte temporal dos últimos dez anos, para focar nas tecnologias mais recentes, e a exclusão de itens duplicados, para assegurar a unicidade dos registros. Os dados selecionados após essa filtragem foram então organizados e consolidados em uma base de dados própria para a pesquisa **(4) Dados Filtrados.**

Com a base de dados estruturada, a pesquisa avançou para a fase de **(5) Resultados**, centrada na análise pormenorizada dos dados obtidos. Finalmente, na etapa de **(6) Conclusões**, foi realizada a discussão aprofundada dos achados, interpretando as informações levantadas para identificar os principais avanços, desafios e oportunidades tecnológicas no setor.

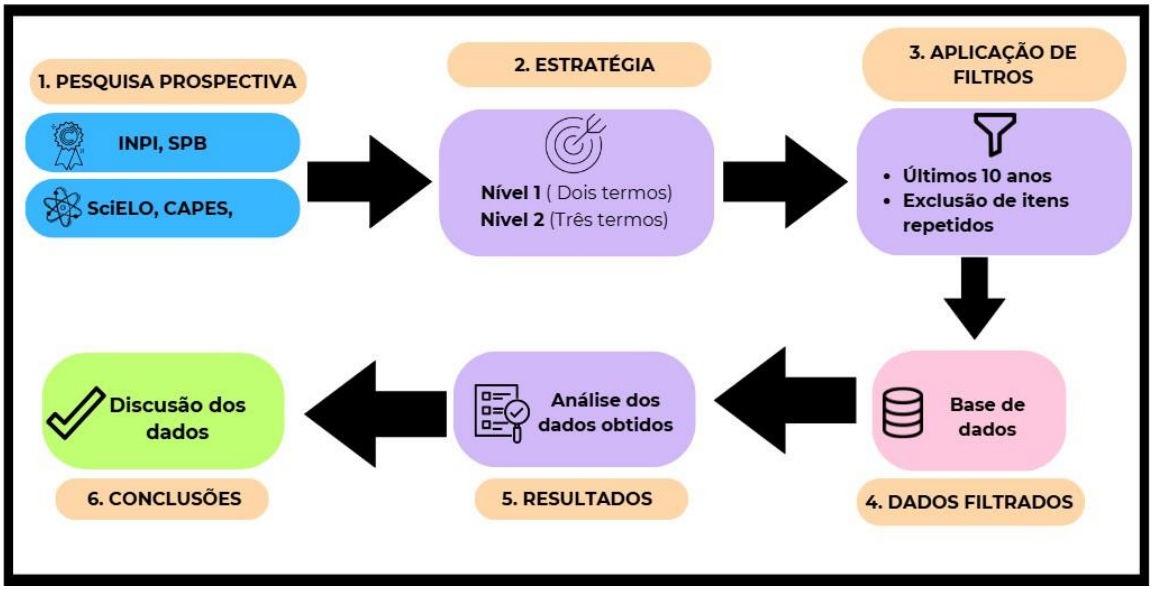


Figura 1. Fluxograma das etapas da prospecção tecnológica.
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise inicial contemplou a prospecção tecnológica com combinações tanto fundamentais (nível 1, duas palavras-chave) quanto específicas (nível 2, três palavras-chave) sendo esta a (Etapa 2) da Figura 1.

Foi notado que as combinações específicas de três termos agrupam condições mais restritas e, portanto, refletem melhor as tendências reais, lacunas e possibilidades de inovação pertinentes ao contexto proposto. As combinações mais específicas, as de quatro ou mais termos, não foram incluídas neste trabalho por não apresentarem resultados no levantamento dos dados.

Concluída a etapa de busca, procedeu-se à filtragem dos dados (Etapa 3), na qual os resultados foram refinados a partir da exclusão de duplicatas e da delimitação do período de análise aos últimos dez anos.

Resultados – Combinações Fundamentais

Após a consolidação dos dados filtrados (Etapa 4), a análise dos resultados (Etapa 5) revelou que, entre as combinações de dois termos, apenas buscas relacionadas a temas "clássicos" apresentaram alguma densidade de produção científica ou patentária. Por exemplo, observando a Tabela 3, percebe-se que a combinação das palavras-chave "Água para consumo + Monitoramento de água" retornou 121 publicações no CAPES, 18 na SciELO, um registro no INPI e dois registros no SPB. "Tecnologias sociais + reservatórios" mostrou 13 publicações no CAPES, enquanto as demais combinações, sobretudo aquelas que incluem IoT, cisternas rurais ou software para gestão de cisternas, resultaram em total ausência de registros nas bases consultadas. Isto demonstra que, do ponto de vista de pesquisa aplicada, inovação tecnológica e desenvolvimento de softwares públicos, ainda são áreas pouco exploradas.

Tabela 3 – Combinações Fundamentais de Palavras-chave

Combinação de termos	INPI	SPB	SciELO	CAPES
IoT + Cisternas Rurais	0	0	0	0
Água para consumo + Monitoramento de água	1	2	18	121
Tecnologias sociais + Reservatórios	0	0	0	13
Captação de água de chuva + IoT	0	0	0	0
Software para gestão de cisternas + Cisternas Rurais	0	0	0	0
Qualidade da água + IoT	0	0	1	10

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Das duas soluções encontradas no banco de dados do Software Público Brasileiro, o I3GEO e o GSAN, nota-se que, embora relevantes para o setor de saneamento em um contexto amplo, seus escopos não se alinham aos objetivos do presente estudo. O I3GEO é uma plataforma de geoprocessamento em macroescala, enquanto o GSAN é um sistema de gestão para grandes companhias de saneamento. Nenhuma das ferramentas é projetada para o monitoramento pontual e em tempo real de sistemas descentralizados, como cisternas rurais com tecnologia IoT, foco desta pesquisa.

Enquanto a única patente identificada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) vinculada ao tema, refere-se a um "Sistema de Informações (SI) no âmbito do monitoramento da qualidade da água para consumo humano", aplicado especificamente em um campus universitário. Embora essa tecnologia contemple o monitoramento digital da água, seu âmbito de aplicação não é focado inteiramente no meio rural.

Mesmo assim, essa patente reforça a viabilidade técnica do monitoramento automatizado e digital que pode ser adaptado para o contexto das cisternas rurais, demonstrando o potencial e a necessidade de projetos que adaptem essas soluções para o ambiente rural de forma acessível e sustentável. A inexistência de outras patentes e desenvolvimentos registrados indica que o campo ainda é emergente e oportuno para pesquisa, inovação e implementação no Brasil.

Resultados – Combinações Específicas

Na análise das combinações de três termos, a ausência de dados é crítica. Não há registro algum de patentes (INPI), softwares públicos (SPB) ou produção acadêmica nacional significativa envolvendo diretamente a integração de IoT com cisternas rurais e acesso à água. Mesmo nas bases científicas como CAPES e SciELO, os resultados encontrados em geral não somam mais de oito, e as temáticas são frequentemente periféricas ao foco deste estudo.

Combinação de termos	INPI	SPB	SciELO	CAPES
IoT + Cisternas Rurais + Acesso à água	0	0	0	0
Água para consumo + Monitoramento de água + Cisternas rurais	0	0	0	2
Tecnologias sociais + Reservatórios + Captação de água de chuva	0	0	0	1
Captação de água de chuva + IoT + Software para gestão de cisternas	0	0	0	0
Software para gestão de cisternas + Cisternas Rurais + Água para consumo	0	0	0	0
Qualidade da água + IoT + Monitoramento de água	0	0	1	4

Tabela 4 – Combinações Específicas de Palavras-chave
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ainda, a busca realizada na base CAPES utilizando a combinação "Qualidade da água + IoT + Monitoramento de água" revelou um artigo que, embora aborde aspectos próximos à temática, trata da aplicação dessas tecnologias em piscicultura e não no contexto rural propriamente dito. Outros estudos encontrados com essas palavras-chave se limitam ao monitoramento e qualidade da água no âmbito urbano, ou seja, fora do âmbito rural que é o foco deste estudo, reforçando assim a lacuna que este projeto procura contribuir para preencher.

Contudo, um dos títulos chamado "Mapeamento Tecnológico de sensores e sistemas IoT para monitoramento da qualidade de água e efluentes no setor de saneamento: Análise de patentes" levanta um questionamento a respeito do cenário global no qual o Brasil se encontra, no tocante a pesquisa e desenvolvimento de produtos tecnológicos voltados ao setor de saneamento, especificamente a sistemas para monitoramento da qualidade da água; águas residuais e esgotos, em base de dados Internacionais como o Orbit.

Conforme observado na Figura 1, o Brasil se encontra na 14° posição no ranking global de patentes relacionadas ao monitoramento de qualidade da água (André et al. , 2023).

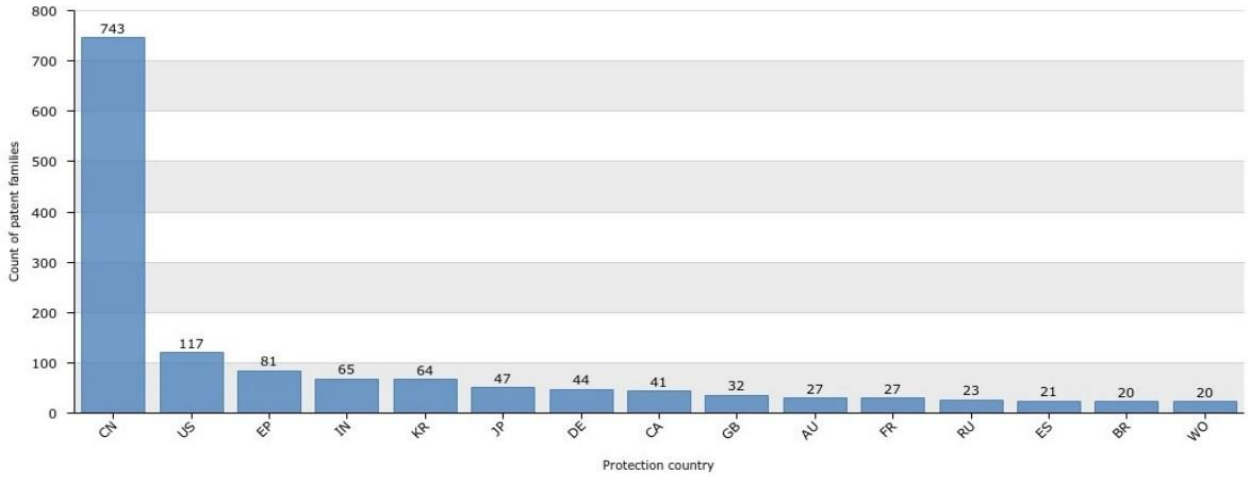


Figura 1. Famílias de Patentes encontradas com a temática relacionada a monitoramento de qualidade da água utilizando sensores.
Fonte: André et al. (2023).

Dados esses que corroboram para a discussão dos resultados (Etapa 6). A investigação enfatizou a necessidade de promover pesquisas aplicadas e inovações específicas para o monitoramento digital no Brasil, não apenas no meio urbano como também em cisternas rurais, com potencial para ampliar a segurança hídrica e a eficiência da gestão das águas.

Principais Lacunas Encontradas

- A integração de sensores digitais e IoT em cisternas rurais no Brasil permanece uma fronteira pouco explorada e carece de atuação tanto de pesquisadores quanto de empresas de software público e fabricantes de sensores.
- As poucas publicações localizadas nas bases acadêmicas concentram-se em temas amplos, como qualidade da água, acesso à água e ações governamentais, não abordando

de modo prático ou experimental a implementação de sistemas embarcados ou automação de dados nas cisternas.

- A inexistência de patentes específicas reforça o desconhecimento técnico e o baixo estímulo à inovação no campo do saneamento rural descentralizado brasileiro.

Potenciais de Inovação

Apesar do cenário descrito, a ausência de soluções tecnológicas registradas e de pesquisas aplicadas revela uma janela de oportunidades. O ambiente rural brasileiro, especialmente o semiárido (que concentra o Programa um Milhão de Cisternas), pode se tornar campo de experimentação para:

- Desenvolvimento de sistemas de monitoramento de nível e qualidade da água das cisternas utilizando sensores digitais de baixo custo, integrando hardware e software livre de domínio público.
- Parcerias entre universidades, startups, órgãos governamentais e comunidades rurais visando transferência real de tecnologia e automação de processos de gestão da água para fins potáveis e produtivos.
- Possibilidade de submissão e registro de inovações no INPI, estimulando tanto a proteção intelectual quanto a difusão de conhecimento prático e acessível ao setor público através do SPB.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de prospecção tecnológica evidenciou que, apesar da crescente relevância das tecnologias digitais para o monitoramento de recursos hídricos, o uso específico da Internet das Coisas (IoT) integrada a cisternas rurais e urbanas ainda é um campo amplamente inexplorado no Brasil. A análise das combinações de palavras-chave em bases acadêmicas, registros de patentes e softwares públicos brasileiros revelou uma carência significativa de estudos, inovações e soluções dedicadas ao monitoramento digital e à gestão automatizada da água em âmbito rural, sobretudo em sistemas de captação e armazenamento como as cisternas.

A ausência quase total de registros em patentes e softwares públicos voltados para essa temática indica que o potencial de inovação permanece largamente indisponível e pouco aproveitado pelas comunidades e políticas públicas brasileiras, indicando um espaço fértil para pesquisas multidisciplinares, desenvolvimento tecnológico e implementação de projetos pilotos que possam promover avanços reais no saneamento rural brasileiro.

A constatação de que os poucos artigos encontrados nas bases SciELO e CAPES, tratam da aplicação de IoT em contextos diferenciados, como a piscicultura, e não diretamente em zonas rurais, reforça a necessidade urgente de direcionar esforços científicos e tecnológicos para solucionar as especificidades do monitoramento da água em cisternas rurais, com sensoriamento acessível, softwares livres e integração comunitária.

Portanto, este artigo serve como um chamamento para que os campos da ciência, inovação, tecnologia e políticas públicas priorizem a construção de soluções digitais abertas, acessíveis e adaptáveis à realidade rural brasileira, fortalecendo o acesso à água de qualidade com transparência e autonomia para as comunidades. A integração efetiva da IoT na gestão das cisternas poderá transformar a segurança hídrica, reduzir a vulnerabilidade e potencializar os ganhos socioambientais das tecnologias sociais históricas no Brasil.

AGRADECIMENTOS (opcional)

Os autores agradecem ao PET-MEC, FNDE pelo incentivo financeiro e à Univasf pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque dos Santos, J., P. A. D. C. Pereira, e J. I. A. D. O. Lacerda. 2023. "Programa cisternas (P1MC): uma análise sobre as transformações no rural do semiárido alagoano." *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação* 9 (7): 2084–97. https://doi.org/10.51891/rease.v9i7.10650.

André, A. C. L., M. C. C. de Amorim, e K. C. Dantas da Silva. 2023. "Mapeamento tecnológico de sensores e sistemas IoT para monitoramento da qualidade de água e efluentes no setor de saneamento: análise de patentes." *Revista Tecnologia e Sociedade* 19 (57): 114–24. https://doi.org/10.3895/rts.v19n57.15701.

Batista, Lucas Mota, e Vania Neu. 2024. "Olhares Para O Sanear: As percepções De Ribeirinhos Sobre Uma Experiência Com Tecnologias Sociais Na Amazônia Oriental". *Revista Brasileira De Estudos Urbanos E Regionais* 26 (1). https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202411.

De Marque, Mario, Marcel Fantin, João Fontes Lopes Neto, Julia Maria dos Santos Silva, e Kevin Yukihiro Goia. 2022. "Tecnologia Social De Saneamento básico: Reflexões a Partir De Uma ação Extensionista No Assentamento Nova São Carlos". *Retratos De Assentamentos* 24 (1):136-57. https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2021.v24i1.464.

Renzcherchen, Simone Kucznir, Myller Augusto Santos Gomes, Aldo Siatkowski, and Hérida Góes. 2025. "IoT in Agriculture 4.0 and the Challenge of Connectivity in Rural Areas: A Bibliometric Study". *International Journal of Innovation* 13 (2):e27573. https://doi.org/10.5585/2025.27573.

Sepúlveda, Philipe Werner, Hygor Aristides Victor Rossoni, Emerson Fonseca Silva, Vinícius Costa Guimarães, e Summer Cândido Silva. 2025. "Tecnologias coletivas e participativas para o saneamento rural: uma revisão sistemática de literatura." *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 12 (30): 241–66. https://doi.org/10.21438/rbgas(2025)123016.

Tavares, Selma Cavalcanti Cruz de Holanda, Wilson Tadeu Lopes da Silva, e Davi Ferreira da Silva. 2024. "Integração de Tecnologias Sociais no Manejo Ambiental da Agricultura Familiar no Suporte Hídrico e Alimentar no Semiárido Brasileiro – INTECS." *Revista ENCI BIO*, 30 de dezembro. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2024D11.

Tucci, Carlos E. M. 2008. "Águas urbanas." *Estudos Avançados* 22 (63): 97-112. https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114454

BIODIGESTOR SERTANEJO DIGITAL: APLICAÇÃO WEB PARA DIMENSIONAMENTO, MONITORAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE NO SANEAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

BIODIGESTOR SERTANEJO DIGITAL: APLICACIÓN WEB PARA DIMENSIONAMIENTO, MONITOREO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD EN EL SANEAMIENTO RURAL DEL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

DIGITAL "SERTANEJO" BIODIGESTER: A WEB APPLICATION FOR SIZING, MONITORING, AND FEASIBILITY ANALYSIS IN RURAL SANITATION IN THE BRAZILIAN SEMIARID

Johann Torres[1], Marcos Padilha[2] e Marcilio Máximo[3]

[1]Especialização, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, johann.torres@ifpb.edu.br, 0009-0008-4450-8136;
[2]Doutor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, marcos.padilha@ifpb.edu.br, 0000-0002-99573831;
[3]Doutor, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, marcilio.maximo@ifpb.edu.br, 0000-0002-1448-1103;

Eixo Temático 09 – Tecnologias Digitais no Saneamento Rural
Aplicações de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural.

Eje Temático 09 – Tecnologías Digitales en el Saneamiento Rural
Aplicaciones de tecnologías digitales en el monitoreo de agua y saneamiento rural.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma solução digital para apoio à decisão no saneamento rural: o Biodigestor Sertanejo Digital, uma página web que realiza cálculos técnicos e econômicos para dimensionamento, monitoramento e análise de viabilidade de biodigestores em contextos rurais do Semiárido brasileiro. O objetivo foi integrar, em uma única interface, modelos consolidados de engenharia de digestão anaeróbia com parâmetros contextuais do Semiárido e métricas de produção e retorno, de modo a orientar agricultores familiares, técnicos municipais e gestores. A ferramenta recebe dados de entrada como número dos animais, massa diária de dejetos, teor de sólidos biodigestor, tempo de retenção hidráulica, vazão do biogás, teor estimado de metano, equivalentes energéticos (kWh e GLP), volume de biofertilizante, reduções potenciais de emissão de CO_2 e indicadores econômico-financeiros (CAPEX, OPEX, custo nivelado do biogás, payback). A ferramenta surgiu da necessidade prática de implantação do biodigestores na região do Semiárido, demandando uma solução digital que pudesse automatizar cálculos, simulações e relatórios. Foram realizadas etapas de levantamento e análise de requisitos, desenvolvimento do código e testes de funcionamento com cenários reais do Sertão. Os resultados indicam que a aplicação facilita o pré-dimensionamento, melhora a comparabilidade de alternativas e oferece transparência nos pressupostos, apoiando decisões de implantação e operação. Discute-se ainda a replicabilidade para outros biomas e a integração futura com sensores e bancos de dados públicos. Conclui-se que a solução contribui para ampliar o acesso a tecnologias de saneamento rural, agregando eficiência técnica, retorno econômico e benefícios ambientais.

Palavras-chave: saneamento rural, biodigestor, biogás, Semiárido, tecnologias digitais

RESÚMEN

Este trabajo presenta el desarrollo y la aplicación de una solución digital para apoyar la toma de decisiones en el saneamiento rural: el Biodigestor Sertanejo Digital, una página web que realiza cálculos técnicos y económicos para dimensionamiento, monitoreo y análisis de viabilidad de biodigestores en contextos rurales del Semiárido brasileño. El objetivo fue integrar, en una sola interfaz, modelos consolidados de ingeniería de digestión anaeróbica con parámetros contextuales del Semiárido y métricas de producción y retorno, con el fin de orientar a agricultores familiares, técnicos municipales y gestores. La herramienta recibe datos de entrada como número de animales, masa diaria de excretas, contenido de sólidos del biodigestor, tiempo de detención hidráulica, caudal de biogás, contenido estimado de metano, equivalentes energéticos (kWh y GLP), volumen de biofertilizante, reducciones potenciales de emisiones de CO_2 e indicadores económico-financieros (CAPEX, OPEX, costo nivelado del biogás, payback). La herramienta surgió de la necesidad práctica de implementación del biodigestor en la región del Semiárido, requiriendo una solución digital que pudiera automatizar cálculos, simulaciones e informes. Se realizaron etapas de levantamiento y análisis de requisitos, desarrollo del código y pruebas de funcionamiento con escenarios reales del Sertão. Los resultados indican que la aplicación facilita el pre-dimensionamiento, mejora la comparabilidad de alternativas y ofrece transparencia en los supuestos, apoyando decisiones de implementación y operación. También se discute la replicabilidad para otros biomas y la futura integración con sensores y bases de datos públicas. Se concluye que la solución contribuye a ampliar el acceso a tecnologías de saneamiento rural, agregando eficiencia técnica, retorno económico y beneficios ambientales.

Palabras clave: saneamiento rural, biodigestor, biogás, Semiárido, tecnologías digitales.

ABSTRACT

This paper presents the development and application of a digital solution to support decision-making in rural sanitation: the Digital Sertanejo Biodigester, a web-based tool that performs technical and economic calculations for sizing, monitoring, and feasibility analysis of biodigesters in rural contexts of the Brazilian semiarid. The objective was to integrate, in a single interface, established anaerobic digestion engineering models with contextual parameters of the semiarid and production/return metrics, in order to guide family farmers, municipal technicians, and managers. The tool takes input data such as the number of animals, daily manure mass, biodigester solids content, hydraulic retention time, biogas flow rate, estimated methane content, energy equivalents (kWh and LPG), biofertilizer volume, potential CO_2 emission reductions, and economic-financial indicators (CAPEX, OPEX, levelized cost of biogas, payback). The tool emerged from the practical need for biodigester implementation in the semiarid region, requiring a digital solution that could automate calculations, simulations, and reports. Steps included requirements gathering and analysis, code development, and functionality testing with real scenarios from the Sertão. Results indicate that the application facilitates pre-sizing, improves the comparability of alternatives, and provides

transparency in assumptions, supporting implementation and operational decisions. The replicability for other biomes and future integration with sensors and public databases is also discussed. The solution is concluded to contribute to expanding access to rural sanitation technologies, adding technical efficiency, economic returns, and environmental benefits.

Keywords: rural sanitation, biodigester, biogas, semiarid, digital technologies.

INTRODUÇÃO

O saneamento rural no Semiárido brasileiro enfrenta desafios históricos ligados à escassez hídrica, à baixa cobertura de sistemas de esgotamento sanitário e à ausência de soluções tecnológicas adaptadas às especificidades locais. A literatura aponta que apenas cerca de 20% das residências rurais do país possuem acesso a sistemas adequados de esgotamento, o que amplia os riscos de contaminação de mananciais e compromete a saúde pública (IBGE 2022). Nesse contexto, a adoção de tecnologias apropriadas, de baixo custo e sustentáveis tem sido destacada como uma prioridade estratégica para reduzir desigualdades territoriais e promover a dignidade das populações rurais (Heller e Castro 2019).

Entre as alternativas, os biodigestores rurais têm ganhado relevância como sistemas capazes de tratar dejetos animais e humanos, produzir biogás e gerar biofertilizante, atuando de forma integrada no saneamento, na segurança energética e na agricultura familiar (Lopes et al. 2020). Experiências na China, Índia e países da África Subsaariana demonstram que a disseminação de biodigestores contribui para mitigar emissões de gases de efeito estufa, aumentar a eficiência no uso da biomassa e reduzir a pressão sobre florestas pelo uso de lenha (Bond e Templeton 2011). No Brasil, iniciativas de biodigestores adaptados ao Semiárido, como o modelo sertanejo, representam um avanço na busca por tecnologias resilientes à irregularidade climática e aos limites socioeconômicos da região (Oliveira et al. 2020).

Com o avanço das tecnologias digitais, surge a possibilidade de ampliar o alcance e a eficiência dessas soluções por meio de ferramentas computacionais voltadas ao planejamento, ao monitoramento e à gestão. Softwares e aplicações web podem apoiar o dimensionamento, a avaliação de viabilidade e a gestão operacional de biodigestores, tornando acessíveis informações técnicas antes restritas a especialistas (Muench et al. 2020).

Este trabalho insere-se nesse contexto ao apresentar o desenvolvimento do Biodigestor Sertanejo Digital, uma aplicação web concebida para realizar cálculos de dimensionamento e viabilidade técnica, econômica e ambiental de biodigestores no Semiárido brasileiro. O

software foi desenvolvido a partir da necessidade de implantação do biodigestor na região do Semiárido, demandando uma solução digital capaz de automatizar cálculos e apoiar decisões técnicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de construção do Biodigestor Sertanejo Digital envolveu tanto etapas de engenharia sanitária quanto práticas de engenharia de software, desenvolvidas entre 2024 e 2025.

1. Levantamento de requisitos – A fase inicial consistiu em reuniões para identificar as necessidades para a implantação do biodigestor no Semiárido. Foram identificados os cálculos necessários (volume do reator, tempo de retenção hidráulica (TRH), produção de biogás, equivalência energética, geração de biofertilizante, CAPEX/OPEX, emissões evitadas em CO_2e) e os requisitos funcionais da aplicação (interface amigável, exportação de relatórios, visualização gráfica, responsividade).
2. Análise de requisitos – Os requisitos levantados foram classificados em funcionais e não funcionais, priorizando usabilidade, transparência nos cálculos e acessibilidade para agricultores e técnicos com diferentes níveis de conhecimento em informática. Foi adotado um modelo incremental de desenvolvimento, permitindo ajustes conforme feedback do solicitante e de usuários-piloto (Pressman 2016).
3. Desenvolvimento – A aplicação foi construída com HTML, CSS e JavaScript, utilizando arquitetura modular para facilitar manutenção e futuras expansões. As fórmulas de engenharia sanitária foram incorporadas com base em Chernicharo (2007) e nas diretrizes do IPCC (2006) para emissões. O código foi documentado e acompanhado de comentários técnicos.
4. Testes de funcionamento – Foram conduzidos testes de unidade para cada módulo de cálculo e testes integrados para verificar consistência dos resultados. Posteriormente, testes de aceitação foram realizados com cenários reais do Semiárido (número de animais, variações de temperatura, concentração de sólidos) comparando os resultados com valores relatados em Lima et al. (2021) e Oliveira et al. (2020).
5. Funcionamento da aplicação – O software recebe dados de entrada via formulários, processa os cálculos em tempo real e apresenta os resultados em tabelas e gráficos,

permitindo exportação em PDF. A interface foi validada com agricultores e técnicos extensionistas, que apontaram melhorias de design e clareza de linguagem.

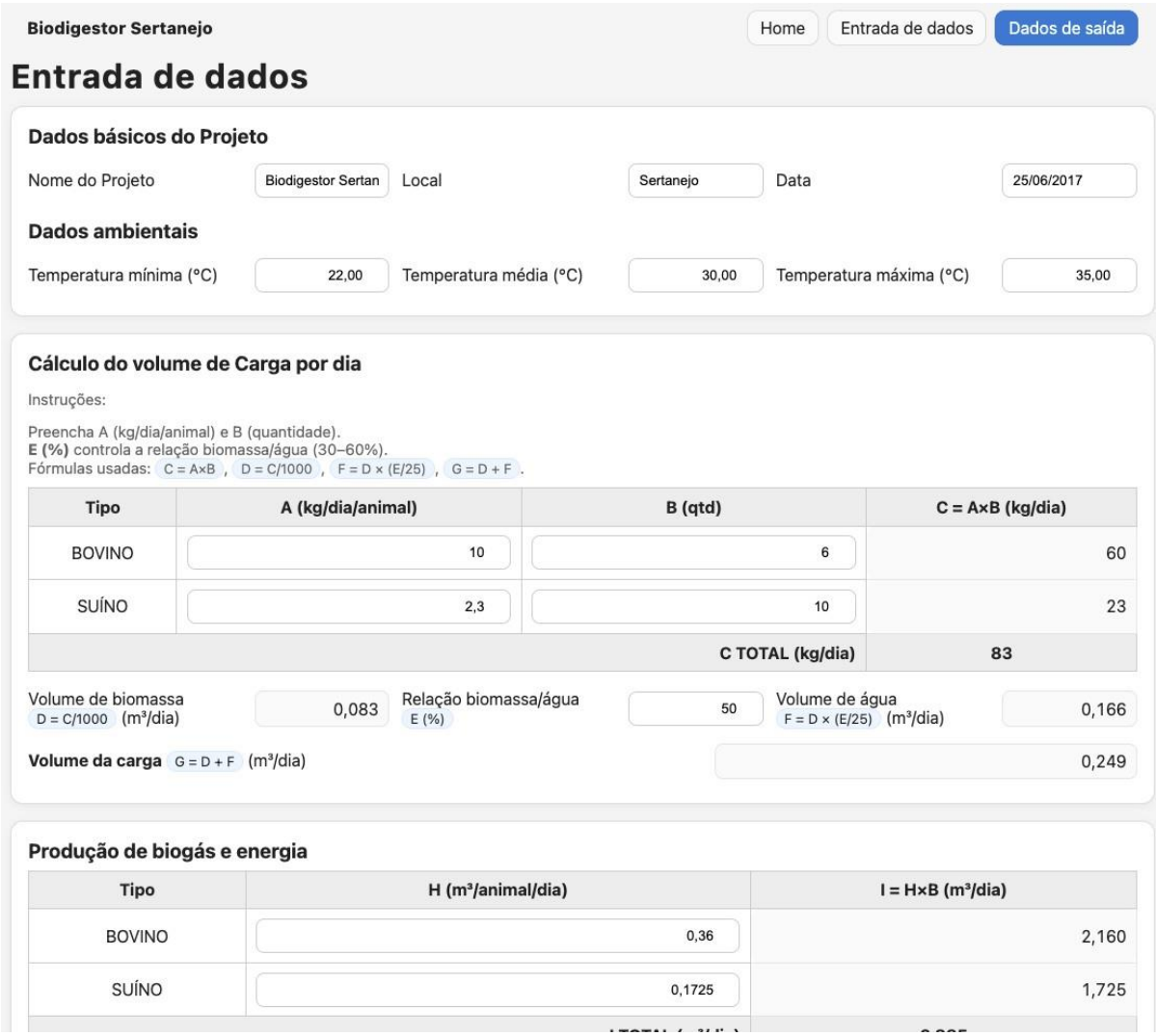


Figura 1. Tela de entrada de dados do software (captura parcial, devido ao grande volume de informações). Fonte: Elaboração própria (2025).

6. Simulações – Para verificar a robustez, foram simulados diferentes cenários de criação bovina (5 a 50 animais), sólidos totais (5–12%) e temperaturas médias (20–32 °C). Os resultados foram confrontados com referências experimentais e teóricas, confirmando a consistência dos algoritmos (Muench et al. 2020).

Dados de saída

Dados básicos do Projeto

Tabela 1 - Pretensão do projeto	
Nome do Projeto:	Biodigestor Sertanejo
Local:	Sertanejo
Data:	25/06/2017

Tabela 2 - Dados ambientais			
Temperatura mínima:	22,00	°C	
Temperatura média:	30,00	°C	
Temperatura máxima:	35,00	°C	

Resumo de substrato para alimentação do biodigestor

Tabela 3 - Resumo				
Nº	**Descrição**	**kg/d**	**m³/d**	
1,00	Resíduos de criadouros de animais (Biomassa)	83,00	0,08	
1,00	Água complementar	166,00	0,17	
Total		**249,00**	**0,25**	

Dimensionamento de Estruturas

Tabela 4 - Biodigestor					
Unidades requeridas					
Tipo:	Sertanejo				
Material:	Alvenaria, PVC, madeira, ferro e Fibra de vidro				
Volume total requerido:	11,25	m³			
número de unidades:	1	Global			

Figura 2. Tela de resultados processados do software (captura parcial, apresentando valores calculados de viabilidade técnica e econômica). Fonte: Elaboração própria (2025).

Este conjunto de procedimentos permitiu alinhar rigor técnico e usabilidade prática, consolidando uma ferramenta digital acessível, transparente e adaptada ao contexto do Semiárido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de simulação realizados com o Biodigestor Sertanejo Digital demonstraram consistência dos cálculos frente aos valores teóricos e experimentais reportados na literatura. Nos cenários avaliados, variando de 5 a 50 bovinos e diferentes teores de sólidos totais (5–12%), o software apresentou resultados alinhados aos obtidos em plantas experimentais descritas por Lima et al. (2021) e Oliveira et al. (2020). A produção de biogás calculada pelo sistema foi compatível com os intervalos estimados para condições do Semiárido, considerando

temperaturas médias entre 20 e 32 °C.

Do ponto de vista funcional, o sistema mostrou-se capaz de integrar cálculos técnicos complexos em uma interface acessível e intuitiva. A Figura 1 ilustra a tela de entrada de dados, onde o usuário insere informações ambientais e produtivas. A Figura 2 apresenta a saída do sistema, destacando o resumo do substrato, o dimensionamento do biodigestor e indicadores-chave de viabilidade. Apesar de as capturas serem parciais devido ao grande volume de informações, elas evidenciam a capacidade do software em organizar e sistematizar dados de forma clara.

O uso da aplicação em testes com agricultores familiares e técnicos extensionistas revelou boa aceitação, sobretudo pela possibilidade de obter relatórios rápidos de viabilidade técnica e econômica. Observou-se que o software reduz barreiras de compreensão dos cálculos e permite comparar diferentes cenários de implantação, tornando o processo decisório mais transparente e fundamentado. Essa característica é apontada por Muench et al. (2020) como essencial em ferramentas digitais voltadas para pequenas unidades de biogás.

Em termos de impacto, os cálculos de viabilidade financeira (CAPEX, OPEX e payback) auxiliam na avaliação do retorno econômico da tecnologia, enquanto as estimativas de redução de emissões em CO_2 e dialogam com metas globais de mitigação climática (IPCC 2006). Essa integração entre dimensões técnica, econômica e ambiental reforça o potencial do software como instrumento de apoio à sustentabilidade no saneamento rural.

A replicabilidade da aplicação também foi identificada como um ponto positivo. Embora calibrada para o Semiárido brasileiro, a estrutura modular do código permite adaptações para outros contextos, desde que ajustados os parâmetros ambientais e produtivos. Esse aspecto favorece a expansão do uso da ferramenta em outros biomas, ampliando seu alcance e impacto.

Dessa forma, os resultados confirmam que o Biodigestor Sertanejo Digital contribui para reduzir desigualdades tecnológicas em áreas rurais, oferecendo uma solução prática para planejamento e gestão de sistemas de biodigestores. Ao unir fundamentos de engenharia sanitária e engenharia de software, a aplicação estabelece uma ponte entre a ciência e a prática, fortalecendo a integração entre inovação digital e saneamento rural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do Biodigestor Sertanejo Digital demonstrou que a integração entre

engenharia sanitária e engenharia de software pode gerar soluções eficazes, acessíveis e replicáveis para o saneamento rural. A aplicação foi capaz de automatizar cálculos complexos, traduzindo-os em informações claras e úteis para agricultores familiares, técnicos extensionistas e gestores públicos.

Os resultados obtidos confirmaram a consistência dos algoritmos, a aplicabilidade em diferentes cenários do Semiárido e a aceitação por parte dos usuários finais. Além disso, a ferramenta incorporou aspectos técnicos, econômicos e ambientais, favorecendo a tomada de decisão de forma mais transparente e fundamentada.

Outro ponto relevante é que o software surgiu de uma demanda prática para a implantação do biodigestor na região do Semiárido, com objetivo de complementar o projeto físico com uma solução digital. Esse caráter prático fortalece a integração entre as necessidades do campo e as inovações tecnológicas, ampliando o impacto da solução no saneamento rural.

Como continuidade, sugere-se ampliar a base de dados utilizada, integrar sensores IoT para monitoramento em tempo real e desenvolver versões móveis da aplicação. Tais aprimoramentos podem aumentar a precisão dos cálculos, facilitar o acompanhamento do desempenho operacional e expandir o alcance da solução para outras regiões e contextos de saneamento rural.

Assim, conclui-se que o Biodigestor Sertanejo Digital representa um avanço importante no uso de tecnologias digitais aplicadas ao saneamento rural, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, a eficiência econômica e a inclusão social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bond, Trevor, and Douglas Templeton. 2011. “History and Future of Domestic Biogas in Developing Countries.” *Energy for Sustainable Development* 15 (4): 347–354. https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003.

Chernicharo, Carlos A. Lemos. 2007. *Reatores Anaeróbios: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 2ª ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

Heller, Léo, and Maria da Piedade Morais de Castro. 2019. *Saneamento e Saúde no Brasil: Políticas Públicas, Desafios e Perspectivas*. Rio de Janeiro: Fiocruz.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2022. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Características Gerais dos Domicílios e dos Moradores 2021*. Rio de Janeiro: IBGE.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2023. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)*. Brasília: INMET. https://bdmep.inmet.gov.br/.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies.

Lopes, L. A., A. E. B. S. Lourenzani, C. V. dos Santos, e P. S. B. dos Santos. "Desenvolvimento de um Biodigestor de Baixo Custo Aplicado na Agricultura Familiar." *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* 14, n.º 1 (2020): 8–15. https://doi.org/10.18011/bioeng2020v14n1p8-15.

Muench, S., R. Wirges, and S. Rüd. 2020. "Digital Decision Support for Small-Scale Biogas Plants: Potentials and Challenges." *Renewable Energy* 152: 735–744. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.019.

Oliveira, Maria C., Rafael A. Silva, and Thiago P. Souza. 2020. "Biodigestor Sertanejo: Uma Experiência de Tecnologia Social no Semiárido Brasileiro." *Revista Brasileira de Agroecologia* 15 (2): 112–126.

Pressman, Roger S. 2016. *Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional*. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025

II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural

RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114505

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DOS BREJOS DE ALTITUDE NA REGIÃO IMEDIATA DE PRINCESA ISABEL - PB

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LOS BREJOS DE ALTITUD EN LA REGIÓN INMEDIATA DE PRINCESA ISABEL - PB

ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF HIGHLAND SWAMPS IN THE IMMEDIATE REGION OF PRINCESA ISABEL - PB

Nicolle Marques[1], Erickson Albuquerque [2], Cícero Souza [3], Camila Silva [4] e Suberlândia Silva [5] .

[1] Graduanda em Gestão Ambiental, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, nicolle.ohana@academico.ifpb.edu.br, 0009-0004-1990-5739;
[2] Professor do IFPB, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, erickson.albuquerque@academico.ifpb.edu.br, 0000-0002-8711-4195;
[3] Graduando em Gestão Ambiental, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, cicero.souza@academico.ifpb.edu.br, 0009-0003-2214-9092;
[4] Graduanda em Gestão Ambiental, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, camila-silva.cs@academico.ifpb.edu.br, 0009-0004-8625-3195.
[5] Graduanda em Ciências Biológicas, IFPB, Princesa Isabel, Brasil, suberlandia.rodrigues@academico.ifpb.edu.br, 0009-0007-6122-9940.

Eixo Temático 09 – Tecnologias Digitais no Saneamento Rural
Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado ao saneamento rural.

Eje Temático 09 – Tecnologías Digitales en el Saneamiento Rural
Geoprocesamiento y teledetección aplicados al saneamiento rural.

Thematic Axis 09 – Digital Technologies in Rural Sanitation
Geoprocessing and remote sensing applied to rural sanitation.

RESUMO

O estudo, em andamento, aborda os brejos de altitude da Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel (PB), ambientes de exceção no semiárido nordestino. Esses brejos apresentam solos mais férteis, maior umidade e vegetação diferenciada em relação à Caatinga, formando um microclima que abriga espécies ausentes no entorno. Por isso, possuem grande importância ecológica, agrícola e socioambiental, contribuindo para a biodiversidade, a produção de subsistência, a conservação dos corpos hídricos e a qualidade de vida das comunidades locais. No entanto, sofrem pressões antrópicas que ampliam sua degradação. O objetivo principal do presente estudo é caracterizar os aspectos ambientais desses brejos, analisando os tipos de solo e de rochas existentes, o vigor da vegetação, a pluviometria, a hipsometria e a declividade do relevo. Para isso, foram utilizadas geotecnologias, como imagens de satélite (Sentinel-2, CHIRPS e ALOS) e ferramentas de geoprocessamento (QGIS e Google Earth Engine). A metodologia envolveu computar, identificar e quantificar as classes encontradas para cada variável no Sistema de Informações Geográficas. Os resultados preliminares contribuem para reduzir lacunas de informações sobre a região e possibilitam a projetar cenários futuros de conservação ou degradação. Conclui-se que o estudo final poderá subsidiar a gestão ambiental e territorial sustentável, apoiando políticas públicas que integrem conservação ambiental, em especial dos recursos hídricos, justiça social e desenvolvimento econômico, promovendo a melhoria da qualidade de vida regional.

Palavras-chave: Áreas de exceção, Geotecnologias, Recursos naturais, Semiárido.

RESÚMEN

El estudio, actualmente en desarrollo, aborda los brejos de altitude (humedales de altura) de la Región Geográfica Inmediata de Princesa Isabel (Paraíba, Brasil), ambientes excepcionales dentro del semiárido del Nordeste brasileño. Estos brejos presentan suelos más fértiles, mayor humedad y una vegetación diferenciada respecto a la Caatinga circundante, conformando un microclima que alberga especies ausentes en su entorno. Por ello, poseen una gran importancia ecológica, agrícola y socioambiental, contribuyendo a la biodiversidad, a la producción de subsistencia, a la conservación de los cuerpos de agua y a la calidad de vida de las comunidades locales. No obstante, sufren presiones antrópicas que intensifican su degradación. El objetivo principal del presente estudio es caracterizar los aspectos ambientales de estos brejos, analizando los tipos de suelos y rocas existentes, el vigor de la vegetación, la pluviosidad, la hipsometría y la pendiente del relieve. Para ello, se emplearon geotecnologías como imágenes satelitales (Sentinel-2, CHIRPS y ALOS) y herramientas de geoprocesamiento (QGIS y Google Earth Engine). La metodología consistió en calcular, identificar y cuantificar las clases encontradas para cada variable en el Sistema de Información Geográfica. Los resultados preliminares contribuyen a reducir las lagunas de información sobre la región y permiten proyectar escenarios futuros de conservación o degradación. Se concluye que el estudio final podrá servir de base para una gestión ambiental y territorial sostenible, respaldando políticas públicas que integren la conservación ambiental —en especial de los recursos hídricos—, la justicia social y el desarrollo económico, promoviendo la mejora de la calidad de vida regional.

Palabras clave: Áreas de excepción; Geotecnologías; Recursos naturales; Región semiárida.

ABSTRACT

The ongoing study addresses the high-altitude wetlands (*brejos de altitude*) of the Immediate Geographic Region of Princesa Isabel (Paraíba, Brazil), which are exceptional environments within the Brazilian semi-arid region. These *brejos* are characterized by more fertile soils, higher humidity, and vegetation distinct from the surrounding *Caatinga*, forming a microclimate that shelters species absent from the adjacent areas. Consequently, they hold great ecological, agricultural, and socio-environmental importance, contributing to biodiversity, subsistence production, the conservation of water bodies, and the quality of life of local communities. However, they are subject to anthropogenic pressures that intensify their degradation. The main objective of this study is to characterize the environmental aspects of these *brejos*, analyzing the existing soil and rock types, vegetation vigor, rainfall, hypsometry, and slope of the terrain. To achieve this, geotechnologies such as satellite imagery (Sentinel-2, CHIRPS, and ALOS) and geoprocessing tools (QGIS and Google Earth Engine) were employed. The methodology involved computing, identifying, and quantifying the classes found for each variable within the Geographic Information System. Preliminary results contribute to reducing information gaps about the region and allow for the projection of future conservation or degradation scenarios. It is concluded that the final study may support sustainable environmental and territorial management, guiding public policies that integrate environmental conservation—especially of water resources—social justice, and economic development, thereby promoting improvements in regional quality of life.

Keywords: Areas of exception; Geotechnologies; Natural resources; Semi-arid region.

INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte de um estudo que vem sendo desenvolvido para delimitar e caracterizar os brejos de altitude da Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel - RGIPI, no sertão da Paraíba. Por se encontrar na sua fase inicial, apresenta-se aqui a produção de informações alcançada até o momento, detendo-se sobre a caracterização de aspectos ambientais da região.

Segundo Ab'Sáber (2003), no Brasil se apresentam seis domínios morfoclimáticos e fitogeográficos e zonas de transição. Um desses domínios são as depressões intermontanas e interplanálticas semiáridas, cujas áreas nucleares têm a predominância do bioma Caatinga. Entretanto, áreas de exceção podem ser encontradas no interior das áreas nucleares, apresentando características fisiográficas e ecológicas distintas do seu entorno.

Neste sentido, os brejos de altitude que serão delimitados e caracterizados com o desenvolvimento deste projeto estão localizados na RGIPI, que está inserida na região

semiárida do estado da Paraíba. Sendo assim, este trabalho se justifica pela proeminente importância de se conhecer a constituição ambiental da região para facilitar a identificação dos brejos de altitude e compreender as dinâmicas histórico-espaciais de uso e ocupação da terra nesses locais de diversidade diferenciada. Para isso, o auxílio das geotecnologias se apresenta fundamental para o estudo de fenômenos ambientais, como o uso e cobertura da terra, a geodiversidade, os tipos de solo, o vigor da vegetação, o regime de precipitação, a forma do relevo.

Portanto, nesta fase inicial do projeto, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar os aspectos ambientais da RGIPI. Os objetivos específicos foram: identificar elementos ambientais constituintes do espaço da região; quantificar as composições de solo, rochas, faixas de altitude e declividade do relevo; e apresentar o regime pluviométrico e vigor da vegetação nos últimos 11 anos (2014-2024).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudos

A Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel - RGIPI se localiza no sudoeste do Estado da Paraíba, é composta pelos municípios de Juru, Tavares, Princesa Isabel (polo), São José de Princesa e Manaíra, distante a pouco mais de 400 km da capital do Estado. Sua população totalizou aproximadamente 58 mil habitantes, sendo Princesa Isabel o município mais populoso, com 21.114 habitantes (IBGE, 2022). A economia da região é baseada na agropecuária, com o cultivo do milho, mandioca, feijão e diversas frutíferas, e com a criação, principalmente, de bovinos, mas também de caprinos, suínos e galináceos.

Nesse espaço predomina a ocorrência de vegetação savânica arbustiva, sobretudo em áreas de floresta; o regime pluviométrico acumulado é homogêneo, oscilando em torno de 800 mm/ano, com estações bem definidas em chuvosa (março a maio) e seca (setembro a dezembro). As temperaturas do ar podem variar ao longo do ano entre 12ºC, no inverno, e 35°C, no outono. Ainda, a região apresenta altitude média de 690 m, sendo o município de São José de Princesa o mais alto, com 720 metros; ocorre a presença de afloramentos rochosos e solos, em maior parte, do tipo pedregosos e suscetíveis à degradação (Albuquerque; Lima; Sousa, 2023).

Aspectos ambientais da Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel

Os aspectos ambientais iniciais considerados para a caracterização ambiental foram: geodiversidade, pedologia, geomorfologia, vigor da vegetação e pluviometria. A geodiversidade se refere aos tipos de rocha existentes na RGIPI, cujos dados foram obtidos junto ao geoportal do Serviço Geológico do Brasil - CPRM; a pedologia diz respeito aos tipos de solo, permitindo a identificação de solos férteis, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Esses dados foram trabalhados no QGIS.

Por sua vez, a geomorfologia, por meio da hipsometria e declividade, indicaram as características do relevo da região, cujos dados foram obtidos por meio do produto Alos World 3D, resolução espacial 30 m (EORC; JAXA, 2017); o vigor da vegetação teve a função de indicar o estado desse elemento e sua média dos períodos chuvoso (março a maio) e seco (setembro a dezembro), de 2014 a 2024, foi obtido a partir do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (Rouse *et al*., 1973), utilizando-se imagens do satélite Landsat 8/OLI, com resolução espacial de 30 m; a pluviometria anual acumulada forneceu informações sobre as dinâmicas de chuvas na região, fator desencadeador de processos ecológicos, e foi obtida a partir das imagens do satélite CHIRPS, por meio do produto Pentad (mm/5 dias), 2014 a 2024; Esses dados foram obtidos no Google Earth Engine.

RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

Uma vez que este projeto se encontra iniciando as pesquisas, os primeiros resultados se referem à caracterização ambiental da RGIPI nos aspectos da geodiversidade, pedologia, geomorfologia, vigor da vegetação (NDVI) e pluviometria.

Pode ser observado no mapa da Figura 1 que os litotipos predominantes na RGIPI são Migmatito, Metagranito, Metamonzogranito, Metassienito, Metassienogranito (grupo 1, 23% da área) e Metarritmito, Metagrauvaca, Metachert, Formação Ferrífera Bandada, Metatufo, Rocha metavulcânica, Xisto carbonático, Metavulcânica intermediária a máfica, Metavulcanoclástica, Xisto e Filito (grupo 2, 45% da área).

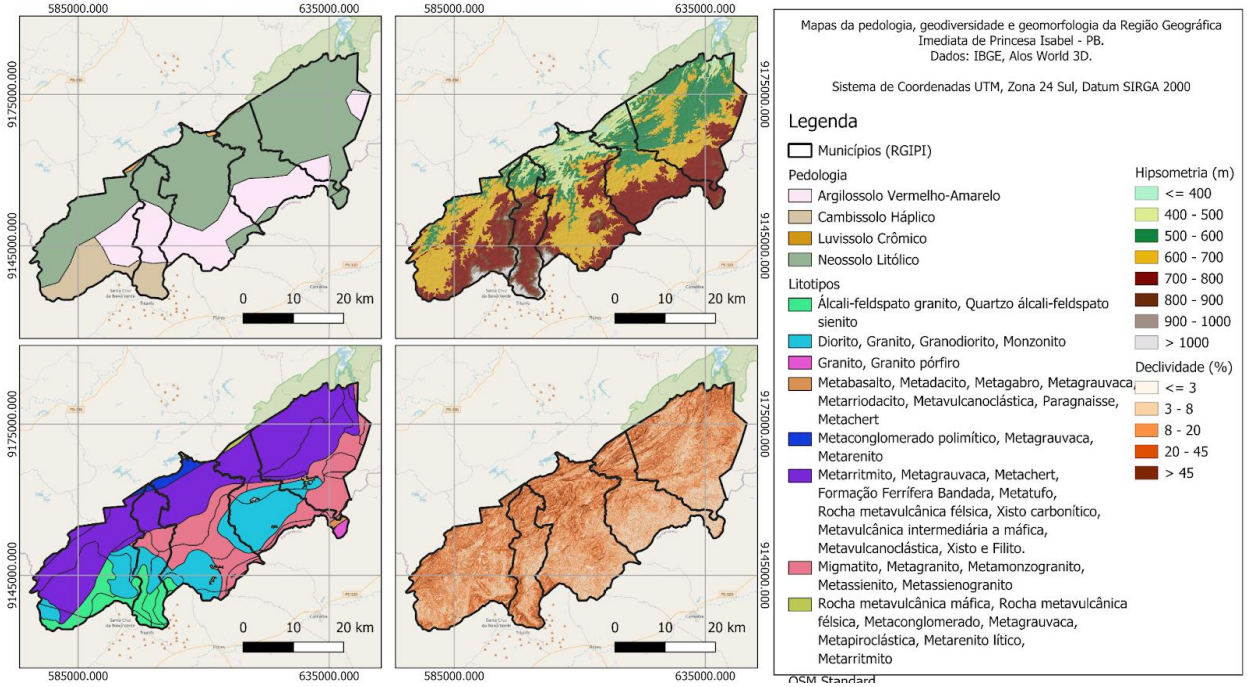


Figura 1 – Mapas da pedologia, geodiversidade e vigor da vegetação na RGIPI.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

No que se refere aos tipos de solo, os neossolos litólicos estão presentes na maior parte da área (64%), que são solos frágeis e de fácil infiltração da água, dificultando seu armazenamento, e que são característicos do semiárido. Os argissolos vermelho-amarelos estão presentes nas faixas onde se localizam as sedes municipais, em 26% da área.

Os mapas indicam áreas com Neossolos Litólicos, solos rasos e pedregosos, frequentemente associados a relevos mais declivosos. Nessas condições, a infiltração de água tende a ser limitada, concentrando-se principalmente em brejos, onde o acúmulo de umidade e o maior vigor da vegetação favorecem a recarga hídrica. Esses ambientes atuam como pontos estratégicos para a manutenção dos fluxos superficiais e subterrâneos. A preservação da cobertura vegetal nessas áreas é essencial, pois o desmatamento ou o uso intensivo do solo agravam o escoamento superficial e a erosão, comprometendo a recarga dos aquíferos e a estabilidade ecológica da região.

Ainda no mapa da Figura 1, sobre a hipsometria da RGIPI, na faixa sul se apresentam altitudes acima de 700 m (70% da área), enquanto no norte, os valores são menores que 600 m (30% da área). No que se refere à declividade do relevo, observa-se a predominância de valores entre 8 e 20%, caracterizando um relevo ondulado, constando também a presença de relevos

fortes-ondulados, montanhosos e escarpados (> 45%).A pluviometria anual acumulada da RGIPI, mostrada no gráfico da Figura 2, evidencia os períodos de estiagem de chuvas entre 2014 e 2024. A região enfrentou uma seca que se encerraria com a ascensão da pluviometria a partir de 2017, sendo o ano de 2016 o de menor índice registrado até então, culminando com chuvas abundantes em 2020, porém retornando aos baixos índices pluviométricos a partir de 2021.

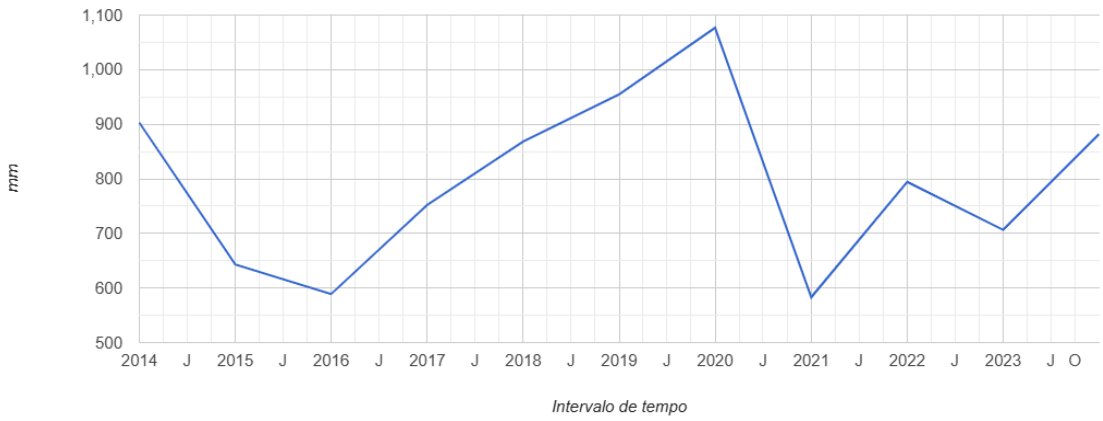


Figura 2 – Pluviometria anual acumulada da Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel, de 2014 a 2024.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Figura 3 se observa o vigor da vegetação, o qual se altera com a mudança de estação chuvosa (normalmente de março a maio) para a estação seca (mais intensa entre setembro e dezembro). Na estação chuvosa o NDVI médio entre março e maio, de 2014 a 2024, mostra valores predominantes entre 0,3 e 05 indicando uma vegetação bem mais vigorosa do que na estação seca, de setembro a dezembro, quando os valores ficam entre 0 e 0,3, devido ao xerofitismo.

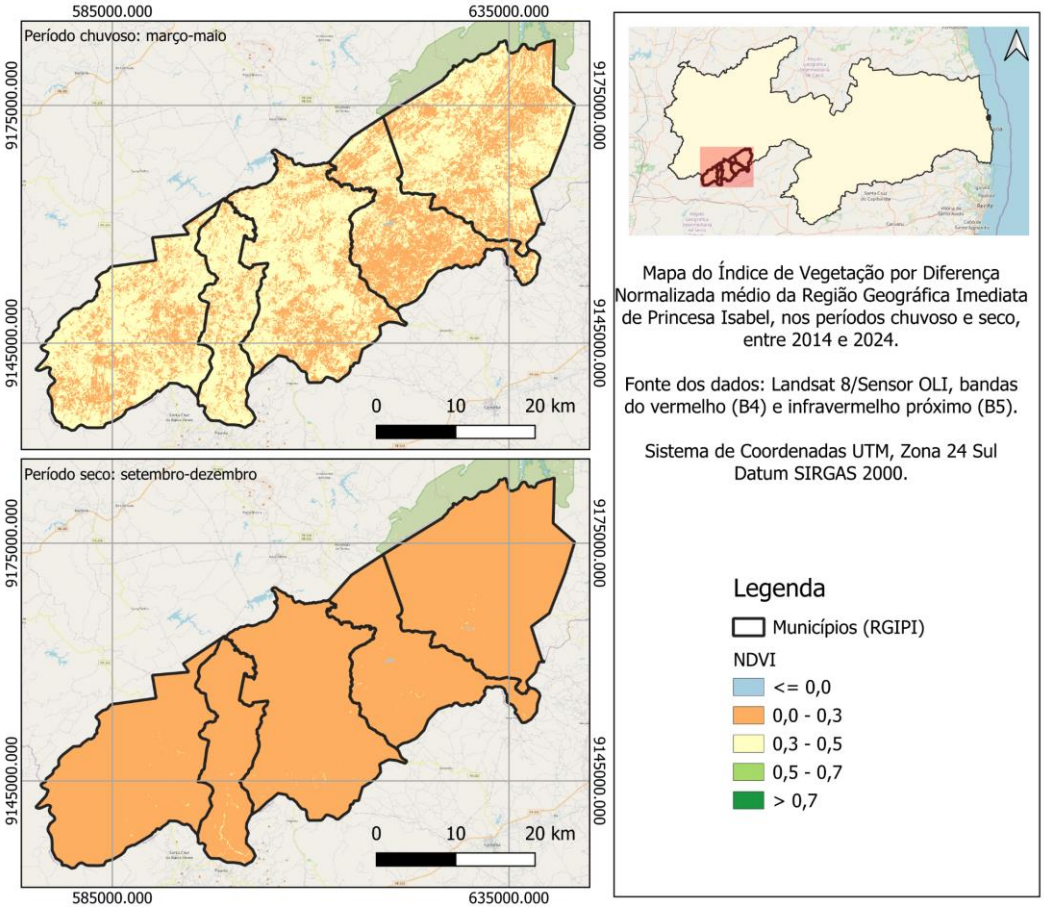


Figura 3 – Mapa do vigor da vegetação na RGIPI.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, considera-se que os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados, uma vez que o ambiente da RGIPI foi caracterizado e foram apresentados elementos geográficos que o constitui. Os próximos passos do projeto devem incluir a análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na RGIPI, a identificação criteriosa dos brejos de altitude e das dinâmicas imprimidas por relações entre a sociedade e a natureza nessas áreas de exceção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Sáber, Aziz Nacib. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

Albuquerque, E. M. de, E. R. V. de Lima, and M. de F. B. de Sousa. "Proposta

metodológica de avaliação da suscetibilidade à degradação ambiental." *Sociedade & Natureza* 35 (2023): e67360. https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67360.

Earth Observation Research Center (EORC) and Japanese Aerospace Exploration Agency (JAXA). *ALOS Global Digital Surface Model (DSM): "ALOS World 3D-30m" (AW3D30) Dataset*. 2017. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v11_format_e.pdf (accessed February 24, 2025).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico Brasileiro*. 2022. https://censo2022.ibge.gov.br/ (accessed February 24, 2025).

Rouse, J. W., H. R. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS." In *NASA ERTS Symposium*, vol. 3, 309–317. 1973.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114536

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS EM LAJES/RN

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS DE APORTE DE PRESAS SUBTERRÁNEAS EN LAJES/RN

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF CONTRIBUTION BASINS OF UNDERGROUND DAMS IN LAJES/RN

João Augusto Marques da Silva[1] ,Rita de Cássia Braga Assunção[2], Maria Alaide Dos Santos[3] e Osvaldo Nogueira de Souza Neto[4].

[1]Engenheiro Civil, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, jonh.augusto@hotmail.com, 0009-0000-3024-3482;
[2] Graduanda em C&T, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, rita.assuncao@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0000-7907-3277;
[3] Graduanda em C&T, UFERSA,Angicos, RN, Brasil, maria.santos62469@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0009-6354-2839;
[4]Prof. Doutor, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, osvaldo.neto@ufersa.edu.br, 0000-0002-6256-4333.

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural.

Eje Temático 09 – Tecnologías digitales en saneamiento rural.

RESUMO

O presente trabalho demonstra a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG), na análise de recursos hídricos voltada para a implantação de barragens subterrâneas (BS) em regiões semiáridas. A pesquisa foi desenvolvida no município de Lajes/RN, situado no extremo oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim. Foram utilizados os softwares QGIS (versão 3.28.11 Firenze) e HEC-HMS (versão 4.11), com dados altimétricos obtidos pelo FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM). A partir da caracterização morfométrica das sub-bacias analisadas, identificou-se que aproximadamente 68,9% da área de estudo apresenta relevo plano e suave-ondulado, condições que favorecem o lento escoamento superficial. Esses resultados demonstram o potencial da região para implantação de barragens subterrâneas, reforçando a importância do uso de ferramentas de geoprocessamento na definição de áreas viáveis para projetos hídricos em ambientes semiáridos.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Barragens subterrâneas, Semiárido.

RESÚMEN

Este trabajo demuestra la aplicación de técnicas de teledetección y geoprocesamiento, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el análisis de recursos hídricos con miras a la implementación de presas subterráneas (EB) en regiones semiáridas. La investigación se desarrolló en el municipio de Lajes, Rio Grande do Norte, ubicado en el

extremo occidental de la Cuenca del Río Ceará-Mirim. Se utilizó el software QGIS (versión 3.28.11 Firenze) y HEC-HMS (versión 4.11), con datos altimétricos obtenidos por FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM). Con base en la caracterización morfométrica de las subcuencas analizadas, se identificó que aproximadamente el 68,9% del área de estudio presenta un relieve plano y suavemente ondulado, condiciones que favorecen la escorrentía superficial lenta. Estos resultados demuestran el potencial de la región para la implementación de presas subterráneas, reforzando la importancia del uso de herramientas de geoprocesamiento en la definición de áreas viables para proyectos hídricos en ambientes semiáridos.

Palabras clave: Geoprocesamiento, Sistema de Información Geográfica (SIG), Presas subterráneas, Región semiárida.

ABSTRACT

This work demonstrates the application of remote sensing and geoprocessing techniques, using Geographic Information Systems (GIS), in the analysis of water resources aimed at the implementation of underground dams (BS) in semiarid regions. The research was developed in the municipality of Lajes, Rio Grande do Norte, located in the western end of the Ceará-Mirim River Basin. The software QGIS (version 3.28.11 Firenze) and HEC-HMS (version 4.11) were used, with altimetric data obtained by FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM). Based on the morphometric characterization of the analyzed sub-basins, it was identified that approximately 68.9% of the study area has flat and gently undulating relief, conditions that favor slow surface runoff. These results demonstrate the region's potential for the implementation of underground dams, reinforcing the importance of using geoprocessing tools in defining viable areas for water projects in semiarid environments.

Keywords: Geoprocessing, Geographic Information System (GIS), Underground dams, Semi-arid region.

INTRODUÇÃO

Em virtude das irregularidades climáticas, o semiárido brasileiro é afetado por longos períodos de escassez hídrica. Essa má distribuição das chuvas acaba sendo um fator preponderante na realidade social e econômica da região semiárida, onde ficam os piores indicadores sociais do Brasil (FERREIRA, 2009), sendo este estudo realizado no município de Lajes/RN.

Dentre as alternativas para a minimização dos impactos e melhoria na convivência do homem do campo em regiões de semiárido estão as obras de instalações de barragens subterrâneas (BS), uma obra de custo relativamente baixo e que atinge níveis de eficiência consideravelmente altos, porém, o que muitas vezes ocorre é a ausência de estudos prévios que permitam que a eficiência desta tecnologia de fato seja obtida.

A fundamentação técnica se faz necessária para a consolidação de um embasamento adequado e que se torne amplamente utilizado e divulgado para toda a comunidade, como um dos pilares principais da ciência, neste caso, para o que diz respeito aos parâmetros como, escolha do local para instalação das barragens subterrâneas, profundidade da vala, necessidade ou não de sangradouro, necessidade ou não de barramento que se eleve acima do nível do terreno, instalação adequada de poço, dentre outros.

Considerando a necessidade de estudos hidrológicos e topográficos preliminares para a locação e instalação de barragens subterrâneas, o objetivo deste trabalho foi obter dados, por meio da caracterização morfométrica de bacias de contribuição para barragens subterrâneas localizadas no município de Lajes/RN, usando ferramentas de geoprocessamento como softwares livres e o Modelo Digital de Terreno do FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM).

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada em uma porção da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim, dentro dos limites políticos e geográficos do município de Lajes/RN (Figura 1), situado Mesorregião Central Potiguar e Microrregião de Angicos, com uma área total de 676,625 km², com população estimada pelo censo de 2022 de 9.866 pessoas, densidade demográfica 14,58 habitantes por quilômetro quadrado e altitude média em torno de 199 m, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

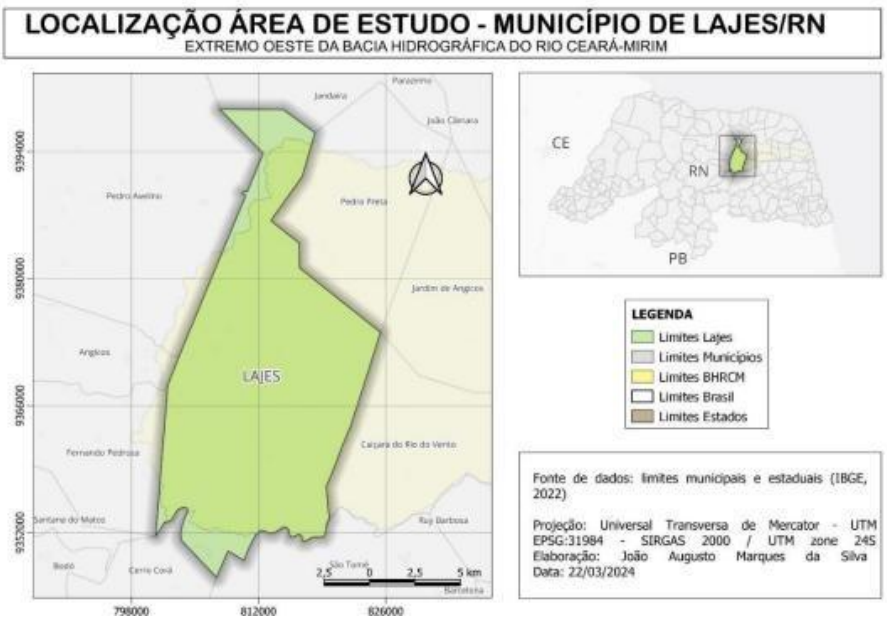


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O município de Lajes/RN apresenta clima muito quente e semiárido, com quadra chuvosa entre fevereiro e abril, temperaturas médias anuais variando de 21,0 °C a 33,0 °C, umidade média de 70% e insolação de cerca de 2.400 horas anuais (CPRM, 2005). Sua vegetação é predominantemente de Caatinga Hipoxerófila, composta por arbustos e árvores espinhosas, além de espécies como mandacaru, macambira, jurema, juazeiro e umburana.

Geologicamente, insere-se na Província Borborema, com litotipos do Complexo Caicó, formações Seridó e Jucurutu, granitóides das suítes Poço da Cruz e Itaporanga, e sedimentos das formações Açu e Jandaíra. Hidrogeologicamente, está localizado nos domínios Intersticial, Kárstico-fissural e Fissural, constituídos por rochas sedimentares, calcários e cristalina. Em relação à pedologia, predominam luvissolos rasos e frágeis, suscetíveis à erosão e salinização, além de solos litólicos eutróficos arenosos, favoráveis a culturas como algodão, feijão e milho, bem como à criação de ovinos e caprinos.

Através da utilização da base de dados geográficos do FABDEM (Forest And Buildings Removed Copernicus DEM), que é produto de pesquisa da University of Bristol voltado a estudos referentes ao relevo terrestre, consiste em um modelo que tem como resultado um mapa onde são removidos os edifícios e árvores que por sua vez causam distorção na leitura da superfície do terreno, estes foram removidos a partir da base de dados do Copernicus GLO 30.

A pesquisa contou com o uso do software livre de geoprocessamento QGIS na versão 3.28.11 Firenze como ferramenta primordial para auxílio na elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT), bem como, a delimitação automática de bacias a partir SIG Whitebox Tools, com o objetivo de obter as informações de terreno necessárias da área de estudo, situada no extremo oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim, mais precisamente, nos limites políticos geográficos do município de Lajes/RN.

Com o uso do plugin Whitebox Tools, foi possível delimitar de forma completa e automática a Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim a partir da determinação de um exutório, e com isso, fazer uma comparação entre o produto obtido de forma automática no software Qgis, e a encontrada na base de dados espaciais do IBGE.

Ao trabalho de delimitação automática da BHRCM, foi realizado os recortes das camadas a serem utilizadas na área de estudo, Para a obtenção das redes de drenagem com a representação dos rios, foi necessária a realização de um cálculo que relaciona um limiar que define a partir de quantas células com base na resolução espacial de 30 m, começa a surgir os canais de drenagem, para isto, foi levado em consideração parâmetros como por exemplo a área da bacia, a área das células, resolução espacial do MDT.

A partir da definição dos elementos a serem estudados, desse modo foi possível caracterizar de forma fisiográfica as sub-bacias B, D, H e L e respectivamente sintetizar uma análise detalhada por meio dos parâmetros obtidos das barragens subterrâneas, através de sua posição dentro de cada sub-bacia, levando em consideração aspectos como área de contribuição, acumulação, declividade do curso d'água, taxa de infiltração relacionado ao tipo de solo, dentre outros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim no QGIS, por meio do método automático WBT, apresentou pequenas diferenças em relação ao traçado disponibilizado pelo IBGE (Figura 2). Essas variações ocorrem principalmente pela posição do exutório ou foz e pelo processamento do relevo no software, que considera parâmetros como a posição dos pixels e a direção do fluxo acumulado (D8 Pointer). Apesar disso, os traçados se assemelham em quase toda a sua totalidade, não comprometendo o desenvolvimento da pesquisa.

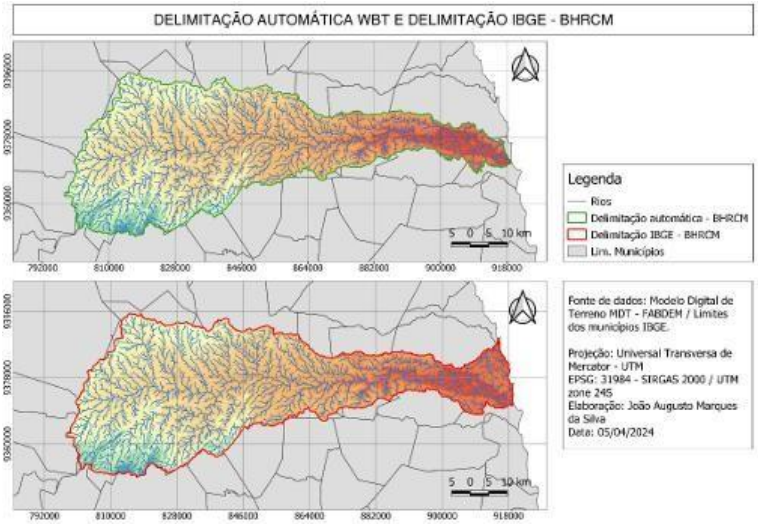


Figura 2. Mapa de delimitação automática WBT e delimitação IBGE - BHRCM.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

As características morfométricas do município apresentam altitudes mínimas, máximas, médias e amplitude altimétrica para Lajes/RN podem ser observadas em forma de dados numéricos (Tabela 1).

Tabela 1. Altitudes características do relevo de Lajes/RN,2025

Altitudes características (m)			
Mínima	**Máxima**	**Média**	**Amplitude altimétrica máxima**
135,65	560,14	347,89	424,49

Fonte: Elaboração própria, 2024.

O relevo da região varia entre 100 m e 600 m, com classes médias de 50 m. No mapa hipsométrico (figura 3) observa-se que as maiores altitudes estão ao sul, as menores ao norte e, na porção central, há declínio oeste–leste, indicando a direção da foz da Bacia do Rio Ceará-Mirim, que segue do sul para o norte, da depressão sertaneja até a planície litorânea.

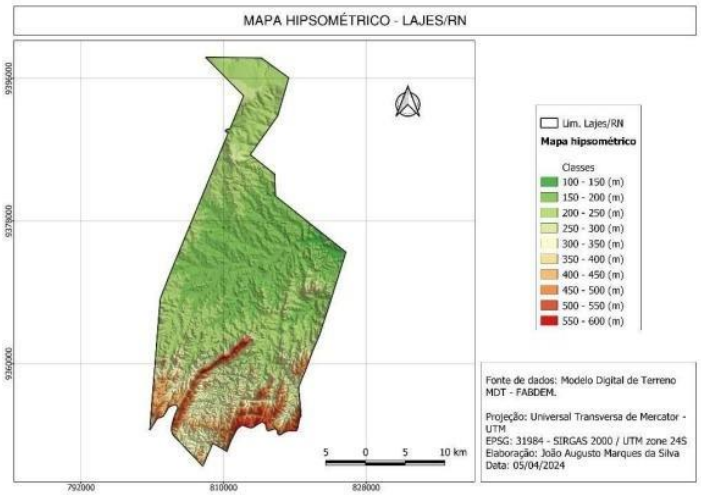


Figura 3. Mapa hipsométrico de Lajes/RN.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Características morfométricas das sub-bacias B, D, H e L.

Para caracterizar de maneira detalhada cada sub-bacia analisada, foram elaborados mapas com características morfométricas de declividade, como também as curvas de declividade contendo as áreas de drenagem em (%) e as altitudes em (m). (Figura 4, 5, 6 e 7).

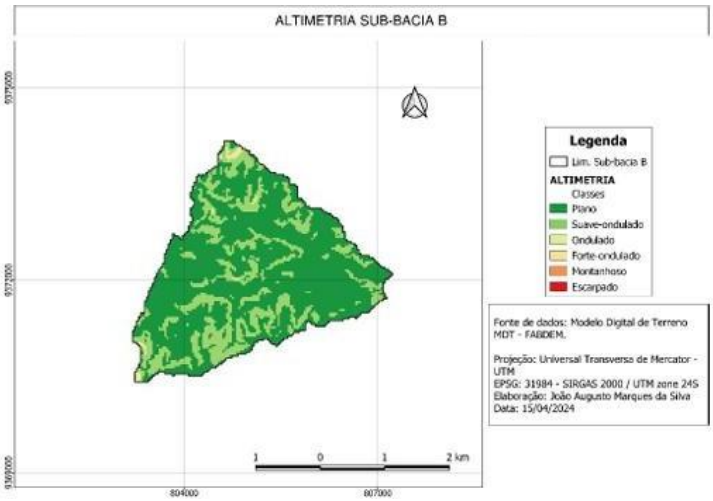


Figura 4. Mapa de declividade – Sub-bacia B.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

A Sub-bacia B revela um relevo predominantemente plano, suave e ondulado. Na maior parte da área prevalece o tom de verde escuro, o que indica uma superfície com poucas variações de altitude, ou seja, uma região com um relevo uniforme e sem grandes declividades.

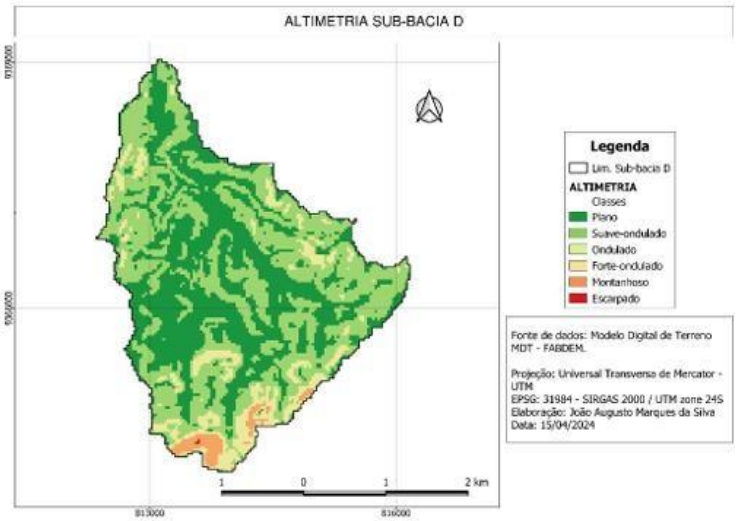


Figura 5. Mapa de declividade – Sub-bacia D.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Na Sub-bacia D na parte central e norte predominam áreas planas e suavemente onduladas, mas no setor sul aparecem trechos mais ondulados e até fortemente ondulados, representados em amarelo e laranja. Assim, há tanto áreas mais planas como porções de relevo inclinado.

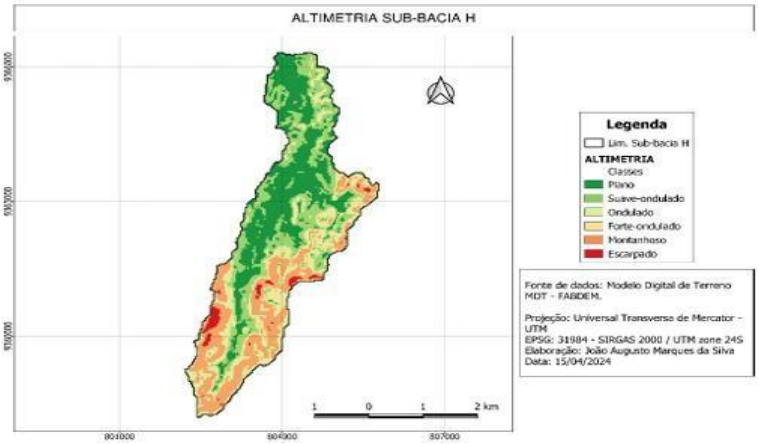


Figura 6. Mapa de declividade – Sub-bacia H.
Fonte: Elaboração própria, 2024

Já na Sub-bacia H na parte oeste aparecem áreas fortemente onduladas, montanhosas e até escarpadas, com cores laranja e vermelha. Já no centro e no leste predominam as áreas planas e suavemente onduladas.

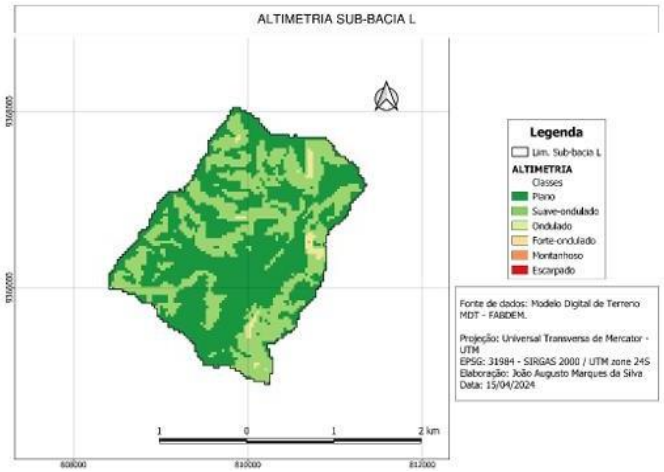


Figura 7. Mapa de declividade – Sub-bacia L.
Fonte: Elaboração própria, 2024

A Sub-bacia L tem relevo simples, semelhante ao da Sub-bacia B. A maior parte da área é plana e suave-ondulada, com apenas alguns pontos isolados mais ondulados.

Quanto aos aspectos morfométricos das sub-bacias, diferem em alguns pontos dos aspectos morfométricos do município de Lajes/RN, apesar de estarem situados dentro da 48 classificação, isso se deve ao fato dos limites das sub-bacias estarem inseridos em uma visão menos global. Com relação às áreas das sub-bacias B, D e L, é possível identificar que as regiões quase que em sua totalidade apresentam altitudes médias semelhantes, 201,3 m; 231,8 m e 199,4 m respectivamente, o que demonstra que existe pouca variação no relevo. Já para a sub- bacia H, tem-se um valor médio de altitude correspondente a 322,9 m, isso ocorre pelo fato dessa sub-bacia em seu extremo sul apresentar elevações de aspecto montanhoso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sub-bacias estudadas apresentam uma variação de altitude considerada baixa, com relevo plano e suave-ondulado em sua maior parte, apresentam também poucas elevações em regiões pontuais, longe das áreas em que as barragens subterrâneas estão construídas, portanto não alteram a afirmação de que as áreas são planas na região de estudo.

As barragens subterrâneas se mostram como uma alternativa muito viável na região em que foi realizado este estudo, devido ser uma tecnologia de relativo baixo custo e que traz benefícios para os pequenos produtores por um longo período de tempo, incluindo o que compreende o período de estiagem que se estende por cerca de 8 meses, característico da região semiárida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, G. et al. Sustentabilidade de agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido brasileiro: a percepção dos agricultores na Paraíba 1 Sustainability of agroecosystems with subsurface dams in Brazilian semiarid: perception of farmers in Paraíba. [s.d.], 2011. Disponível em: Barragens subterrâneas como alternativa para garantia de segurança hídrica em regiões áridas e semiáridas: desafios e oportunidades. Acesso em: 14 de mar. 2024.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore, v. 30, n. 2, p. 241–248, mar. 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rarv/a/cXmkNxXThc8ksdjWwFM6vNt/#ModalHowcite. Acesso em: 14 de abr. 2024.

CIRILO, J. et al. Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semi-árido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. researchgate.net, 2003. Disponível em: Barragens subterrâneas como alternativa para garantia de segurança hídrica em regiões áridas e semiáridas: desafios e oportunidades. Acesso em: 14 de mar. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10492. Acesso em: 15 de abr. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p. Disponível em: Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo como etapa pré-operacional para a indústria de hidrocarbonetos não convencionais. Acesso em: 15 de mar. 2024.

.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, Geol. Soc. America Bulletin, 1945, 56 (3), p.275-370. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10492. Acesso em: 15 de abr. 2024.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114562

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA IOT COM APLICAÇÃO WEB PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM CISTERNAS

DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT CON APLICACIÓN WEB PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA EN CISTERNAS

DEVELOPMENT OF AN IOT SYSTEM WITH A WEB APPLICATION FOR RAINWATER QUALITY ANALYSIS IN CISTERNS

Antonio dos Santos Filho[1], Thyago Torres De Castro Gama[2], Miriam Cleide Cavalcante de Amorim[3].

[1]Bolsista Grupo PET Saneamento Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, antonio.santosfilho@discente.univasf.edu.br, 0000-0002-4074-8350;
[2]Bolsista Grupo PET Saneamento Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, thyago.gama@discente.univasf.edu.br, 0009-0000-1154-2305;
[3]Tutora grupo PET Saneamento Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, miriam.cleide@univasf.edu.br, 0000-0003-0887-7790;.

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural
A integração de IoT (Internet das Coisas) no saneamento rural.

RESUMO

O monitoramento da qualidade da água é fundamental para garantir a segurança no consumo, especialmente em sistemas de captação de água de chuva como cisternas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma plataforma IoT para o monitoramento em tempo real de parâmetros físico-químicos da água em um reservatório de 1000 litros. O sistema utiliza sensores específicos (temperatura, pH, turbidez, condutividade, sólidos suspensos e nível) conectados a um microcontrolador ESP32, com transmissão dos dados via comunicação LoRa para um banco de dados MySQL. A interface web, desenvolvida com React, Vite e TailwindCSS, permite visualização gráfica e análise dos dados coletados. Os resultados incluem a oferta de uma solução eficiente, de baixo custo e escalável para o controle da qualidade da água em cisternas, potencialmente aplicável em ambientes rurais e residenciais. A plataforma contribui para a automação no monitoramento hídrico, podendo apoiar decisões para o uso sustentável desse recurso.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT), Cisterna Inteligente, Sistema Web, ESP32, Comunicação LoRa

RESÚMEN

El monitoreo de la calidad del agua es fundamental para garantizar la seguridad en el consumo, especialmente en sistemas de captación de agua de lluvia como las cisternas. Este trabajo presenta el desarrollo de una plataforma IoT para el monitoreo en tiempo real de

parámetros fisicoquímicos del agua en un reservorio de 1000 litros. El sistema utiliza sensores específicos (temperatura, pH, turbidez, conductividad, sólidos suspendidos y nivel) conectados a un microcontrolador ESP32, con transmisión de los datos vía comunicación LoRa hacia una base de datos MySQL. La interfaz web, desarrollada con React, Vite y TailwindCSS, permite la visualización gráfica y el análisis de los datos recopilados. Los resultados incluyen la oferta de una solución eficiente, de bajo costo y escalable para el control de la calidad del agua en cisternas, potencialmente aplicable en entornos rurales y residenciales. La plataforma contribuye a la automatización del monitoreo hídrico, pudiendo apoyar la toma de decisiones para el uso sostenible de este recurso.

Palabras clave: Internet das Coisas (IoT), Cisterna Inteligente, Sistema Web, ESP32, Comunicação LoRa

ABSTRACT

Water quality monitoring is essential to ensure safe consumption, especially in rainwater harvesting systems such as cisterns. This work presents the development of an IoT platform for real-time monitoring of physicochemical parameters of water in a 1000-liter reservoir. The system employs specific sensors (temperature, pH, turbidity, conductivity, suspended solids, and level) connected to an ESP32 microcontroller, with data transmission via LoRa communication to a MySQL database. The web interface, developed with React, Vite, and TailwindCSS, enables graphical visualization and analysis of the collected data. The results include the provision of an efficient, low-cost, and scalable solution for water quality control in cisterns, potentially applicable in rural and residential environments. The platform contributes to the automation of water monitoring, supporting decision-making for the sustainable use of this resource.

Keywords: Internet of Things (IoT), Smart Cistern, Web System, ESP32, LoRa Communication

INTRODUÇÃO

A qualidade da água em sistemas rurais de captação, como cisternas, é essencial para garantir a saúde das populações e a sustentabilidade do recurso hídrico, principalmente em regiões semiáridas do Brasil, onde a água de chuva é amplamente utilizada (Barros 2025). O monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água em tempo real pode evitar riscos relacionados ao consumo e facilitar a gestão do recurso hídrico (Silva 2020). Entretanto, como observam Conceição et al. (2024), os métodos tradicionais de detecção de vazamentos apresentam custos elevados e baixa eficiência, o que limita sua aplicabilidade em diferentes contextos e reforça a necessidade de soluções mais acessíveis e inovadoras.

Nesse cenário, a Internet das Coisas (IoT) surge como uma solução promissora e de

baixo custo para o saneamento rural, permitindo a automação da coleta de dados e controle da qualidade da água (Kubota 2023). Sistemas IoT com sensores integrados e comunicação sem fio, como LoRa e Wi-Fi, possibilitam a transmissão dos dados a plataformas web para visualização e análise dinâmica, o que é fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos em comunidades rurais (Medeiros 2023; Xavier 2021). A implementação tecnológica associada a interfaces intuitivas e acessíveis amplia o impacto social dessas soluções, alinhando ciência, tecnologia e inclusão social (Silva e Espejo 2024).

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema IoT de baixo custo, com uma aplicação web integrada, para o monitoramento da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas residenciais e rurais. O sistema utiliza sensores físico-químicos conectados a um microcontrolador ESP32, comunicando-se via LoRa a um banco de dados *MySQL*, cuja visualização se dá por meio de uma interface web desenvolvida com *React*, *Vite* e *TailwindCSS*. Essa abordagem visa oferecer uma solução escalável, acessível e eficiente, alinhada às demandas atuais por sustentabilidade e inovação tecnológica no saneamento básico rural.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do sistema foi dividido em etapas integradas: seleção e montagem dos sensores físicos, configuração do microcontrolador, implementação da comunicação sem fio, estruturação do banco de dados e construção da interface *web* para visualização dos dados coletados .

Foram utilizados sensores para monitoramento dos principais parâmetros físico-químicos da água: temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais (TSS) e nível de água. Cada sensor foi instalado em um reservatório (1000L) e conectado ao microcontrolador ESP32, responsável pela leitura e tratamento inicial dos sinais, usando conversores analógico-digital quando necessário. A transmissão dos dados coletados ocorre via módulo LoRa SX1278, operando em 433 MHz, permitindo comunicação peer-to-peer entre o ESP32 embarcado na cisterna e um *gateway* conectado à internet. Os dados recebidos pelo *gateway* são enviados para um banco de dados *MySQL*, possibilitando o armazenamento histórico e a análise dos parâmetros monitorados. A **Figura 1** apresenta o diagrama esquemático do sistema de monitoramento, destacando o fluxo dos dados desde a

leitura pelos sensores no reservatório de 1000L até a visualização na aplicação web

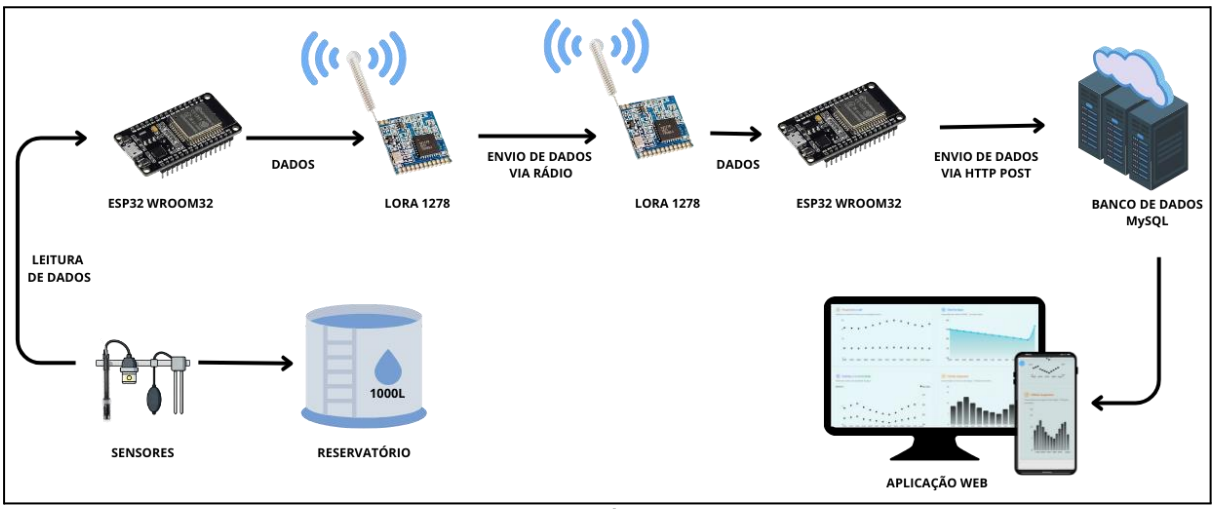


Figura 1. Arquitetura do Sistema IoT para Qualidade da Água
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A interface web foi desenvolvida utilizando ferramentas especializadas que facilitam a construção e otimização do sistema. A biblioteca *React* foi empregada para a estruturação dos componentes visuais, enquanto o *Vite* proporcionou otimizações no ambiente de desenvolvimento. Para a estilização responsiva e adequada a diferentes dispositivos, foi utilizado o *framework TailwindCSS*.

O projeto adotou o padrão arquitetural *Model-View-Controller (MVC)*, que divide a aplicação em três camadas distintas: o *Model*, responsável pela lógica e manipulação dos dados; a *View*, encarregada da apresentação visual ao usuário; e o *Controller*, que atua como intermediário comunicando as ações entre *Model* e *View,* como mostrado na **Figura 2**. Essa separação promove uma melhor organização do código, facilita a manutenção e a escalabilidade da aplicação (Sommerville, 2011; Reenskaug, 1979).

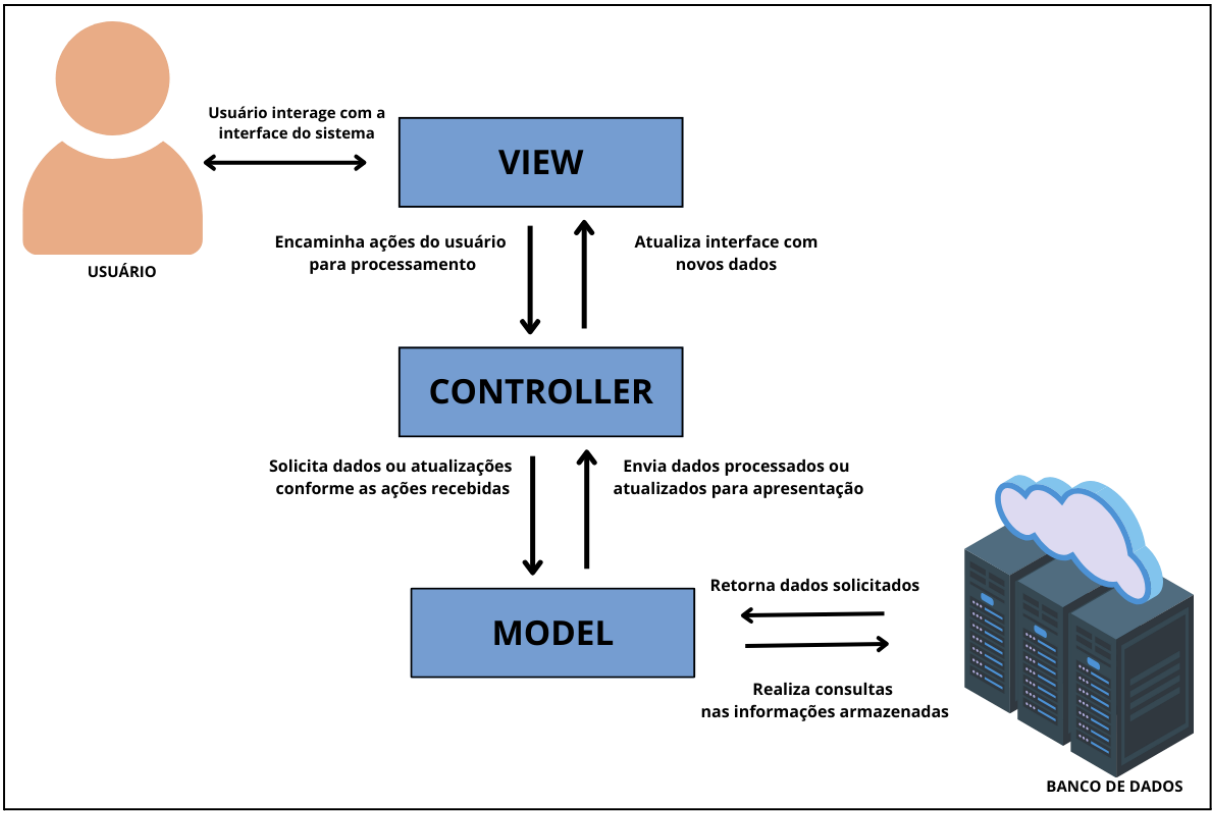


Figura 2. Diagrama da arquitetura MVC (Model-View-Controller) utilizada no projeto
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A camada de apresentação, também denominada frontend, realiza a comunicação com o banco de dados através de uma API (Application Programming Interface), que serve como intermediária para o acesso e transporte dos dados. Esta arquitetura promove um desacoplamento entre interface e backend, facilitando a manutenção e evolução do sistema.

O desenvolvimento da aplicação seguiu uma abordagem iterativa e incremental, permitindo ajustes contínuos conforme testes e validações eram realizados. Inicialmente, foram definidos os requisitos funcionais e não funcionais, seguidos pela elaboração do protótipo da interface e da arquitetura de comunicação. Em cada ciclo, funcionalidades foram implementadas e submetidas a testes unitários e de integração, garantindo a confiabilidade das operações.

As validações foram realizadas em ambiente controlado, comparando leituras dos sensores com padrões de referência e simulando diferentes condições de qualidade da água no reservatório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados pelo sistema IoT demonstraram a eficácia na leitura em tempo real dos parâmetros físico-químicos essenciais para a avaliação da qualidade da água de chuva armazenada na cisterna. A **Figura 3** apresenta a interface inicial do sistema, onde as leituras instantâneas de temperatura, pH, turbidez, condutividade, sólidos suspensos totais e nível de água são exibidas de forma clara e acessível, facilitando o monitoramento remoto pelos usuários. A resposta rápida dos sensores aliada à transmissão estável dos dados via comunicação LoRa comprova a viabilidade técnica da solução para ambientes rurais.

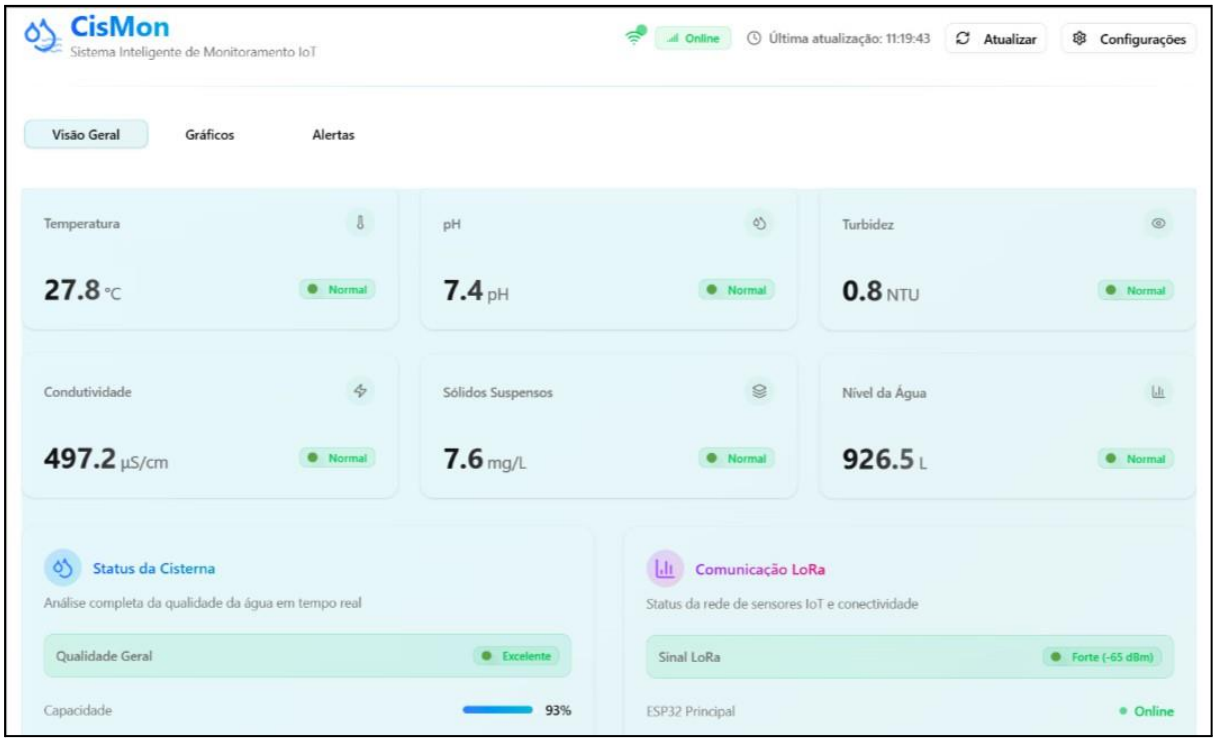


Figura 3. Interface inicial do sistema IoT com leituras em tempo real dos sensores
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A visualização gráfica dos parâmetros, mostrada na **Figura 4**, permite uma análise temporal e comparativa dos dados monitorados, destacando padrões e eventuais variações de qualidade ao longo do período de observação.

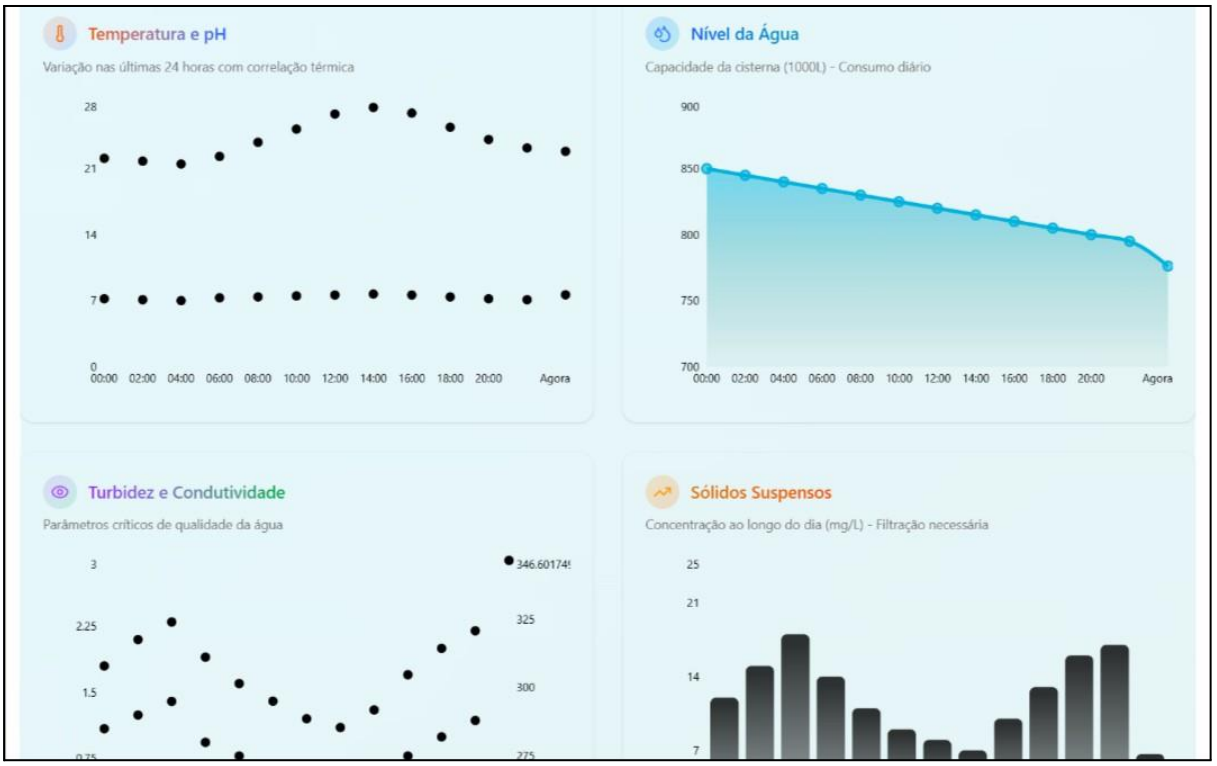


Figura 4. Visualização gráfica dos parâmetros de qualidade da água no sistema IoT
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os sensores empregados foram calibrados e validados em ambiente controlado, apresentando leituras condizentes com os valores esperados. A comunicação LoRa, por sua vez, mostrou-se estável mesmo em meio às possíveis interferências ambientais típicas de áreas rurais, permitindo a transmissão contínua dos dados para o banco MySQL.

Além da confiabilidade das medições, o monitoramento contínuo possibilitou a observação de variações nos parâmetros físico-químicos durante diferentes períodos do dia, evidenciando influências ambientais, como variações de temperatura e incidência solar, que afetam diretamente a qualidade da água armazenada. O sensor de turbidez apresentou menor precisão durante os testes, possivelmente devido ao ambiente aberto da cisterna, onde a incidência direta de luz interfere na medição óptica do sensor. A luz ambiente pode causar dispersão e reflexos que prejudicam a detecção correta das partículas em suspensão, afetando a exatidão dos resultados. Essa limitação é comum em sensores de turbidez utilizados em reservatórios não fechados, conforme observado em estudos sobre a aplicação prática desses dispositivos em ambientes externos.

Para a medição da temperatura, utilizou-se o sensor DS18B20 à prova d'água,

conhecido pela sua precisão na faixa de -55 °C a 125 °C e pela robustez adequada para ambientes úmidos, garantindo leituras confiáveis mesmo em contato direto com a água. Já para a avaliação do pH da água, foi empregado o sensor acoplado ao módulo de leitura BNC PH4502C, cuja função é essencial para identificar possíveis contaminações e desequilíbrios químicos por meio da medição da acidez ou alcalinidade. Durante as operações, constatou-se que o sensor de pH é sensível às variações ambientais, principalmente da temperatura da água, o que evidencia a necessidade da compensação térmica para garantir que as leituras obtidas sejam precisas e representem com fidelidade as condições reais do reservatório. Além disso, a calibração periódica do sensor mostrou-se indispensável para manter a confiabilidade das medições ao longo do tempo, uma vez que a exposição constante ao meio aquoso pode causar desgaste do eletrodo e influenciar os resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema integrado demonstrou ser eficiente na coleta, transmissão e armazenamento dos dados dos sensores, permitindo acompanhamento remoto e análise contínua dos parâmetros físico-químicos da água, o que reforça a viabilidade e aplicabilidade da solução para ambientes residenciais e rurais. A confiabilidade dos dados foi ratificada pelos testes realizados, que evidenciaram a precisão das medições e a estabilidade da comunicação via LoRa, além da usabilidade da plataforma.

A utilização de tecnologias como *React, Vite e TailwindCSS* garantiu uma experiência responsiva e intuitiva para o usuário, permitindo a visualização clara dos dados coletados pelos sensores. A comunicação com o banco de dados via API demonstrou-se estável, assegurando a integridade e atualização contínua das informações na aplicação *web*.

No entanto, surgem questionamentos quanto à necessidade de ampliar os testes para diferentes contextos ambientais e operacionais, bem como a inclusão de um maior número e variedade de sensores para uma avaliação mais abrangente da qualidade da água. O sistema atual pode ser aperfeiçoado com a implementação de alertas automáticos em email, SMS ou até mesmo *whatsapp* para situações críticas e a integração com outras plataformas IoT, potencializando o monitoramento e a resposta a eventuais problemas.

Sugere-se, como continuidade, a exploração de melhorias na interface de usuário, visando maior intuitividade e personalização dos relatórios, além de estudos para otimização

do consumo energético dos dispositivos embarcados. A integração com técnicas de análise preditiva e inteligência artificial também pode ser investigada, ampliando a capacidade de antecipação e mitigação de riscos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PET-MEC, FNDE pelo incentivo financeiro e à Univasf pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, N. N. 2025. "Monitoramento por IoT para avaliação de consumo de água em sistemas rurais." Revista de Tecnologia Sanitária (RTS). https://www.scielo.br/j/ac/a/WSys4Tp7brX7w83Yvt39YgP/.

Conceição, Ana Beatriz das Neves, Jossylyn Dayanny Casseb Campos, Denis Carlos Lima Costa, e Verônica Scarpini Candido. 2024. "Implementação da IoT em estação de tratamento de água para detecção de vazamentos por telemetria utilizando microcontrolador." Documento apresentado em São Paulo, SP, Brasil. https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/868854/2/Automacao_ABM.pdf.

Kubota, L. C. 2023. "Internet das Coisas e conectividade no campo: potencialidades e desafios." IPEA. https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/98ae2d92-0cfc-44d0-a4ae-544f452678dc/content.

Medeiros, A. S. 2023. "Monitoramento e medição de água em um campus inteligente baseado em IoT." Repositório IFPB. https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/2834.

Reenskaug, Trygve. 1979. "Model-View-Controller (MVC): Conceptual Original." Xerox PARC.

Silva, W. B. L. Junior. 2020. "Monitoramento da qualidade da água utilizando IoT: desenvolvimento prático de sistema automatizado." Humanidades e Inovação 10 (2). https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/2185/1655.

Silva, Eduardo Corneto, e Márcia Maria dos Santos Bortolocci Espejo. 2024. "Adoção da Internet das Coisas (IoT) na agropecuária: uma revisão sistemática no contexto rural brasileiro." INTER - Revista de Comunicação, Informação e Cultura 25, no. 4. https://www.scielo.br/j/inter/a/78rJKPRVQmQBm6tzGQNBcZz/.

Sommerville, Ian. 2011. Software Engineering. 9th ed. São Paulo: Pearson.

Xavier, Felipe. 2021. "Desenvolvimento de dispositivo IoT de baixo custo para

monitoramento da qualidade da água." Trabalho de conclusão de curso (TCC), UTFPR. https://tsi.td.utfpr.edu.br/~edson/TCCs/Felipe_Xavier_TCC2_REV01.pdf.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114586

GESTÃO HÍDRICA RURAL: APLICAÇÃO DE BUSINESS INTELLIGENCE PARA O CONTROLE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO EM PARATINGA-BA

GESTIÓN HÍDRICA RURAL: APLICACIÓN DE BUSINESS INTELLIGENCE PARA EL CONTROL DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO EN PARATINGA-BA

RURAL WATER MANAGEMENT: APPLICATION OF BUSINESS INTELLIGENCE FOR THE CONTROL OF SUPPLY SYSTEMS IN PARATINGA-BA

Vitor dos Santos Torres[1], Melissa de Jesus Menezes[2], Camila Leal Vieira[3] e Moisés Ferreira Eleutério Silva[4].

[1]Discente, Universidade Estadual de Feira de Santana,Feira de Santana, Brasil,vitormlsp457@gmail.com ;
[2]Discente, Universidade Estadual de Feira de Santana,Feira de Santana, Brasil, melissamenezesj@gmail.com;
[3]Mestre, Universidade Estadual de Feira de Santana,Feira de Santana, Brasil, clvieira@uefs.br, nº de ORCID;
[4]Mestre, Senai Cimatec, Salvador, Brasil, moises.silva@fieb.org.br, nº de ORCID.

Eixo Temático 09 – Tecnologias Digitais no Saneamento Rural
Aplicações de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural.
Eje Temático 09 – Tecnologías Digitales en el Saneamiento Rural
Aplicaciones de tecnologías digitales en el monitoreo del agua y saneamiento rural.

RESUMO

A modernização da gestão hídrica em áreas rurais é um passo fundamental para garantir a sustentabilidade, a eficiência e a continuidade dos sistemas de abastecimento. Esse processo vai além da simples adoção de novas tecnologias, envolvendo também a reestruturação de práticas administrativas e a valorização de dados como elementos centrais na formulação de estratégias. No município de Paratinga-BA, diversas comunidades são atendidas por sistemas autônomos gerenciados por uma associação local. Entretanto, o modelo de gestão convencional, apesar de cumprir sua função básica, apresenta fragilidades operacionais que comprometem a eficácia do serviço. As principais dificuldades identificadas estão relacionadas à coleta e ao registro das informações de maneira sistemática, à dispersão dos dados em diferentes formatos e à ausência de uma visão integrada das operações. Esses fatores, em conjunto, dificultam a análise precisa do desempenho, atrasam a adoção de medidas corretivas e limitam a tomada de decisões estratégicas, essenciais para a sustentabilidade de longo prazo. Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia de controle apoiada em ferramentas de Business Intelligence (BI), com vistas a promover maior operabilidade aos sistemas. A pesquisa foi estruturada como um projeto piloto em três comunidades rurais do município. Nessa etapa, os dados históricos de operação e faturamento, que antes estavam dispersos em fichas manuais e planilhas pouco padronizadas, foram organizados, tratados e avaliados com o uso da linguagem de programação Python. Os resultados do estudo foram consolidados em um painel de controle (dashboard) interativo construído na ferramenta Power BI. Esse recurso permitiu aos gestores visualizar de forma clara, intuitiva e dinâmica indicadores de desempenho (KPIs), como o índice de perdas de água, a taxa de inadimplência e o custo por metro cúbico produzido. Conclui-se que a aplicação de técnicas de BI mostrou-se uma estratégia eficaz para modernizar a gestão hídrica rural, transformando dados brutos em inteligência útil para a tomada de decisão. Além disso, o modelo desenvolvido se apresenta como replicável e

adaptável a outras localidades, fortalecendo tanto a autonomia comunitária quanto a sustentabilidade dos serviços de abastecimento.

Palavras-chave: Saneamento rural, Business Intelligence, Gestão de dados, Indicadores de desempenho.

RESUMEN

La modernización de la gestión hídrica en áreas rurales es un paso fundamental para garantizar la sostenibilidad, la eficiencia y la continuidad de los sistemas de abastecimiento. Este proceso va más allá de la simple adopción de nuevas tecnologías, implicando también la reestructuración de prácticas administrativas y la valorización de los datos como elementos centrales en la formulación de estrategias. En el municipio de Paratinga-BA, varias comunidades son atendidas por sistemas autónomos gestionados por una asociación local. Sin embargo, el modelo de gestión convencional, a pesar de cumplir su función básica, presenta debilidades operativas que comprometen la eficacia del servicio. Las principales dificultades identificadas están relacionadas con la recopilación y el registro sistemático de la información, la dispersión de los datos en diferentes formatos y la ausencia de una visión integrada de las operaciones. Estos factores, en conjunto, dificultan el análisis preciso del rendimiento, retrasan la adopción de medidas correctivas y limitan la toma de decisiones estratégicas, esenciales para la sostenibilidad a largo plazo. Ante este escenario, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una metodología de control apoyada en herramientas de Business Intelligence (BI), con miras a promover una mayor operatividad de los sistemas. La investigación se estructuró como un proyecto piloto en tres comunidades rurales del municipio. En esta etapa, los datos históricos de operación y facturación, que antes estaban dispersos en fichas manuales y hojas de cálculo poco estandarizadas, fueron organizados, procesados y evaluados utilizando el lenguaje de programación Python. Los resultados del estudio se consolidaron en un panel de control (dashboard) interactivo construido en la herramienta Power BI. Este recurso permitió a los gestores visualizar de forma clara, intuitiva y dinámica indicadores clave de rendimiento (KPIs), como el índice de pérdidas de agua, la tasa de morosidad y el costo por metro cúbico producido. Se concluye que la aplicación de técnicas de BI demostró ser una estrategia eficaz para modernizar la gestión hídrica rural, transformando datos brutos en inteligencia útil para la toma de decisiones. Además, el modelo desarrollado se presenta como replicable y adaptable a otras localidades, fortaleciendo tanto la autonomía comunitaria como la sostenibilidad de los servicios de abastecimiento.

Palabras clave: Saneamiento rural, Business Intelligence, Gestión de datos, Indicadores de desempeño.

ABSTRACT

The modernization of water management in rural areas is a fundamental step to ensure the sustainability, efficiency, and continuity of supply systems. This process goes beyond the simple adoption of new technologies, also involving the restructuring of administrative practices and the valorization of data as central elements in strategy formulation. In the municipality of Paratinga-BA, several communities are served by autonomous systems managed by a local association. However, the conventional management model, despite fulfilling its basic function, presents operational weaknesses that compromise the effectiveness

of the service. The main difficulties identified are related to the systematic collection and recording of information, the dispersion of data in different formats, and the absence of an integrated view of operations. These factors, together, hinder accurate performance analysis, delay the adoption of corrective measures, and limit strategic decision-making, which is essential for long-term sustainability. Given this scenario, the present work aimed to develop a control methodology supported by Business Intelligence (BI) tools, with a view to promoting greater operability for the systems. The research was structured as a pilot project in three rural communities of the municipality. In this stage, historical operational and billing data, which were previously dispersed in manual records and poorly standardized spreadsheets, were organized, processed, and evaluated using the Python programming language. The study results were consolidated into an interactive dashboard built in the Power BI tool. This resource allowed managers to clearly, intuitively, and dynamically visualize key performance indicators (KPIs), such as the water loss index, the delinquency rate, and the cost per cubic meter produced. It is concluded that the application of BI techniques proved to be an effective strategy to modernize rural water management, transforming raw data into useful intelligence for decision-making. Furthermore, the developed model is presented as replicable and adaptable to other locations, strengthening both community autonomy and the sustainability of supply services.

Keywords: Rural sanitation, Business Intelligence, Data management, Performance indicators.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável é uma condição essencial para o desenvolvimento social e para a promoção da saúde pública, especialmente em áreas rurais, onde a gestão dos sistemas de abastecimento frequentemente encontra desafios (Macêdo et al., 2025). Em Paratinga-BA, diversas comunidades rurais são atendidas por sistemas autônomos descentralizados, gerenciados por uma associação local. Embora esse modelo cumpra sua função principal de assegurar o fornecimento de água às populações atendidas, estudos indicam que o desempenho técnico e financeiro apresenta fragilidades, como lacunas na coleta de dados, limitações no planejamento de reparos e dificuldades na arrecadação e gestão de recursos de forma sustentável (Chowns, 2015).

A ausência de informações consolidadas e de mecanismos integrados de acompanhamento limita a eficiência da operação, reduz a previsibilidade das manutenções e restringe a adoção de estratégias gerenciais mais assertivas. Ainda assim, mesmo diante dessas dificuldades, os sistemas conseguem cumprir seu propósito central de garantir o acesso à água, ainda que de forma passível de aprimoramentos. Esse cenário, caracterizado pela dispersão de registros e pela carência de uma visão global dos dados, evidencia a necessidade de uma reestruturação metodológica que fortaleça a sustentabilidade e a capacidade de resposta,

assegurando não apenas a continuidade, mas também a melhoria progressiva da qualidade do serviço prestado.

Em resposta ao quadro, tem crescido na literatura uma transição em direção à abordagem de Service Delivery ("entrega de serviço"). Nessa nova concepção, a tecnologia é um elemento chave. Ferramentas que possibilitem o monitoramento remoto, acompanhando o funcionamento dos sistemas à distância, em tempo real, e as que alimentem os sistemas de informação, organizem e analisem os dados coletados, são vistas como um caminho para reestruturar a forma com que o abastecimento da água é administrado nas zonas rurais (Thomson, 2020). Essa abordagem, que busca transformar dados brutos em índices operacionais e financeiros, justifica a aplicação dos modelos baseados em Business Intelligence (BI).

Embora em escala e recursos distintos, a lógica por trás dessa transformação digital já é usada por grandes concessionárias do setor, como a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). Empresas como a EMBASA utilizam sistemas avançados de telemetria (medição e transmissão de dados à distância), setorização de redes (DMA - District Metered Areas) para identificar e isolar problemas em partes específicas da rede, e painéis de BI para monitoramento em tempo real, detecção de vazamentos e gestão comercial eficiente.

A adaptação dessa metodologia na realidade das associações comunitárias permite atingir, ainda que de forma simplificada e com baixo custo, benefícios importantes. Isso incluiu a centralização de dados dispersos, a definição de indicadores de desempenho (KPIs) relevantes à realidade local e a agilidade na identificação de falhas. Logo, tais avanços são importantes para superar desafios comuns no saneamento rural, como a dificuldade na implantação de tecnologias apropriadas que mantenham o custo operacional baixo e a necessidade de recursos financeiros que recuperem e melhorem a eficiência energética, conforme apontado na seção sete do Caderno Temático sobre Gestão Alternativa do Saneamento Rural que aborda o Modelo de Gestão das Centrais de Associações (Bahia), base deste estudo.

Ao oferecer ferramentas para monitoramento e conversão dados operacionais em indicadores de fácil compreensão, a metodologia proposta contribui diretamente para o empoderamento e fortalecimento das associações, a melhoria da qualidade de vida e a redução de doenças de transmissão hídrica, alinhando-se aos pontos fortes de modelos de gestão comunitária bem-sucedidos (MOREIRA; MACEDO; MACHADO, 2024).

Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de controle, apoiada em instrumentos de análise de dados, para promover maior eficiência operacional e sustentabilidade financeira nos sistemas de abastecimento de água gerenciados por associações locais. Como objetivos específicos, buscou-se: (1) centralizar e estruturar os dados quantitativos e qualitativos dos sistemas; (2) estruturar um conjunto de indicadores de desempenho geral, previamente utilizados pela central, para a avaliação individualizada dos sistemas; e (3) construir um painel de controle (dashboard) interativo para visualização dos dados e apoio à tomada de decisão.

METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no município de Paratinga, localizado no Vale São-Franciscano da Bahia. Conforme dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024), o município possui uma população de 29.252 habitantes, com 58,1% residindo em áreas rurais. Apenas 46,7% dos domicílios são abastecidos pela rede geral de água, com o clima predominantemente semiárido na região, caracterizado por baixa pluviosidade anual e alta variabilidade climática, a gestão dos recursos hídricos torna-se complexa sendo um desafio significativo no acesso ao saneamento básico. Os sistemas de abastecimento de água (SAA) em Paratinga são geridos pela Central de Associações Comunitárias de Caetité, com suporte técnico da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB), que executa políticas públicas de saneamento rural no estado. A CERB, em seus projetos, incorpora ações de educação sanitária, ambiental e controle social, estimulando a participação comunitária na gestão, práticas fortalecidas pelo Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável (PDRS – Bahia Produtiva).

Dado o elevado número de sistemas de abastecimento de água no município e a complexidade gerada pela descentralização das informações, a pesquisa foi desenvolvida como um projeto piloto selecionando inicialmente sistemas similares para a construção de um modelo de gestão replicável. Dessa forma, foram selecionadas 12 comunidades rurais das 59 geridas pela central: Volta da Serra e Teiú-Linha, Pereiro do Mocambo, Macambira e Mocambo, Salina, Ponte, Canafístula, Leite, Conceição, Paulista, Poção Santo Antônio, Lagoa de Cima e Malhada do Juá. No entanto, apenas três desses sistemas (Volta da Serra e Teiú-Linha, Paulista e Pereiro do Mocambo) foram os sistemas selecionados para a pesquisa. A escolha se deu por

possuírem a maior taxa de informação e representarem a diversidade de desafios operacionais e financeiros encontrados na região, o que permitiu uma análise mais consistente e a elaboração de um modelo replicável a outros contextos similares no município.

O fluxo das ações desenvolvidas no decorrer da pesquisa, comentadas nos objetivos anteriormente, pode ser visualizado de forma reduzida na Figura 1.

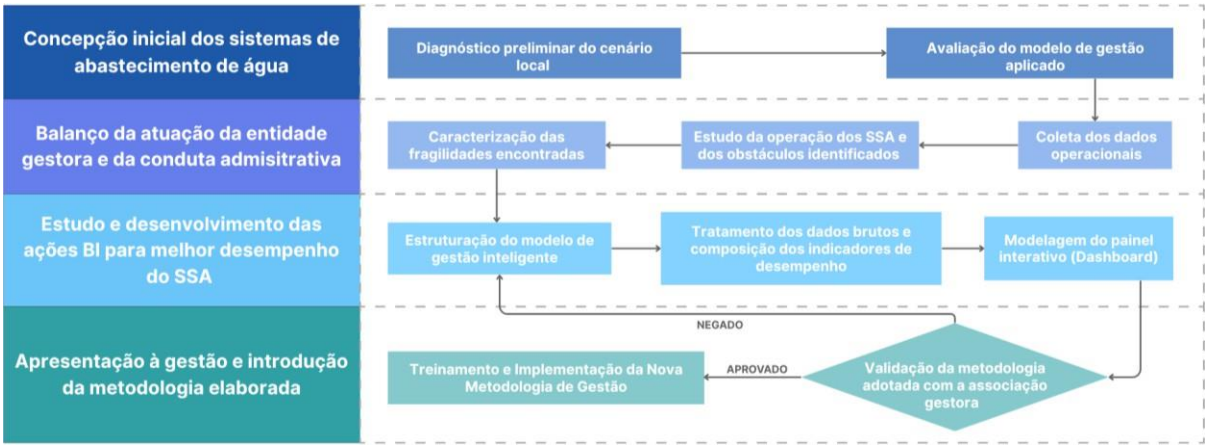


Figura 1. Fluxograma da metodologia desenvolvida.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

De início, a primeira etapa da metodologia concentrou-se na obtenção, centralização e padronização das informações operacionais e financeiras junto à associação gestora. Os dados históricos, que abrangiam registros de produção, consumo, faturamento, inadimplência e custos operacionais, encontravam-se dispersos em diversas fontes, como fichas de anotações manuais e múltiplas planilhas. Dada a inconsistência e a fragmentação dessas informações, procedeu-se à coleta minuciosa e à subsequente centralização e padronização em uma única base de dados inicial, garantindo a integridade e a uniformidade necessárias para as etapas subsequentes.

Posteriormente, a segunda etapa foi dedicada à análise e modelagem dos dados, para isto, empregou-se a linguagem de programação Python como ferramenta principal. Utilizando bibliotecas como Pandas para manuseio e visualização da base única desenvolvida na etapa anterior, realizou-se o tratamento e a limpeza dos dados brutos, que incluiu a identificação e correção de inconsistências, o preenchimento de falhas e padronização de formatos. Em seguida, uma análise exploratória aprofundada permitiu identificar padrões de consumo, tendências de faturamento e a correlação entre variáveis operacionais e financeiras. Esse processo foi fundamental para a estruturação e o cálculo dos principais indicadores de

desempenho operacional para os sistemas, utilizados preliminarmente de maneira global pela central.

Por fim, a terceira etapa, centrada na visualização e gestão, consistiu na exportação dos dados tratados e dos KPIs calculados para alimentar um dashboard interativo. Este painel foi produzido na ferramenta Power BI, para oferecer uma visualização clara, objetiva e dinâmica do desempenho dos sistemas. O dashboard permite o monitoramento pela central gestora dos indicadores ao longo do tempo, facilita a identificação de possíveis interrupções no abastecimento, planejando, assim, metas alternativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia proposta gerou resultados significativos, culminando em um modelo de gestão de dados estratégico para os sistemas de abastecimento de água avaliados neste estudo. O processo iniciou-se superando o desafio da fragmentação das informações, resultando na criação de uma base de dados administrável. Embora em um formato ainda simplificado, a consolidação dos registros mensuráveis, antes dispersos em fichas manuais e planilhas, representou um avanço fundamental, garantindo a integridade e a consistência necessárias para as análises subsequentes. Com a introdução da linguagem de programação, otimizou-se o tratamento dos dados de forma automatizada. Esse refinamento da base de dados viabilizou análises exploratórias relevantes para a composição dos indicadores de desempenho (KPIs) em cada sistema.

A etapa final consolidou os dados processados e os KPIs em um painel de controle interativo. O dashboard desenvolvido reuniu em um único ambiente informações que antes se encontravam dispersas, oferecendo aos gestores a possibilidade de acessar, de forma prática e intuitiva, os principais indicadores de cada sistema. Com apenas alguns cliques, é possível acompanhar métricas relevantes, como o índice de perdas de água, a taxa de inadimplência e o custo por metro cúbico, facilitando a análise e o monitoramento do desempenho. A Figura 2 a seguir ilustra o painel de controle interativo desenvolvido para a Central.

Figura 2. Painel dinâmico (dashboard) desenvolvido no Power BI.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Com base nos resultados obtidos, este estudo demonstra que a modernização da gestão de dados, apoiada por ferramentas de BI, é um caminho viável para superar as fragilidades do modelo tradicional de gestão. A metodologia implementada, aplicável em nível local, atende o princípio de que o controle efetivo das perdas de água só é possível a partir de um balanço hídrico confiável, construído com dados medidos e consistentes (IWA, 2016). Essa transformação de dados crus em inteligência acionável é o que viabiliza a transição para uma abordagem de "entrega de serviço" (Service Delivery), garantindo eficiência operacional, a sustentabilidade financeira e, em última instância, a segurança hídrica das comunidades atendidas.

CONCLUSÃO

O uso de ferramentas de Business Intelligence aliado à análise de dados mostrou-se uma alternativa eficiente para impulsionar a modernização da gestão dos sistemas de abastecimento de água em comunidades rurais. A metodologia proposta contribuiu não apenas para reduzir as dificuldades relacionadas à descentralização de informações observadas no projeto piloto em Paratinga-BA, mas também apresentou um modelo de gestão passível de replicação, capaz de dialogar com os principais desafios operacionais e financeiros enfrentados pelas administrações comunitárias.

A implementação do painel de controle interativo provou ser um diferencial, capacitando os gestores locais com uma ferramenta visual que traduz dados complexos em informações claras para uma tomada de decisão. Essa abordagem fortalece a autonomia da da equipe gestora e representa um avanço prático rumo à sustentabilidade dos serviços. Logo, como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a expansão do monitoramento para todas as comunidades geridas pela Central, a incorporação de sensores para a coleta automatizada de dados e a análise horária e diária, além da mensal já conduzida, dos componentes que atuam na rede. Tais ações consolidaram o modelo de gestão, alinhando-o de forma contínua aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e reforçando a resiliência do saneamento rural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao SENAI CIMATEC pelo apoio financeiro, importante para a execução deste estudo. Da mesma forma, estendem o agradecimento à Engenheira Poliana Brandão Machado, da Central de Associações Comunitárias de Caetité, pela colaboração e pelo fornecimento dos dados que foram a base deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CHOWNS, E. **Is community management an efficient and effective model of public service delivery? Lessons from the rural water supply sector in Malawi.** Public Administration and Development, v. 35, n. 4, p. 263-276, 2015. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pad.1732. Acesso em: 21 set. 2025.

MACÊDO, R. S. B. A. et al. **Fatores intervenientes nas perdas de água do sistema de abastecimento no Bairro São José, Juazeiro do Norte, Ceará.** CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO, v. 17, n. 1, p. 01-16, 2025. DOI: 10.55905/cuadv17n1-153. Acesso em: 21 set. 2025.

MARTINS, T. J. C. **Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Desenvolvimento e Aplicação de Ferramenta Informática para a sua Gestão Integrada.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Escola Superior Agrária, Bragança, Portugal, 2014. Disponível em: https://www.ipb.pt/files/docs/2014/MTA_Tiago_Martins.pdf. Acesso em: 21 set. 2025.

PAZ, D. H. F. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para gestão de sistemas de saneamento.** Revista Tecnológica da UTFPR, v. 1, n. 1, p. 1-17, 2023. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/17680. Acesso em: 21 set. 2025.

ALEGRE, H. et al. **Performance Indicators for Water Supply Services**. 3. ed. London: IWA Publishing, 2016. Disponível em: https://www.iwapublishing.com/books/9781780406329/performance-indicators-water-supply-services-third-edition. Acesso em: 25 set. 2025.

THOMSON, P. **Remote monitoring of rural water systems: A pathway to improved performance and sustainability?** WIREs Water, v. 8, n. 2, e1502, 2021. DOI: 10.1002/wat2.1502. Acesso em: 21 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114647

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO SANEAMENTO BÁSICO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM ENFOQUE NO PROJETO AQUA

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL SANEAMIENTO BÁSICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CENTRADA EN EL PROYECTO AQUA

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO BASIC SANITATION: A SYSTEMATIC REVIEW FOCUSING ON THE AQUA PROJECT

Heron Carlos da Silva Santos[1], Wemerson de Carvalho Batista[2], Silvanete Severino da Silva[3], Rafael Silva de Arruda[4]

[1]Discente, Bacharelado em Sistemas de Informação, UFERSA, Angicos - RN, Brasil, heron.santos@alunos.ufersa.edu.br, nº de ORCID: 0009-0009-8973-6498;
[2] Discente, Engenharia Controle e Automação, UFRPE, Belo Jardim - PE, Brasil, wemerson.carvalho@ufrpe.br, nº de ORCID: 0009-0005-0972-2848;
[3] Docente, Engenharia Agrícola, UFRPE, Belo Jardim - PE, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, nº de ORCID: 0000-0002-3167-0811;
[4] Discente, Engenharia Química, UFRPE, Belo Jardim - PE, Brasil, rafael.silvaarruda@ufrpe.br, nº de ORCID: 0009-0000-0418-0350.

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural
Aplicações de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural.

Eje Temático 09 – Tecnologías Digitales en Saneamiento Rural
Aplicaciones de las tecnologías digitales en el monitoreo del agua y el saneamiento rural.

RESUMO

A Qualidade da Água (QA) destinada ao consumo humano constitui um desafio central para o setor de saneamento, uma vez que sua potabilidade depende do manancial, condições operacionais e eficiência do tratamento. Nesse contexto, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) são fundamentais, embora dependa majoritariamente da intervenção humana, podendo comprometer a confiabilidade e eficiência do sistema. Este trabalho tem como objetivo revisar a bibliografia sobre a aplicação de Inteligência Artificial (IA) no saneamento básico, identificando soluções para otimizar processos, governança e sustentabilidade, focando em possíveis aplicações no projeto AQUA: Inteligência Artificial para Governança, Sustentabilidade e Otimização de Recursos, financiado pela FACEPE, utilizando monitoramento da QA em ETAs de pequeno porte e áreas rurais. Adotou-se a metodologia de revisão sistemática da literatura científica, abrangendo publicações entre 2021 e 2025 em bases como Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. Foram selecionados estudos que apresentassem IA em prática nos sub-setores do saneamento: abastecimento público, esgotamento sanitário, drenagem urbana e gestão de resíduos sólidos. Foram também analisados autores, tipo de aplicação, algoritmos utilizados, resultados e contexto geográfico. Resultados indicam que a aplicação de IA, incluindo algoritmos de Random Forest, SVM e redes neurais profundas, contribui significativamente para a detecção precoce de desvios nos parâmetros de QA, falhas operacionais e redução de perdas técnicas, com taxas de precisão

superiores a 90%. Contudo, observa-se a falta de pesquisas aplicadas ao contexto brasileiro, especialmente em zonas rurais. O projeto AQUA representa uma iniciativa estratégica capaz de integrar os modelos estudados, fortalecer a governança hídrica, otimizar processos e gerar dados confiáveis para subsidiar políticas públicas.

Palavras-chave: Monitoramento de água, Estações de tratamento, Otimização.

RESÚMEN

La calidad del agua (CA) destinada al consumo humano es fundamental para el sector del saneamiento, ya que su potabilidad depende del manantial, las condiciones operativas y la eficiencia del tratamiento. En este contexto estaciones de tratamiento de agua (ETA) son fundamentales, aunque dependen de la intervención humana, pudiendo comprometer la fiabilidad y la eficiencia del sistema. El objetivo de este trabajo es revisar la bibliografía sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el saneamiento básico, identificando soluciones para optimizar los procesos, la gobernanza y la sostenibilidad, centrándose en posibles aplicaciones en el proyecto AQUA: Inteligencia Artificial para la Gobernanza, la Sostenibilidad y la Optimización de Recursos, financiado por FACEPE, utilizando la monitorización de la CA en ETA de pequeño tamaño y zonas rurales. Se adoptó la metodología de revisión de la literatura científica, abarcando publicaciones entre 2021 y 2025 en bases como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Se seleccionaron estudios con IA en práctica de subsectores del saneamiento: abastecimiento público, alcantarillado sanitario, drenaje urbano y gestión de residuos sólidos. También se analizaron los autores, tipo de aplicación, algoritmos utilizados, los resultados y el contexto geográfico. Los resultados indican que la aplicación de la IA, incluidos los algoritmos Random Forest, SVM y redes neuronales profundas, contribuye significativamente a la detección temprana de desviaciones en los parámetros de control de calidad, fallos operativos y reducción de pérdidas técnicas, con tasas de precisión superiores al 90 %. Sin embargo, se observa la falta de investigaciones aplicadas al contexto brasileño, especialmente en zonas rurales. El proyecto AQUA representa una iniciativa estratégica capaz de integrar los modelos estudiados, fortalecer la gobernanza hídrica, optimizar los procesos y generar datos fiables para respaldar las políticas públicas.
Palabras-clave: Monitoreo de agua, Plantas de tratamiento, Optimización.

ABSTRACT

The quality of water (WQ) destined to human consumption is the main challenge for the sanitation sector, since all water potability depends on its spring, operational conditions, and treatment efficiency. In this context, the Water Treatment Plants (WTPs) are fundamental, although it vastly depends on human intervention, which compromises the reliability and efficiency of the system. This article's objective is to revise the bibliography about the application of Artificial Intelligence (AI) towards basic sanitation, identifying solutions to optimize processes, governance, and sustainability, focusing on possible applications around AQUA Project: Artificial Intelligence for Governance, Sustainability, and Resources Optimization, sponsored by FACEPE, utilizing QW monitoring in small WTPs and rural areas. It was adopted systematic review methodology of scientific literature, gathering publications from 2021 to 2025 in databases like Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. It was selected studies which presents AI practices in sanitation sub-sectors, such are: public water supply, sewage systems, urban drainage, and solid waste management. It also

analyzed the authors, application type, algorithms used, results, and geographical context. The results indicate that the application of AI, including algorithms like Radom Forest, SVM, and deep neural networks, significatively contributes to earlier detection of water quality parameters fluctuations, operational failures, and reduces technical losses, with accuracy rate superior to 90%. However, it was observed the lack of research applied to Brazilian context, especially in rural areas. The AQUA Project represents a strategic initiative capable of integrating the studied models, strengthening the hydric governance, optimizing its processes, and generating reliable data to support public policies.
Keywords: Water monitoring, Treatment plants, Optimization.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água destinada ao consumo humano constitui um dos maiores desafios do setor de saneamento, uma vez que sua potabilidade é influenciada por fatores como as características do manancial, as condições operacionais e a eficiência dos processos de tratamento. Nesse contexto, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) desempenham papel central ao assegurar que a água distribuída atenda aos padrões de segurança e qualidade estabelecidos pela legislação. Entretanto, grande parte do controle operacional das ETAs ainda depende significativamente da intervenção humana, o que pode comprometer a eficiência, a confiabilidade do tratamento e a capacidade de tomada de decisão baseada em dados.

Nas últimas décadas, a busca por soluções inovadoras que incorporem automação, sensores inteligentes e inteligência artificial (IA) ao monitoramento da qualidade da água tem se intensificado. Revisões recentes indicam que a aplicação de IA e aprendizado de máquina apresenta elevado potencial para aprimorar a gestão de sistemas hídricos, permitindo maior eficiência operacional, redução de custos e melhor previsibilidade dos processos (Gacu et al., 2025; Zhang, 2024). A integração de algoritmos como Random Forest, SVM e redes neurais profundas tem demonstrado taxas de precisão superiores a 90% na previsão de parâmetros de qualidade da água, tanto em contextos urbanos quanto rurais (Sudasman & Gereuw, 2025).

Outro aspecto relevante é a possibilidade de combinar diferentes fontes de dados — incluindo sensores em tempo real, registros históricos e contribuições da ciência cidadã — fortalecendo a confiabilidade do monitoramento e ampliando a governança de recursos hídricos (Biraghi et al., 2021). Nesse cenário, o desenvolvimento de tecnologias aplicadas à automação e à digitalização de processos em ETAs representa um caminho promissor para aumentar a eficiência operacional e promover a sustentabilidade do saneamento básico.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática de trabalhos científicos sobre a aplicação de IA no saneamento básico, com ênfase na análise de modelos de monitoramento, otimização de processos e governança hídrica. Busca-se compreender como essas pesquisas podem contribuir para iniciativas como o projeto AQUA: Inteligência Artificial para Governança, Sustentabilidade e Otimização de Recursos, financiado pelo FACEPE, que visa aprimorar o monitoramento da qualidade da água em ETAs de pequeno porte ou situadas em áreas rurais, propondo soluções inovadoras para otimização de processos, fortalecimento da governança e maior controle sobre os insumos utilizados em cada etapa do tratamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido por meio de uma revisão bibliográfica sistemática da literatura científica sobre o uso de IA no setor de saneamento básico, incluindo os sub-setores de abastecimento público, esgotamento sanitário, drenagem urbana e gestão de resíduos sólidos. A busca foi realizada em bases de dados internacionais e nacionais, incluindo Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar, utilizando combinações de palavras-chave como “artificial intelligence”, “machine learning”, “water treatment”, “sanitation” e “rural water management”.

Foram incluídos estudos publicados entre 2021 e 2025, que apresentassem aplicações práticas ou modelos preditivos de IA em sistemas de saneamento. Foram excluídos trabalhos teóricos sem aplicação ou validação de dados e publicações em línguas distintas do inglês, espanhol ou português. Os dados extraídos contemplaram ano de publicação, autores, tipo de aplicação, algoritmo utilizado, resultados e contexto geográfico, permitindo avaliar tendências, lacunas e relevância para a aplicação em ETAs de pequeno porte e áreas rurais, como proposto pelo projeto AQUA (Figura 1). A análise seguiu um enfoque comparativo, destacando modelos replicáveis, eficiência operacional e potencial de governança hídrica.

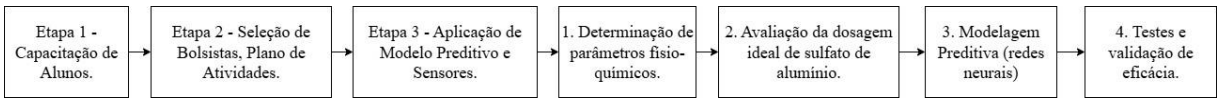


Figura 1 – Fluxograma de Desenvolvimento do Projeto AQUA
Fonte: Autoria Própria

A execução será dividida em três etapas. A primeira consiste em um curso de capacitação, com até 100 participantes, abordando conceitos de Inteligência Artificial (IA),

monitoramento da qualidade da água e estudos de casos reais. A segunda etapa envolve a seleção de 10 bolsistas, que atuarão diretamente no desenvolvimento do projeto junto à Compesa. Já na terceira etapa, serão aplicados modelos preditivos e sensores integrados, validados em tempo real, para calcular a dosagem ideal de coagulantes conforme parâmetros físico-químicos como turbidez, pH, alcalinidade e condutividade.

Além de fomentar a inovação tecnológica no saneamento, o projeto contribuirá para a formação de recursos humanos qualificados, ampliando oportunidades acadêmicas e profissionais. Espera-se que os resultados fortaleçam a governança hídrica, garantam eficiência operacional e sirvam como referência para outras iniciativas de sustentabilidade e gestão inteligente da água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 sistematiza estudos recentes que abordam a aplicação da Inteligência Artificial (IA) no setor de saneamento básico, organizados segundo ano de publicação, autores, título, idioma, sistema de saneamento contemplado, revista/fonte de publicação e link de acesso. A análise evidencia que a maioria das publicações concentra-se no abastecimento público de água e no monitoramento da qualidade hídrica, com crescente utilização de técnicas de aprendizado de máquina, redes neurais artificiais e integração com Internet das Coisas (IoT). Identifica-se também o avanço de soluções digitais para apoio à gestão de sistemas de esgotamento sanitário e planejamento do acesso à água e ao saneamento, ainda que em menor número. Do ponto de vista cronológico, observa-se um aumento significativo das pesquisas a partir de 2021, com forte presença em periódicos internacionais de língua inglesa, o que denota a consolidação da temática em nível global. Contudo, há escassez de trabalhos em língua portuguesa e voltados especificamente para os sistemas de drenagem urbana e gestão de resíduos sólidos, revelando lacunas que podem direcionar novas investigações.

A literatura recente evidencia um crescimento expressivo na aplicação da **IA** ao saneamento básico, sobretudo no âmbito do **abastecimento público e monitoramento da qualidade da água**. Estudos como os de Pérez-Beltrán (2024), Frincu (2025) e Zou (2025) discutem o uso de algoritmos inteligentes para prever parâmetros físico-químicos e microbiológicos, identificar riscos de contaminação e apoiar a tomada de decisão em tempo real.

De forma complementar, Ed-Dehbi (2025) e Morain (2024) ressaltam a integração entre IA e Internet das Coisas (IoT) para otimização do consumo hídrico e planejamento de recursos, enquanto Maroju (2023) demonstra ganhos operacionais no controle da potabilidade em sistemas de abastecimento. Pesquisas aplicadas em contextos locais e rurais, como a de Alghadeer (2023) e a iniciativa WASHtsApp de Kloker et al. (2024), reforçam o potencial de soluções digitais inclusivas para ampliar o acesso a serviços de água potável.

Embora em menor número, trabalhos voltados ao **esgotamento sanitário e à gestão de resíduos sólidos** vêm se consolidando, como o de Li et al. (2021), que apresenta a plataforma QSDsan para avaliação integrada de sustentabilidade e recuperação de recursos. Outras investigações, a exemplo das de Echchabi et al. (2024) e Dejito et al. (2021), exploram dados de sensoriamento remoto e aprendizado de máquina na análise espacial do acesso ao saneamento, reforçando a importância da IA no apoio a políticas públicas.

A implementação de sistemas de IA em zonas rurais apresenta elevado potencial para a otimização da gestão de recursos hídricos e a melhoria da eficiência operacional de estações de tratamento de água (ETA)**,** contribuindo para a confiabilidade do abastecimento e a sustentabilidade do serviço prestado por concessionárias como a Compesa. A integração de modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina supervisionado e redes neurais artificiais, juntamente com algoritmos de monitoramento contínuo e análise de séries temporais em tempo real, possibilita a detecção precoce de desvios em parâmetros físico-químicos e microbiológicos, incluindo turbidez, cloro residual, pH e condutividade elétrica, bem como a previsão de falhas operacionais e redução de perdas técnicas. Tais recursos são particularmente relevantes em regiões com infraestrutura dispersa e limitada, permitindo ajustes dinâmicos nos processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção.

Nota-se, contudo, a escassez de estudos que apliquem IA diretamente à **drenagem urbana**, indicando uma lacuna relevante a ser explorada em futuras pesquisas. Além disso, a predominância de publicações em periódicos internacionais de língua inglesa sugere a necessidade de ampliar a produção científica em língua portuguesa, aproximando os avanços tecnológicos da realidade dos sistemas de saneamento no Brasil. A análise dos estudos sobre a aplicação da IA ao saneamento básico revela um panorama fortemente internacionalizado, com predominância de experiências em países desenvolvidos e emergentes. Nos Estados Unidos, diversos trabalhos exploram a integração entre IA e Internet das Coisas (IoT) para otimizar o consumo hídrico e monitorar a potabilidade em tempo real (Morain, 2024; Maroju, 2023; Ed-Dehbi, 2025). Na China, destacam-se iniciativas voltadas ao desenvolvimento de plataformas de avaliação de sustentabilidade, como a QSDsan, e de modelos preditivos aplicados à qualidade da água e ao tratamento de esgoto em sistemas urbanos (Li et al., 2021; Zou, 2025). No contexto europeu, investigações realizadas na Espanha e na Romênia reforçam a relevância do uso de algoritmos para prever parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, apoiando políticas de controle e segurança hídrica (Pérez-Beltrán, 2024; Frincu, 2025). Já em países em desenvolvimento, como Marrocos e Filipinas, a IA tem sido aplicada para avaliar desigualdades de acesso e apoiar estratégias de ampliação da cobertura de saneamento (Echchabi et al., 2024; Dejito et al., 2021). Na África Subsaariana, projetos como o WASHtsApp, desenvolvido por pesquisadores da Alemanha, demonstram o potencial de soluções digitais para comunidades rurais sem cobertura convencional (Kloker et al., 2024). Além disso, iniciativas em regiões áridas como a Arábia Saudita investigam a predição de qualidade da água em cenários de escassez (Alghadeer, 2023).

Apesar dessa diversidade geográfica, nota-se a ausência de estudos acadêmicos oriundos do Brasil e de outros países latino-americanos, o que evidencia uma lacuna relevante, considerando os desafios nacionais de universalização do saneamento. Ainda que haja avanços práticos no país, como os projetos da Sabesp e da Sanepar com IA para redução de perdas e monitoramento de redes, tais experiências ainda não têm sido sistematizadas em periódicos científicos indexados. Essa discrepância sugere a necessidade de maior esforço de pesquisa aplicada no Brasil, tanto para consolidar soluções já em uso quanto para explorar áreas menos desenvolvidas, como a drenagem urbana e a gestão de resíduos sólidos, ainda incipientes na literatura internacional.

O uso da IA pode também servir como modelo piloto replicável em outras localidades do semiárido pernambucano, fortalecendo a tomada de decisão baseada em evidências e a governança hídrica local. Iniciativas recentes, como o projeto Aqua: Inteligência Artificial para Governança, Sustentabilidade e Otimização de Recursos, financiado pelo Conselho de Aperfeiçoamento do Ensino e Pesquisa Superior (FACEPE), aplicam estas tecnologias em estações da Compesa para monitoramento em tempo real da qualidade da água, avaliação da eficiência operacional e identificação de parâmetros críticos, possibilitando a otimização do tratamento e a mitigação de riscos sanitários. Experiências piloto deste tipo demonstram não apenas melhoria na confiabilidade e na sustentabilidade do sistema, mas também o fortalecimento da capacidade institucional, geração de dados estratégicos e subsídios para políticas públicas, constituindo referência para outras concessionárias e municípios que buscam modernizar o saneamento rural por meio de soluções inteligentes baseadas em dados.

Quadro 1 – Compilado de Literatura Utilizada para Revisão

Ano	Autores	Título	Sistema do Saneamento	Revista / Fonte	Link
2024	CH Pérez-Beltrán	*Artificial intelligence and water quality: From drinking …*	Abastecimento/Qualidade da Água	*ScienceDirect* (Water Research ou similar)	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993624000797?
2025	RM Frincu	*Artificial intelligence in water quality monitoring: A review of …*	Qualidade da Água (monitoramento)	*IWA Publishing (Water Quality Research Journal)*	https://iwaponline.com/wqrj/article/60/1/164/105997/Artificial-intelligence-in-water-quality?
2025	W. Ed-Dehbi	*Artificial Intelligence for Optimal Water Resource …*	Abastecimento público / Gestão de Recursos	*MDPI (Water / similar)*	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993624000797?
2025	S. Zou	*Water Quality Management in the Age of AI: Applications, …*	Qualidade da Água / Esgotamento Sanitário	*MDPI (Water)*	https://iwaponline.com/wqrj/article/60/1/164/105997/Artificial-intelligence-in-water-quality?
2023	RG Maroju	*Application of Artificial Intelligence in the Management … Drinking Water …*	Abastecimento público	*PMC (NCBI)*	https://www.mdpi.com/2673-4591/97/1/52?
2023	Sultan Ghadeer Alghadeer	*The Use of Artificial Intelligence in Water Management Projects in Saudi Arabia*	Abastecimento público / Distribuição	*AJT Journal* (Water management journal)	https://www.mdpi.com/2073-4441/17/11/1641?
2024	A. Morain	*Artificial Intelligence for Water Consumption Assessment*	Abastecimento público / Consumo	*Springer (Journal of Flood Risk Management)*	https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-024-03823-x?
2024	A. Das	*The confluence of artificial intelligence and Internet of Things*	Gestão geral — água / saneamento	*ScienceDirect (capítulo de livro)*	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443236310000194?
2024	WASHtsApp (Simon Kloker et al.)	*WASHtsApp – A RAG-powered WhatsApp Chatbot for supporting rural African clean water access…*	Abastecimento / Saneamento rodoviário rural	*arXiv* (preprint)	https://arxiv.org/abs/2411.02850?
2021	Yalin Li et al.	*QSDsan: An Integrated Platform for Quantitative Sustainable Design of Sanitation and Resource Recovery …*	Esgotamento sanitário / Resíduos sólidos	*arXiv* (plataforma open-source)	https://arxiv.org/abs/2203.06243?
2024	Othmane Echchabi et al.	*Tracking Progress Towards Sustainable Development Goal 6 Using Satellite Imagery*	Abastecimento / Esgotamento sanitário	*arXiv* (preprint)	https://arxiv.org/abs/2411.19093?
2021	Niccolo Dejito et al.	*Mapping Access to Water and Sanitation in Colombia … Random Forests*	Abastecimento / Esgotamento sanitário	*arXiv* (preprint)	https://arxiv.org/abs/2111.04134?

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática demonstrou que a aplicação de IA no saneamento básico apresenta elevado potencial para otimizar processos, reduzir perdas e melhorar a previsibilidade da qualidade da água, especialmente quando associada a sensores inteligentes, automação e análise de dados em tempo real. Estudos internacionais indicam que algoritmos como Random Forest, SVM e redes neurais profundas alcançam precisão superior a 90% na previsão de parâmetros críticos, podendo ser replicados em contextos rurais e áreas com infraestrutura limitada.

Constatou-se escassez de estudos aplicados ao contexto brasileiro, especialmente em zonas rurais e sistemas de abastecimento de pequeno porte. Nesse cenário, o projeto AQUA: Inteligência Artificial para Governança, Sustentabilidade e Otimização de Recursos configura-se como iniciativa estratégica, permitindo a aplicação de modelos preditivos, monitoramento de parâmetros críticos em ETAs da Compesa e geração de dados para suporte a decisões operacionais e políticas públicas. A revisão indica que a integração da IA no saneamento rural pode aumentar a eficiência operacional, fortalecer a governança hídrica e fornecer referência para expansão do controle tecnológico no semiárido, consolidando um modelo sustentável e inteligente de gestão de recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alghadeer A 2023 The use of artificial intelligence in water management projects in the Kingdom of Saudi Arabia ResearchGate https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35894.59207.

Biraghi A Galli F Rossi L 2021 Integration of citizen science and sensor networks for water quality monitoring Water Research 188 116529 https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116529

Dejito EA Tingzon I 2021 Satellite-based machine learning models for predicting water sanitation and hygiene access in rural Philippines Environmental Monitoring and Assessment 193(12) 1-12 https://doi.org/10.1007/s10661-021-08957-4.

Ed-Dehbi A 2025 Artificial intelligence and water quality From drinking water to wastewater Bohrium https://doi.org/10.965794311436238851-3371.

Echchabi A Khabba S 2024 Machine learning for water resources in Morocco Rapid review In Intersection of Artificial Intelligence Data Science and Cutting-Edge Technologies From Concepts to Applications in Smart Environment Springer pp 204-211 https://doi.org/10.1007/978-3-031-88304-0_27.

Frincu RM 2025 Artificial intelligence in water quality monitoring A review of water quality assessment applications Water Quality Research Journal 60(1) 164-177 https://doi.org/10.2166/wqrj.2024.125.

Gacu R Oliveira P Fernandes M 2025 Artificial intelligence in water treatment optimization A systematic review Journal of Environmental Management 330 117120 https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.117120.

Kloker S Luyima AC Bazanya M 2024 WASHtsApp A RAG-powered WhatsApp chatbot for supporting rural African clean water access sanitation and hygiene arXiv https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.02850.

Li Y Zhang X Morgan VL 2022 QSDsan An integrated platform for quantitative sustainable design of sanitation and resource recovery systems Environmental Science Water Research & Technology 8(10) 2289-2303 https://doi.org/10.1039/d2ew00455k.

Maroju S 2023 Artificial intelligence and water quality From drinking water to wastewater Bohrium https://doi.org/10.965794311436238851-3371.

Morain M 2024 The role of AI in water quality management Water Conditioning & Purification 66(3) 16-19 https://doi.org/10.1016/j.wcp.2024.03.001.

Pérez-Beltrán CH 2024 Artificial intelligence and water quality From drinking water to wastewater Science of the Total Environment 856 159074 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159074.

Sudasman T Gereuw H 2025 Machine learning algorithms for predicting water quality parameters in urban and rural treatment plants Environmental Modelling & Software 165 105110 https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.105110.

Zou S 2025 Water quality prediction and carbon reduction mechanisms in urban wastewater treatment A case study in Northwest China Environmental Science and Pollution Research 32(2) 1234-1245 https://doi.org/10.1007/s11356-025-1736-2.

Zhang X Li Y 2024 Application of deep learning techniques in water quality monitoring and treatment optimization Water Science and Technology 89(7) 1825-1838 https://doi.org/10.2166/wst.2024.234.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114686

PRODUÇÃO AUTOMATIZADA DE MAPAS TEMÁTICOS PARA PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO: ESTUDO DE CASO DO PROJETO PLANSANEAR

AUTOMATIZADA DE MAPAS TEMÁTICOS PARA PLANES MUNICIPALES DE SANEAMIENTO: ESTUDIO DE CASO DEL PROYECTO PLANSANEAR

AUTOMATED PRODUCTION OF THEMATIC MAPS FOR MUNICIPAL SANITATION PLANS: A CASE STUDY OF THE PLANSANEAR PROJECT

Rafael Amorim Viana de Moura[1], Rafaela Cristina de Souza Nascimento[2], Carlos Laécio Evangelista Franca[3] e Igor Emanuel Guariroba Amorim[4].

[1]Doutor, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, rafael.vmoura@univasf.edu.br;
[2]Mestranda, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, rafaelanascimento.plansanear@gmail.com;
[3]Mestrando, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, carlos.eagri@gmail.com;
[4]Graduando, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, igoremanoelribeiro01@gmail.com;

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural
Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado ao saneamento rural.

Eje temático 09 – Tecnologías digitales en el saneamiento rural
Geoprocesamiento y teledetección aplicados al saneamiento rural.

Thematic Axis 09 – Digital Technologies in Rural Sanitation
Geoprocessing and remote sensing applied to rural sanitation.

RESUMO

Este relato de experiência apresenta a aplicação do recurso Atlas do QGIS para produzir automaticamente mapas temáticos dos 93 municípios do projeto PLANSANEAR (apoio técnico a elaboração de planos municipais de saneamento). O trabalho foi organizado por tipologia de mapa, criando um projeto QGIS para cada produto, e adotou-se um *template* com padronização para títulos, legendas e escala, o que garantiu padronização visual entre os arquivos. Para viabilizar o processamento em computadores com capacidade limitada, o fluxo foi dividido por grupos estaduais (GT Bahia, GT Pernambuco e GT Rio de Janeiro), o que permitiu definir a configuração, a renderização e a exportação em lote. Entre os desafios técnicos destacaram-se a uniformização de simbologias entre diferentes temáticas e a adequação dos *layouts* para diferentes escalas territoriais; essas questões foram solucionadas mediante regras padronizadas, bloqueio de camadas e ajustes específicos por grupo. Em comparação ao método manual, o uso do Atlas trouxe redução significativa do tempo de produção, diminuição do retrabalho e melhoria do controle de metadados e da qualidade dos mapas. Além disso, facilitou reexportações e atualizações futuras, consolidando uma base cartográfica de alta qualidade que possa ser utilizado por prefeituras e comitês locais para apoiar o planejamento e a gestão do saneamento.

Palavras-chave: Automatização, Mapas temáticos, QGIS, Planos municipais de saneamento

RESÚMEN

Este relato de experiencia presenta la aplicación de la herramienta Atlas de QGIS para producir automáticamente mapas temáticos de los 93 municipios del proyecto PLANSANEAR (apoyo técnico para la elaboración de planes municipales de saneamiento). El trabajo se organizó por tipología de mapa, creando un proyecto QGIS para cada producto, y se adoptó una plantilla estandarizada para títulos, leyendas y escala, lo que garantizó coherencia visual entre los archivos. Para viabilizar el procesamiento en equipos con capacidad limitada, el flujo se dividió por grupos estatales (GT Bahía, GT Pernambuco y GT Río de Janeiro), lo que permitió paralelizar la configuración, el renderizado y la exportación por lotes. Entre los desafíos técnicos destacaron la uniformización de simbologías entre distintas temáticas y la adaptación de los diseños a diversas escalas territoriales; estas cuestiones se resolvieron mediante reglas estandarizadas, bloqueo de capas y ajustes específicos por grupo. En comparación con el método manual, el uso de Atlas supuso una reducción significativa del tiempo de producción, menor retrabajo y una mejora en el control de metadatos y en la calidad de los mapas. Además, facilitó las reexportaciones y actualizaciones futuras, consolidando una base cartográfica de alta calidad utilizable por ayuntamientos y comités locales para apoyar la planificación y la gestión del saneamiento.

Palabras clave: *Automatización; Mapas temáticos; QGIS; Planes municipales de saneamiento; Geoprocesamiento; Atlas (QGIS).*

ABSTRACT

This experience report presents the application of the QGIS Atlas tool to automatically produce thematic maps for the 93 municipalities of the PLANSANEAR project (technical support for the development of municipal sanitation plans). The work was organized by map type, with a dedicated QGIS project for each product, and a standardized template for titles, legends and scale was adopted to ensure visual consistency across files. To enable processing on machines with limited capacity, the workflow was divided among state working groups (GT Bahia, GT Pernambuco and GT Rio de Janeiro), which allowed configuration, rendering and batch export to be parallelized. Major technical challenges included harmonizing symbology across different themes and adapting layouts to varying territorial scales; these issues were resolved through standardized rules, layer locking and group-specific adjustments. Compared with the manual method, using Atlas resulted in a significant reduction in production time, less rework and improved control of metadata and map quality. It also facilitated re-exports and future updates, consolidating a high-quality cartographic base that municipalities and local committees can use to support sanitation planning and management.

Keywords: *Automation; Thematic maps; QGIS; Municipal sanitation plans; Geoprocessing; QGIS Atlas.*

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O projeto PLANSANEAR, vinculado ao Ministério das Cidades e à Universidade Federal do Vale do São Francisco, tem por objetivo apoiar municípios de pequeno porte na elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). Na etapa de diagnóstico (Produto C) foi necessária a produção padronizada de mapas temáticos para os 93 municípios atendidos, com temáticas que vão desde clima, altimetria e hidrografia até uso e ocupação do

solo, infraestrutura dos prestadores, telecomunicações e povos tradicionais.

Com atuação nos estados da Bahia (35 municípios), Pernambuco (47 municípios) e Rio de Janeiro (11 municípios), a diversidade territorial e o elevado número de municípios tornaram inviável a produção manual de cada mapa dentro dos prazos do projeto. Para efeito de dimensão do esforço, a etapa de caracterização física e territorial previa 13 mapas por município, o que totaliza 1.209 mapas apenas nessa etapa e, quando somados os demais produtos temáticos, o volume final de arquivos ultrapassou a marca de 3.000 mapas.

O desafio foi, desde o início, de escala e de qualidade: produzir centenas a milhares de mapas, mantendo padronização visual e metadados organizados para que as prefeituras possam usar esses mapas como instrumentos de gestão. Estudos que propõem fluxos de automação mostram que um trabalho bem estruturado (tratamento de base de dados, definição de um *template* e parametrização de iteração) permite gerar automaticamente mapas temáticos replicáveis, reduzindo tarefas repetitivas e aumentando a reprodutibilidade do produto final (Pillay *et al.*, 2019).

Do ponto de vista metodológico e teórico, a automatização de atlas cartográficos envolve não só a exportação em lote, mas a definição de regras formais para classificação, codificação e estrutura do banco de dados. Krylov *et al.* (2019) destacam a necessidade de sistemas que integrem bases cartográficas, critérios de generalização e regras de composição para garantir coesão entre as os dados processados.

Na prática, a produção cartográfica em massa demandou atenção também da qualidade visual dos mapas. Autores como Graser e Peterson (2016) e Costa e Melo (2023) demonstram que escolhas de layout, hierarquia de símbolos, rotulação e uso de *data-defined overrides* são determinantes para a legibilidade e usabilidade dos mapas gerados em lote. Dessa forma, a equipe de geoprocessamento aplicou essas orientações ao *template* no formato A4 e às regras de simbologia para cada temática, garantindo que os mapas fossem facilmente compreensíveis por técnicos do Ministério das Cidades e por membros dos comitês locais.

No campo do saneamento, Corrêa *et al.* (2024) demonstram que mapas temáticos bem elaborados são ferramentas essenciais para identificar áreas prioritárias, avaliar riscos e planejar intervenções (por exemplo, em análises de áreas potenciais para unidades de disposição, diagnósticos de cobertura de rede e estudos de vulnerabilidade hídrica). Esses estudos práticos corroboram a importância de entregar mapas e metadados bem estruturados,

para que a informação cartográfica seja utiliada nas políticas públicas municipais.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

No início do projeto, para padronizar e acelerar os processos, foi criado um *template* no *layout* de impressão (*Composer*) do QGIS (Figura 1) e adotou-se o formato A4 para melhor visualização e impressão dos mapas. O Produto A dos planos reúne as atividades iniciais do PMSB, institucionalização do processo, mapeamento de atores locais e definição dos setores de mobilização (Brasil, 2018), e os primeiros mapas produzidos estavam associados a esse produto (setores de mobilização, áreas urbanas e rurais, distritos e localidades indicadas pelos munícipes). Esses mapas foram inicialmente elaborados com bases vetoriais individuais para cada município.

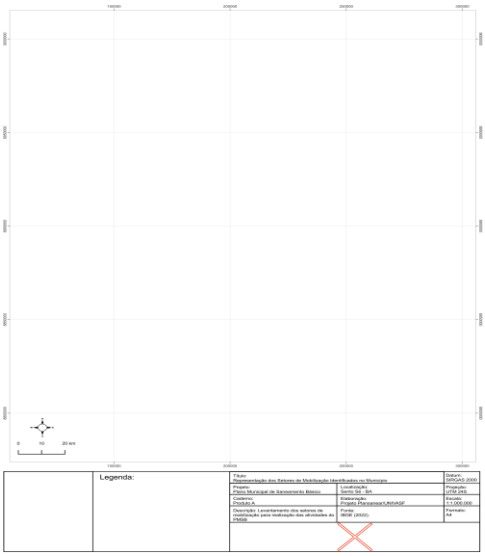


Figura 1. *Template* do projeto em formato A4.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Inicialmente o projeto contemplava 33 municípios e, por aditivo, foi ampliado com mais 60, totalizando 93 municípios. Nos primeiros municípios, os mapas foram produzidos de forma individual, sem controle padronizado de prazos ou execução. Nos municípios incluídos pelo aditivo, também foram elaborados manualmente os quatro mapas do Produto A por município, resultando em cerca de 252 mapas produzidos em aproximadamente um mês por uma equipe de sete analistas de geoprocessamento.

Desse modo, o modo de trabalho manual empregado no Produto A não poderia ser replicado no Produto C. Esta etapa de diagnóstico do PMSB, responsável pela caracterização física e territorial (Brasil, 2018), pelo levantamento da infraestrutura e pela produção dos mapas que embasam o diagnóstico técnico, exigiu fluxos padronizados e automatizados em razão da

maior escala e da complexidade das fontes de dados.

A princípio, estimou-se a produção de 11 mapas de caracterização física e territorial por município (93 × 11 = 1.023). Ao detalhar os temas, verificou-se a necessidade de 13 mapas por município, em razão da inclusão dos mapas de cemitérios e de telecomunicações, totalizando 1.209 mapas apenas nessa etapa. Ao somar os produtos dos eixos técnicos (abastecimento de água; esgotamento sanitário; manejo e drenagem de águas pluviais; manejo de resíduos sólidos), o volume final estimou-se ultrapassar 3.000 mapas temáticos.

Diante dessa realidade, da diversidade temática e da produção previamente despadronizada, ficou evidente que o método manual seria incompatível com os prazos e recursos do projeto. Essa dificuldade demonstrou a necessidade de adotar fluxos automatizados (por exemplo, QGIS Atlas) para garantir padronização, ganho de escala e cumprimento das entregas.

Contudo, encontramos a primeira barreira: a capacidade de processamento gráfico dos computadores era limitada. Para contornar essa restrição, estruturou-se o trabalho criando projetos QGIS específicos por mapa temático e por grupo de trabalho estadual (GT BAHIA, GT PERNAMBUCO e GT RIO DE JANEIRO) de modo que cada projeto concentrasse apenas as camadas, estilos e regras necessários àquele produto.

Essa divisão permitiu distribuir a demanda de processamento entre as equipes, paralelizar a exportação dos Atlas por estado e reduzir o uso de memória e tempo de renderização das camadas, viabilizando a automação dos mapas dentro das limitações de hardware disponíveis. A Figura 2 apresenta o projeto QGIS e a base de dados dos municípios da Bahia utilizados na elaboração do mapa de altimetria.

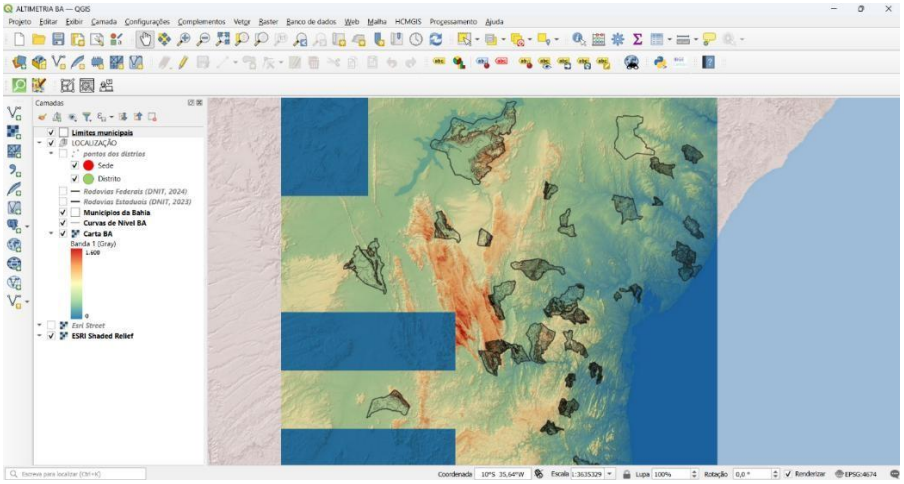


Figura 2. Projeto do GT BAHIA para automatização dos mapas de altimetria do município.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em seguida, foi compilada uma base vetorial única contendo os limites municipais em *shapefile* e as tabelas de atributos provenientes de fontes oficiais, previamente tratadas e padronizadas para garantir a consistência dos campos. No projeto QGIS definiu-se um layout padrão e configurou-se o Atlas para iterar pelo identificador municipal usando a expressão [% "NM_MUNICIP" %]. Aplicaram-se simbologias e regras de classificação padronizadas, além de recursos como bloqueio de camadas e *data-defined overrides* para assegurar uniformidade entre as páginas. Escalas e margens foram ajustadas por grupos de municípios com geometria semelhante para preservar proporções e legibilidade.

Por fim, realizaram-se testes de exportação em PDF e em imagens *raster* para validar rótulos, símbolos e resolução, especialmente em áreas densamente fragmentadas, e, por fim, executou-se a exportação automática em lote, gerando 93 arquivos individuais prontos para distribuição. A Figura 3 mostra o Atlas gerado para os mapas de altimetria da Bahia.

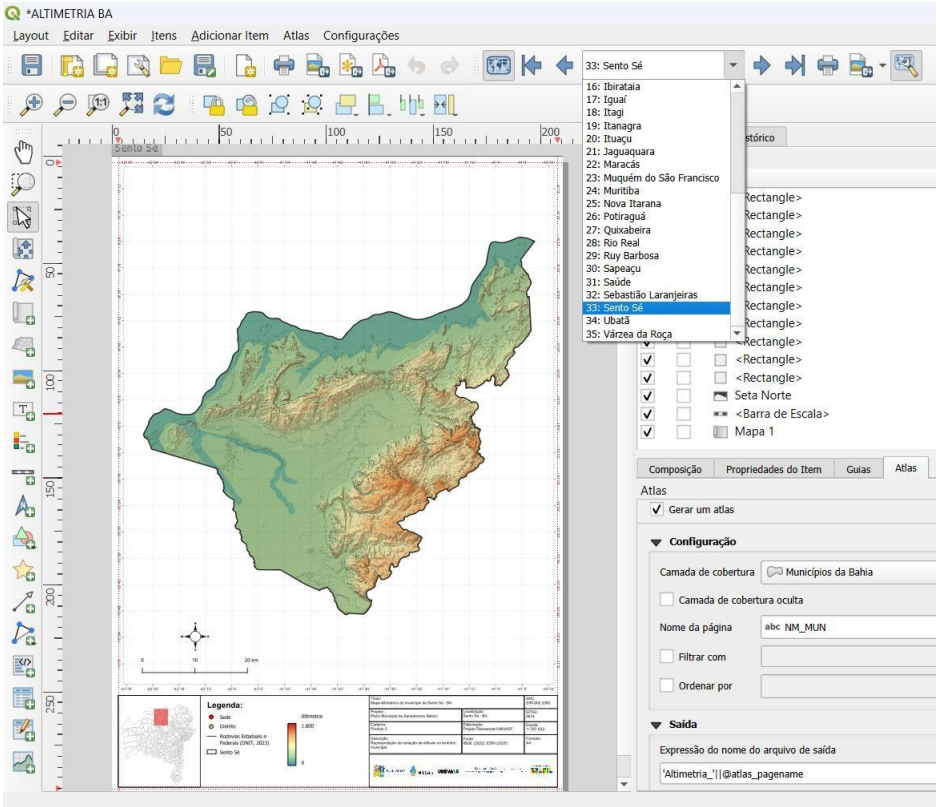


Figura 3. Atlas gerado para os mapas de altimetria da Bahia.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em resumo, a metodologia adotada foi um fluxo sistemático e replicável que combinou coleta e padronização de dados, configuração de um *template* cartográfico e produção automatizada de mapas com QGIS Atlas, organizada por grupos de trabalhos estaduais (GTs) para viabilizar a exportação em lote; todo o processo foi complementado por controle de qualidade e geração de pacotes finais para entrega aos municípios. O resumo metodológico está apresentado na Figura 4 abaixo.

Figura 3. Resumo metodológico da automatização dos mapas no projeto PLANSANEAR.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os dois métodos (o manual e o automatizado) descreve um ganho de produtividade e qualidade significativo com a adoção do QGIS Atlas (Tabela 1). No procedimento manual foram produzidos 256 mapas em 30 dias por uma equipe de sete analistas, uma média de aproximadamente 8,5 mapas por dia, ou aproximadamente 1,22 mapas por analista por dia.

Já com o fluxo automatizado, três analistas foram capazes de gerar 1.209 mapas de caracterização em apenas 15 dias, média de aproximadamente 80,6 mapas por dia, ou cerca de 26,9 mapas por analista por dia. Em termos agregados, isso representa um aumento de produtividade por dia de cerca de 9,45 vezes; por analista, o ganho chega a aproximadamente 22 vezes.

Esses ganhos decorrem de três fatores principais. Primeiro, a automação elimina tarefas repetitivas (abrir/ajustar projeto, enquadrar, exportar), liberando o tempo dos analistas para atividades mais simplificadas (verificação de qualidade, tratamento de exceções). Segundo, o *template* e a padronização de simbologias reduzem drasticamente a necessidade de retrabalho e garantem consistência visual entre todos os mapas, o que facilita a leitura pelos técnicos do Ministério da Cidade e a incorporação direta nos relatórios.

Terceiro, a organização do trabalho por GTs (divisão por estado/tema) permitiu paralelizar a carga e contornar limitações de *hardware*, o que permitiu um processo escalável apesar das máquinas com capacidade limitada. Além do ganho de quantidade, o método

automatizado trouxe benefícios qualitativos: a construção de bases padronizadas por GT resultou em dados mais confiáveis e em um inventário de arquivos que facilita entrega, rastreabilidade e futuras atualizações.

A automatização também diminuiu a pressão sobre prazos e custos operacionais: o investimento inicial em configuração do Atlas e *templates* foi compensado rapidamente pela velocidade de exportação em lote. Dessa forma, a experiência mostrou que, para projetos de larga escala territorial como o PLANSANEAR, com estimativa total superior a 3.000 mapas temáticos incluindo os capítulos dos eixos, a automação cartográfica não é apenas vantajosa, é operacionalmente necessária para garantir entrega no prazo, qualidade técnica e reprodutibilidade dos produtos.

Tabela 1. Quadro comparativo dos métodos utilizados para produção dos mapas temáticos.

Métrica / Critério	Método manual	Método automatizado (QGIS Atlas)	Soluções/Benefícios
Número de mapas gerados	256 mapas	1.209 mapas (caracterização)	Atlas permitiu elevar fortemente o volume produzido
Período	30 dias	15 dias	Tempo reduzido à metade
Produção média (mapa/dia)	8,53 mapas/dia	80,60 mapas/dia	Aumento de produtividade ≈ **9,45×**
Equipe envolvida na produção	7 analistas	3 analistas	Automação exige menos operadores ativos
Produção média por analista (mapa/analista/dia)	~1,22 mapas/analista/dia	~26,87 mapas/analista/dia	Ganho por analista ≈ **22,06×**
Padronização visual	Baixa — variação entre mapas	Alta — *template* e estilos padronizados	Menos retrabalho e revisão
Reprodutibilidade / Atualização	Baixa	Alta — reexportação automatizada	Atualizações futuras bem mais rápidas
Ajustes manuais necessários	Frequentes	Pontuais	Redução do retrabalho
Dependência de hardware	Moderada	Alta (mitigada por divisão por GTs)	Solução: projetos por estado/tema para paralelizar

Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que adoção de fluxos automatizados de produção cartográfica, centrados no uso do QGIS Atlas, tornou-se peça-chave para atender os produtos dos planos municipais de

saneamento e aos prazos do PLANSANEAR. Frente à diversidade territorial (93 municípios em três estados) e ao volume de mapas exigidos, o método manual mostrou-se inviável. A automação permitiu reduzir de forma significativa o tempo de produção, aumentar a

produtividade por analista e, sobretudo, garantir padronização visual e consistência de metadados.

Apesar dos ganhos, a experiência evidenciou também limites e condições necessárias: houve necessidade de investimento inicial de tempo em configuração de *templates*, normalização de bases e ajustes de simbologia; e as limitações dos computadores exigiram a divisão dos projetos por grupos de trabalho estaduais (GT Bahia, GT Pernambuco, GT Rio de Janeiro) como estratégia mitigadora. Dessa forma, automatizar não elimina todo trabalho manual, mas desloca o esforço para atividades de maior valor técnico (qualidade dos dados, validação e ajustes finos).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto PLANSANEAR, em desenvolvimento pelo Núcleo de Inovação em Estudos de Saneamento Ambiental e Desenvolvimento Territorial (NIESADT) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) em parceria com o Ministério das Cidades e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), formalizado, por meio do Termo de Execução Descentralizada n.º 951532/2023 SNSA/MCID/UNIVASF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). *Termo de referência para elaboração de plano municipal de saneamento básico*. Brasília: Funasa, 2018. 187 p. ISBN 978-85-7346-056-8. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/documents/20182/23919/TR%2BPMSB%2B2018%2BFunasa%2BWEB.pdf. Acesso em: 12 set. 2025

CORRÊA, Nelison Ferreira et al. Preparation of a Map of Potential Areas for the Installation of a Sanitary Landfill in the Porto Murtinho/MS Region. *Rev. Gestão Soc. Ambient.*, v.18, n.10, 2024.

COSTA, Ana Kelly Ribeiro; MELO, Odaléa Barbosa de Carvalho. Elaboração de mapas temáticos e estudos urbanos auxiliados por QGIS. Resumo expandido. In: Geodesign South America, [s.l.], 2023. Anais.

GRASER, Anita; PETERSON, Gretchen N. *QGIS map design*. 2. ed. Locate Press, 2018.

KRYLOV, S. A. The automation of processes of atlas mapping. *ICA-ABS*, 2019.

PILLAYA, L. *A comprehensive workflow for automating thematic map production* (relatório técnico). 2019.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114710

PROJETO AQUA: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO RURAL

PROYECTO AQUA: INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO RURALES

AQUA PROJECT: ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO WATER QUALITY MONITORING IN RURAL TREATMENT PLANTS

Giovanna Vilela Marques[1], Amanda Carolina dos Santos Passos[2], Silvanete Severino da Silva[3], Taiza Karla Alves Souza[4]

[1]Bacharelando em Engenharia Química, Discente na UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, giovanna.vilela@ufrpe.br, nº de ORCID: 0009-0008-3155-6550;

[2]Bacharelando em Engenharia Química, Discente na UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, amanda.passos@ufrpe.br, nº de ORCID: 0009-0008-4974-4533;

[3]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente na UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, nº de ORCID: 0000-0002-3167-0811;

[4]Doutorado em Engenharia Ambiental, Docente na UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, taiza.alvessouza@ufrpe.br, nº de ORCID: 0000-0001-9298-1173

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural

Aplicações de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural.

Eje Temático 09 – Tecnologías Digitales en Saneamiento Rural

Aplicaciones de las tecnologías digitales en el monitoreo del agua y el saneamiento rural.

RESUMO

O projeto AQUA foi desenvolvido com base na necessidade de aprimorar o monitoramento da qualidade da água em Estações de Tratamento de Água (ETAs), por meio da aplicação de automação, sensores inteligentes e inteligência artificial. Teve como objetivo propor soluções inovadoras que integrem prototipagem física e tecnologias digitais para otimizar processos de tratamento de água em sistemas de pequeno e médio porte. A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em parceria com a Compesa e a FACEPE, entre junho e setembro de 2025, tendo como locais de referência as ETAs de Belo Jardim e Xucuru (PE). O desenvolvimento ocorreu em etapas interligadas. Primeiramente, foi realizada a capacitação dos estudantes, abordando critérios de potabilidade e possibilidades de automação, o que permitiu alinhar conceitos teóricos às práticas subsequentes. Em seguida, conduziram-se pesquisas bibliográficas sobre parâmetros de qualidade da água e insumos, com ênfase nos coagulantes empregados nas fases de coagulação e floculação, avaliando eficiência, custo, disponibilidade e impacto socioambiental. Posteriormente, visitas técnicas às ETAs forneceram dados operacionais e subsidiaram a construção de um protótipo físico em escala reduzida de uma ETA convencional. Desenvolvido de forma sustentável, com materiais plásticos reaproveitados, o protótipo reproduziu as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, permitindo simulações controladas. Ensaios experimentais testaram diferentes coagulantes, destacando o sulfato de alumínio como o mais eficiente e economicamente viável para águas de baixa e média turbidez, em comparação ao cloreto férrico e ao PAC. O protótipo revelou-se útil tanto para o ensino dos processos físico-

químicos quanto para a experimentação com sensores e automação. Os resultados indicaram o potencial de dispositivos inteligentes para monitorar turbidez, pH e cor em tempo real, reduzindo ajustes manuais. O projeto evidenciou a relevância da integração entre Engenharias Química, Hídrica, de Controle e Automação e de Computação, promovendo avanços técnicos, ações educativas e conscientização socioambiental. Conclui-se que a combinação de pesquisa aplicada e prototipagem constitui uma estratégia promissora para ampliar o conhecimento no meio acadêmico e fomentar tecnologias sustentáveis no saneamento básico.

Palavras-chave: Recursos hídricos, Saneamento básico, Estações de tratamento, Inteligência artificial, Automação

RESÚMEN

El proyecto AQUA fue desarrollado a partir de la necesidad de mejorar el monitoreo de la calidad del agua en Plantas de Tratamiento de Agua (PTAs), mediante la aplicación de automatización, sensores inteligentes e inteligencia artificial. Su objetivo fue proponer soluciones innovadoras que integren la prototipación física y las tecnologías digitales para optimizar los procesos de tratamiento de agua en sistemas de pequeña y mediana escala. La investigación fue realizada en la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), en asociación con Compesa y FACEPE, entre junio y septiembre de 2025, teniendo como lugares de referencia las PTAs de Belo Jardim y Xucuru (PE). El desarrollo se llevó a cabo en etapas interconectadas. En primer lugar, se capacitó a los estudiantes en criterios de potabilidad y posibilidades de automatización, lo que permitió alinear los conceptos teóricos con las prácticas posteriores. Luego, se realizaron investigaciones bibliográficas sobre parámetros de calidad del agua e insumos, con énfasis en los coagulantes empleados en las fases de coagulación y floculación, evaluando eficiencia, costo, disponibilidad e impacto socioambiental. Posteriormente, las visitas técnicas a las PTAs proporcionaron datos operacionales y respaldaron la construcción de un prototipo físico a escala reducida de una PTA convencional. Desarrollado de manera sostenible, con materiales plásticos reutilizados, el prototipo reprodujo las etapas de coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección, permitiendo simulaciones controladas. Los ensayos experimentales probaron diferentes coagulantes, destacando el sulfato de aluminio como el más eficiente y económicamente viable para aguas de baja y media turbidez, en comparación con el cloruro férrico y el PAC. El prototipo resultó útil tanto para la enseñanza de los procesos fisicoquímicos como para la experimentación con sensores y automatización. Los resultados indicaron el potencial de los dispositivos inteligentes para monitorear turbidez, pH y color en tiempo real, reduciendo los ajustes manuales. El proyecto evidenció la relevancia de la integración entre las Ingenierías Química, Hídrica, de Control y Automatización y de Computación, promoviendo avances técnicos, acciones educativas y concienciación socioambiental. Se concluye que la combinación de investigación aplicada y prototipación constituye una estrategia prometedora para ampliar el conocimiento en el ámbito académico y fomentar tecnologías sostenibles en el saneamiento básico.

Palabras clave: Recursos hídricos, Saneamiento básico, Plantas de tratamiento, Inteligencia artificial, Automatización

ABSTRACT

The AQUA project was developed based on the need to improve water quality monitoring in Water Treatment Plants (WTPs) through the application of automation, smart sensors, and artificial intelligence. Its objective was to propose innovative solutions that integrate physical prototyping and digital technologies to optimize water treatment processes in small- and medium-scale systems. The research was carried out at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), in partnership with Compesa and FACEPE, between June and September 2025, having as reference sites the WTPs of Belo Jardim and Xucuru (PE). The development took place in interconnected stages. First, students were trained on potability criteria and automation possibilities, which allowed the alignment of theoretical concepts with subsequent practices. Next, bibliographic research was conducted on water quality parameters and inputs, with emphasis on coagulants used in the coagulation and flocculation phases, assessing efficiency, cost, availability, and socio-environmental impact. Subsequently, technical visits to the WTPs provided operational data and supported the construction of a reduced-scale physical prototype of a conventional WTP. Developed sustainably with recycled plastic materials, the prototype reproduced the stages of coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection, enabling controlled simulations. Experimental tests evaluated different coagulants, highlighting aluminum sulfate as the most efficient and economically viable for low- and medium-turbidity waters, compared to ferric chloride and PAC. The prototype proved useful both for teaching physicochemical processes and for experimenting with sensors and automation. The results indicated the potential of smart devices to monitor turbidity, pH, and color in real time, reducing manual adjustments. The project highlighted the relevance of integrating Chemical, Water Resources, Control and Automation, and Computer Engineering, promoting technical advances, educational actions, and socio-environmental awareness. It is concluded that the combination of applied research and prototyping constitutes a promising strategy to expand knowledge in academia and foster sustainable technologies in basic sanitation.

Keywords: Water resources, Basic sanitation, Treatment plants, Artificial intelligence, Automation

INTRODUÇÃO

A qualidade da água para consumo humano ainda representa um dos principais desafios para o setor de saneamento, especialmente em comunidades rurais e localidades atendidas por Estações de Tratamento de Água (ETAs) de pequeno porte. Nessas áreas, a limitação de recursos financeiros, tecnológicos e humanos compromete a eficiência dos processos e aumenta os riscos de não conformidade em relação aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação. Além disso, o monitoramento operacional dessas unidades, em grande parte dependente da intervenção humana, restringe a confiabilidade dos resultados e dificulta o uso sustentável dos recursos disponíveis (Biraghi et al., 2021).

Nesse contexto, o projeto COMPET Superior (Programa de Competitividade por Extensão Tecnológica) surge como uma iniciativa estratégica que possibilitou o

desenvolvimento de estudos aplicados à inteligência artificial e governança em ETAs de pequeno porte, com ênfase na realidade rural do semiárido nordestino. A incorporação de tecnologias digitais, sensores inteligentes e automação permite avanços na detecção precoce de falhas, no controle de variáveis críticas de qualidade da água e na redução da dependência de ajustes manuais. Assim, a proposta de inovar na zona rural não se limita apenas a acompanhar tendências tecnológicas, mas responde a uma necessidade urgente de garantir a segurança hídrica e ampliar a sustentabilidade em regiões historicamente vulneráveis (Sudasman & Gereuw, 2025).

Outro aspecto central que justifica a relevância do projeto é a urgência de reduzir insumos e perdas operacionais nas ETAs. O uso indiscriminado de coagulantes e a ausência de monitoramento preciso elevam custos, aumentam a geração de resíduos e reduzem a eficiência do tratamento. Pesquisas recentes demonstram que o emprego de algoritmos de aprendizado de máquina e sistemas de apoio à decisão pode otimizar o consumo de insumos, melhorar a gestão de resíduos e potencializar os ganhos de eficiência, com impactos diretos na redução de custos e na preservação ambiental (Gacu et al., 2025).

Dessa forma, o projeto AQUA, desenvolvido no âmbito do COMPET Superior, da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) teve como objetivo propor soluções inovadoras que integrem prototipagem física e tecnologias digitais para otimizar processos de tratamento de água em sistemas de pequeno e médio porte, por meio da integração de prototipagem física, automação e inteligência artificial. Além de fortalecer a capacidade técnica e científica da equipe envolvida, o projeto evidencia que a combinação entre inovação tecnológica e governança hídrica constitui uma estratégia promissora para enfrentar os desafios do saneamento rural, promover o uso consciente dos recursos e ampliar a equidade no acesso à água de qualidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do projeto AQUA foi estruturada em etapas complementares e interligadas, envolvendo pesquisa bibliográfica, visitas técnicas, experimentação e desenvolvimento prático.

Na primeira etapa, realizou-se um levantamento bibliográfico acerca dos parâmetros de qualidade da água e dos principais coagulantes empregados em Estações de Tratamento de Água (ETAs). Essa análise considerou critérios de eficiência técnica, custo-benefício,

disponibilidade e impactos socioambientais, permitindo selecionar insumos mais adequados para a etapa de coagulação. Além disso, foram revisados artigos científicos e documentos técnicos que subsidiaram a compreensão dos processos físico-químicos e a definição de estratégias metodológicas.

Na sequência, efetuaram-se visitas técnicas às ETAs de Belo Jardim e Xucuru (PE), no período de junho e setembro de 2025, respectivamente. Essa atividade possibilitou a coleta de informações sobre as condições operacionais, a caracterização dos sistemas em funcionamento e a identificação de desafios específicos relacionados ao tratamento de água em comunidades de pequeno porte. O contato direto com a realidade local também favoreceu o levantamento de dados técnicos e a avaliação de oportunidades para a aplicação de soluções tecnológicas inovadoras.

A Figura 1 apresenta alguns dos equipamentos observados na ETA de Xucuru, uma unidade compacta e de pequeno porte, responsável pelo abastecimento de uma comunidade local.

Figura 1. Equipamentos disponíveis na ETA de Xucuru
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Simultaneamente, foi produzido um protótipo físico em escala reduzida de uma ETA convencional, contemplando as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. O protótipo foi desenvolvido de forma sustentável, com recipientes plásticos. Além disso, foi produzido um modelo digital, no qual representa o protótipo mais técnico e representativo dos sensores. A Figura 2 representa a maquete digital finalizada, no qual, cada recipiente evidencia uma etapa de tratamento que ocorre normalmente em uma ETA convencional, feita no

SketchUp e posteriormente, a maquete física feita para futuros testes e para fins didáticos.

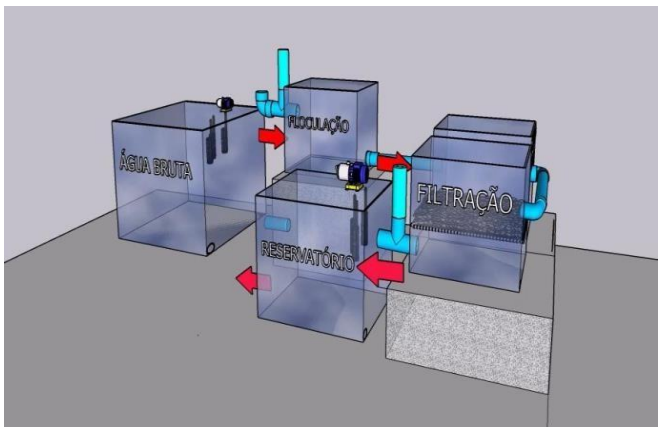


Figura 2. Modelos de protótipos: maquete digital da ETA (A); protótipo para testes futuros (B).
Fonte: Elaboração Própria, 2025.

Posteriormente, discutiram-se as possibilidades de integração de sensores inteligentes a sistemas de monitoramento baseados em inteligência artificial, com o objetivo de desenvolver ferramentas capazes de otimizar parâmetros operacionais em tempo real. Atualmente, o projeto encontra-se em fase de testes: o modelo já foi submetido ao sistema de inteligência artificial, porém ainda não foi realizada a experimentação integrada aos sensores. Espera-se concluir essa etapa até o final do ano, com a execução dos testes e a comparação dos resultados obtidos.

Para fins avaliativos, realizou-se uma análise de diferentes trabalhos a fim de identificar o insumo mais adequado a ser aplicado em uma ETA, de modo a obter dados consistentes de turbidez e cor aparente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto AQUA apresentou resultados alinhados aos objetivos propostos, que incluíam a avaliação de insumos utilizados no processo de coagulação, a construção de um protótipo físico de ETA em escala reduzida e a proposição de alternativas tecnológicas para o monitoramento da qualidade da água.

Em relação ao levantamento bibliográfico e experimental sobre os coagulantes, verificou-se, de acordo com os artigos estudados, que o Sulfato de Alumínio apresentou melhor desempenho em águas de baixa e média turbidez, sendo mais viável economicamente e socialmente, quando comparado ao Cloreto Férrico e ao Policloreto de Alumínio (PAC).

Embora o Cloreto Férrico tenha apresentado eficiência superior na remoção de cor, sua aplicação em larga escala mostrou-se limitada por custos e impactos ambientais. Esses resultados respondem ao objetivo específico de identificar insumos mais adequados para o tratamento, confirmando que o Sulfato de Alumínio é a opção mais eficaz e sustentável para as condições estudadas, em concordância com estudos anteriores (Souza, 2021; Dutra *et al.*, 2021).

Durante a pesquisa, foi conduzido um estudo em parceria com a Compesa, com o objetivo de identificar os coagulantes mais comumente utilizados nas ETAs avaliadas. Com base nessas informações e em revisão bibliográfica de estudos anteriores, selecionaram-se os insumos a serem testados em escala de bancada.

A Figura 3 apresenta o comportamento da turbidez e da cor aparente obtido nos ensaios, o que permitiu avaliar diferentes dosagens de coagulantes. Entre os insumos analisados, o sulfato de alumínio demonstrou melhor desempenho, atingindo os menores valores residuais de turbidez e cor aparente, além de apresentar maior estabilidade ao longo dos testes.

A escolha do sulfato de alumínio foi fundamentada não apenas em sua eficiência técnica, mas também em critérios de custo-benefício e menor impacto socioambiental quando comparado a outros coagulantes disponíveis, como o cloreto férrico e o policloreto de alumínio (PAC). Ressalta-se que a definição do insumo a ser aplicado foi resultado da integração entre a revisão bibliográfica e a experimentação prática, garantindo maior consistência à decisão metodológica (Souza, 2021).

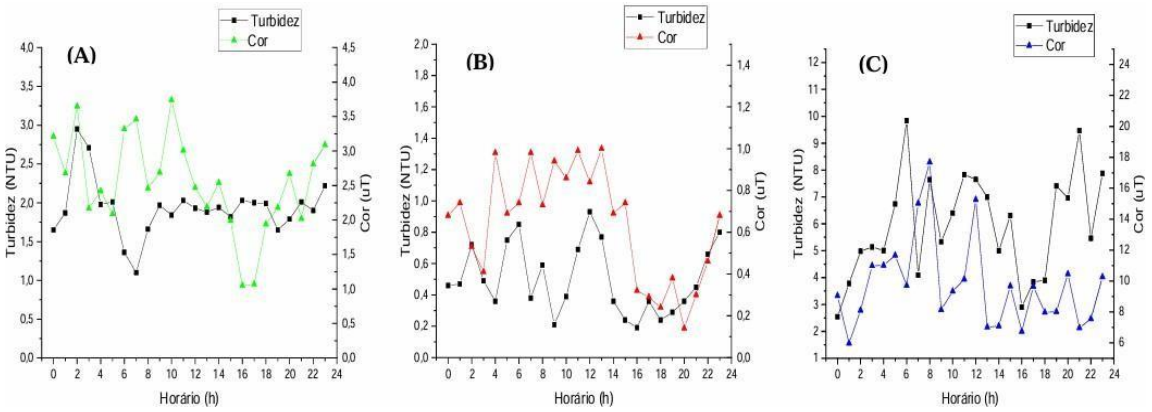


Figura 3. Monitoramento da qualidade da água para o Sulfato de Alumínio (A), Cloreto Férrico (B) e PAC (C)

Fonte: Souza, 2021

O Quadro 1 apresenta um comparativo com base em levantamentos bibliográficos,

contemplando diferentes parâmetros técnicos relacionados ao desempenho e às características operacionais de quatro coagulantes amplamente utilizados em ETAs, sendo eles: cloreto férrico, sulfato férrico, PAC e sulfato de alumínio.

Os critérios avaliados incluem eficiência na remoção de cor e turbidez, faixa ideal de pH, demanda de alcalinidade, geração e desidratação do lodo, custos de aplicação, corrosividade, resíduos metálicos na água, estabilidade da solução, necessidade de correção de pH e adequação do uso em diferentes condições de ETA.

Esse comparativo permitiu identificar vantagens e limitações de cada insumo, destacando não apenas os aspectos técnicos, mas também a viabilidade econômica e o impacto socioambiental, servindo como subsídio para a escolha do coagulante mais adequado às condições estudadas.

Critério	Cloreto Férrico ($FeCl_3$)	Sulfato Férrico ($Fe_2(SO_4)_3$)	PAC / HCA ($Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$)	Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$)
Eficiência na remoção de cor	Alta (melhor do grupo)	Média	Alta	Média
Eficiência na remoção de turbidez	Alta	Muito alta	Alta	Boa
Faixa de pH ideal	5,5 – 7,0	4,8 – 6,6	5,5 – 9,5	6,0 – 7,0
Demanda de alcalinidade	Alta	Alta	Média ou baixa	Alta
Geração de lodo (kg seco/kg)	0,60 – 0,66	~0,55	0,30 – 0,40	0,20 – 0,33
Desidratação do lodo	Boa (denso)	Boa (floco grande)	Regular	Ruim (floco leve)
Custo por 1000 m³ tratado *(Pavanelli, 2025)*	R$ 21,76 (melhor)	R$ 30,74	R$ 40,36	R$ 66,67 (mais caro)
Corrosividade	Alta (exige tanques em PEAD)	Alta	Média	Média/baixa
Resíduo metálico na água	Ferro (Fe^{3+}), não tóxico	Ferro (Fe^{3+}), não tóxico	Pode deixar Al^{3+} (controle pH < 7,3)	Al^{3+} residual elevado
Estabilidade da solução	Boa	Média	Alta – pré-polimerizado	Alta
Exige correção de pH?	Sim	Sim	Raramente	Sim
Uso ideal em ETA	Alta cor / orgânicos	Alta turbidez / argila	Água com pH variável	Águas simples / sistemas tradicionais

Quadro 1. Vantagens e desvantagens dos coagulantes de acordo com o levantamento bibliográfico
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dessas evidências, conclui-se que os resultados alcançados respondem de forma consistente aos objetivos do projeto e deste artigo, reforçando a pertinência da integração entre prototipagem física e tecnologias digitais. Nota-se que a combinação de pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental e inovação tecnológica configura-se como estratégia promissora para otimizar processos de tratamento de água em sistemas de pequeno e médio porte, especialmente em regiões rurais por se tratar de alta viabilidade econômica (testes iniciais), contribuindo tanto para a eficiência técnica quanto para a sustentabilidade socioambiental.

nesta seção devem ser apresentados, avaliados e discutidos os principais resultados obtidos no estudo, e estes devem responder aos objetivos do estudo. O texto deve ser escrito com recuo de primeira linha de 1,25cm, em fonte times new roman, corpo 12 pt, alinhamento justificado e espaçamento simples entre linhas. O espaçamento entre um título ou subtítulo e o parágrafo subsequente é de 8 pontos (depois).

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão à Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico que possibilitou a realização deste projeto. Agradeço, igualmente, à COMPESA e à FACEPE (Bolsa BFI-0579-3.06/25) pelo apoio técnico para o desenvolvimento da que foram fundamentais tanto para a etapa experimental quanto para a análise dos dados e a consolidação dos resultados. Reconheço, ainda, a valiosa contribuição dos colegas bolsistas, cujas discussões e sugestões enriqueceram o processo de elaboração desta pesquisa e garantiram a continuidade do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRAGHI, C. A.; LOTFIAN, M.; CARRION, D.; BROVELLI, M. A. AI in Support to Water Quality Monitoring. *ISPRS International Archives*, XLIII-B4-2021, 2021. Disponível em: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLIII-B4-2021/167/2021/index.html. Acesso em: 06 set. 2025.

DUTRA, M. et al. Avaliação de fatores intervenientes no desempenho de estações de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 4, p. 613–625, 1 ago. 2021.

GACU, J. G.; MONJARDIN, C. E. F.; MANGULABNAN, R. G. T.; PUGAT, G. C. E.; SOLMERIN, J. G. Artificial Intelligence (AI) in Surface Water Management: A Comprehensive Review of Methods, Applications, and Challenges. *Water*, v. 17, n. 11, p. 1707, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/17/11/1707.

SOUZA, Cristiane Daliassi Ramos de; FERREIRA, Iago Bruno Pacheco. Avaliação da eficiência de diferentes coagulantes utilizados em uma Estação de Tratamento de Águas. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, e284101321127, 2021.

SUDASMAN, F. H.; GEREUW, G. E. Integration of AI and GIS in Clean Water Quality Monitoring in Urban and Rural Communities. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, v. 4, n. 2, 2025. Disponível em: https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS/article/view/1425. Acesso em: 06 set. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114734

USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA ESTIMATIVA DE POPULAÇÃO SEM ACESSO A ÁGUA E ESGOTO NO MUNICÍPIO DE QUEIMADAS - PB

USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA ESTIMAR LA POBLACIÓN SIN ACCESO A AGUA Y ALCANTARILLADO EN EL MUNICIPIO DE QUEIMADAS - PB

USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS TO ESTIMATE THE POPULATION WITHOUT ACCESS TO WATER AND SEWERAGE IN THE MUNICIPALITY OF QUEIMADAS - PB

Renato Fernandes Bandeira[1], Diego Silveira Varela[2], Isaac José Bastos de Souza Filho[3] e Luís Augusto de Araújo Soares[4].

[1]Tecnólogo em Geoprocessamento, Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, João Pessoa, Brasil, renato.bandeira@cagepa.pb.gov.br, 0009-0009-3823-1481;
[2]Tecnólogo em Geoprocessamento, Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, João Pessoa, Brasil, diegovarela@cagepa.pb.gov.br;
[3]Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, João Pessoa, Brasil, isaac.filho@cagepa.pb.gov.br, 0000-0001-8532-5004;
[4]Técnico em Geoprocessamento, Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, João Pessoa, Brasil, luis.soares@cagepa.pb.gov.br, 0002-6894-0045.

Eixo Temático 09 – Tecnologias Digitais no Saneamento Rural
Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado ao saneamento rural

Eje temático 09 – Tecnologías digitales en el saneamiento rural
Geoprocesamiento y teledetección aplicados al saneamiento rural

RESUMO

A universalização do saneamento em pequenas cidades e áreas rurais constitui um desafio significativo, em grande parte pela ausência de cadastro técnico. O cadastro técnico é um sistema que permite o planejamento e a execução de obras para levar infraestrutura até esses locais. Motivado por essa lacuna, o presente estudo identificou povoamentos rurais e novas expansões urbanas sem conexão à rede de abastecimento de água e ao sistema de coleta de esgoto no município de Queimadas, Paraíba. Utilizaram-se dados secundários de sensoriamento remoto do projeto Open Buildings para a identificação de construções, bem como os cadastros de redes e pontos de ligação de água da empresa de abastecimento para definir as áreas atendidas. Para estimativas populacionais foram adotados os dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. As bases do Open Buildings foram acessadas por meio da plataforma Google Earth Engine e os dados vetoriais foram manipulados no QGIS, aplicando buffers de 500 metros e selecionando as construções localizadas fora desses buffers. A análise resultou na espacialização dos principais aglomerados sem acesso aos serviços de água e esgoto, totalizando 2799 edificações fora do raio de acesso ao abastecimento de água e 7972 edificações fora do raio de acesso à coleta de

esgoto com o índice de confiabilidade superior a 85% na identificação de cada edificação. Observou-se ainda 5596 edificações fora do raio de acesso ao abastecimento e 15981 edificações fora do raio de acesso à coleta de esgoto com confiabilidade superior a 70% na identificação. Com base nas estimativas médias de moradores por unidade habitacional, calculou-se a provável quantidade de pessoas sem acesso a água potável, variando entre 12671 e 6337 indivíduos, e a provável quantidade de pessoas sem acesso à rede de coleta de esgoto, variando entre 35984 e 18052 indivíduos. Os resultados oferecem subsídios operacionais para a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) e podem orientar estratégias de priorização de atendimento e intervenções em áreas rurais, além de servir como metodologia replicável para outros municípios com limitações cadastrais.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Saneamento rural, Sensoriamento remoto, Estimativa populacional, SIG aplicado ao saneamento.

RESUMEN

La universalización del saneamiento en pequeñas ciudades y áreas rurales constituye un desafío significativo, en gran parte por la ausencia de catastro técnico. El catastro técnico es un sistema que permite la planificación y ejecución de obras para llevar infraestructura a estos lugares. Motivado por esta brecha, el presente estudio identificó asentamientos rurales y nuevas expansiones urbanas sin conexión a la red de suministro de agua y al sistema de recolección de aguas residuales en el municipio de Queimadas, Paraíba. Se utilizaron datos secundarios de sensores remotos del proyecto Open Buildings para la identificación de construcciones, así como los catastros de redes y puntos de conexión de agua de la empresa de suministro para definir las áreas atendidas. Para las estimaciones poblacionales se adoptaron los datos del Sistema Nacional de Informaciones en Saneamiento Básico. Las bases de Open Buildings se accedieron mediante la plataforma Google Earth Engine y los datos vectoriales se manipularon en QGIS, aplicando buffers de 500 metros y seleccionando las construcciones ubicadas fuera de estos buffers. El análisis resultó en la espacialización de los principales conglomerados sin acceso a los servicios de agua y alcantarillado, totalizando 2799 edificaciones fuera del radio de acceso al suministro de agua y 7972 edificaciones fuera del radio de acceso a la recolección de aguas residuales, con un índice de confiabilidad superior al 85% en la identificación de cada edificación. También se observaron 5596 edificaciones fuera del radio de acceso al suministro de agua y 15981 edificaciones fuera del radio de acceso a la recolección de aguas residuales con una confiabilidad superior al 70% en la identificación. Con base en las estimaciones promedio de habitantes por unidad habitacional, se calculó la probable cantidad de personas sin acceso a agua potable, que varió entre 12671 y 6337 individuos, y la probable cantidad de personas sin acceso a la red de recolección de aguas residuales, que varió entre 35984 y 18052 individuos. Los resultados ofrecen subsidios operacionales para la Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) y pueden orientar estrategias de priorización de atención e intervenciones en áreas rurales, además de servir como metodología replicable para otros municipios con limitaciones catastrales.

Palabras-clave: Geoprocesamiento, Saneamiento rural, Percepción remota, Estimación poblacional, SIG aplicado al saneamiento.

ABSTRACT

The universalization of sanitation in small towns and rural areas constitutes a significant challenge, largely due to the absence of a technical cadaster. The technical cadaster is a system that enables the planning and execution of works to bring infrastructure to these locations. Motivated by this gap, the present study identified rural settlements and new urban expansions without connection to the water supply network and sewage collection system in the municipality of Queimadas, Paraíba. Secondary remote sensing data from the Open Buildings project were used to identify buildings, as well as the water utility's network and connection point records to define the served areas. Population estimates were based on data from the National System of Information on Basic Sanitation. The Open Buildings databases were accessed via the Google Earth Engine platform, and vector data were processed in QGIS by applying 500-meter buffers and selecting buildings located outside these buffers. The analysis resulted in the spatialization of the main clusters without access to water and sewage services, totaling 2,799 buildings outside the water supply access radius and 7,972 buildings outside the sewage collection access radius, with a reliability index above 85% for each building identification. Additionally, 5,596 buildings were observed outside the water access radius and 15,981 buildings outside the sewage access radius with a reliability above 70%. Based on average estimates of residents per housing unit, the probable number of people without access to drinking water was calculated to range between 12,671 and 6,337 individuals, and the probable number of people without access to the sewage collection network ranged between 35,984 and 18,052 individuals. The results provide operational support for the Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) and can guide strategies for prioritizing service and interventions in rural areas, in addition to serving as a replicable methodology for other municipalities with cadastral limitations.

Keywords: Geoprocessing, Rural sanitation, Remote sensing, Population estimation, GIS applied to sanitation.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A experiência foi desenvolvida no município de Queimadas-PB, localizado na Mesorregião do Agreste Paraibano e na Microrregião de Campina Grande, inserido no bioma Caatinga e sujeito a clima semiárido; sua localização está apresentada na Figura 1. A escolha de Queimadas decorreu de seu grande território (409,2 km²), da expressiva população rural e da disponibilidade de cadastros atualizados de rede e ligações de água com precisão a nível de lotes, o que aumenta a confiabilidade das análises de acesso a água e esgoto. Conforme dados do SINISA (Brasil 2025), o município contava com 48140 habitantes em 2023, dos quais cerca de 46% residiam na zona rural. O mapeamento das edificações teve referência no ano de 2023 e as camadas de redes e pontos de ligação foram atualizadas em agosto de 2025; como fonte de edificações utilizou-se a base Open Buildings.

A ausência de um cadastro técnico multifinalitário robusto em áreas rurais dificulta o planejamento municipal, sendo o CTM definido como um sistema integrado de informações espaciais, jurídicas e sociais que subsidia políticas locais (Coelho, Barbalho e Lima 2020). O objetivo central deste estudo foi quantificar, de forma automatizada, edificações sem acesso às redes de abastecimento de água e de coleta de esgoto, suprindo lacunas em áreas de difícil cobertura censitária. A experiência fornece subsídios técnicos à Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) para priorização de intervenções e apresenta uma metodologia replicável em contextos rurais com cadastro limitado e vulnerabilidade climática, em conformidade com o Eixo 09 - Tecnologias Digitais no Saneamento Rural, do II Sanea Brasil.

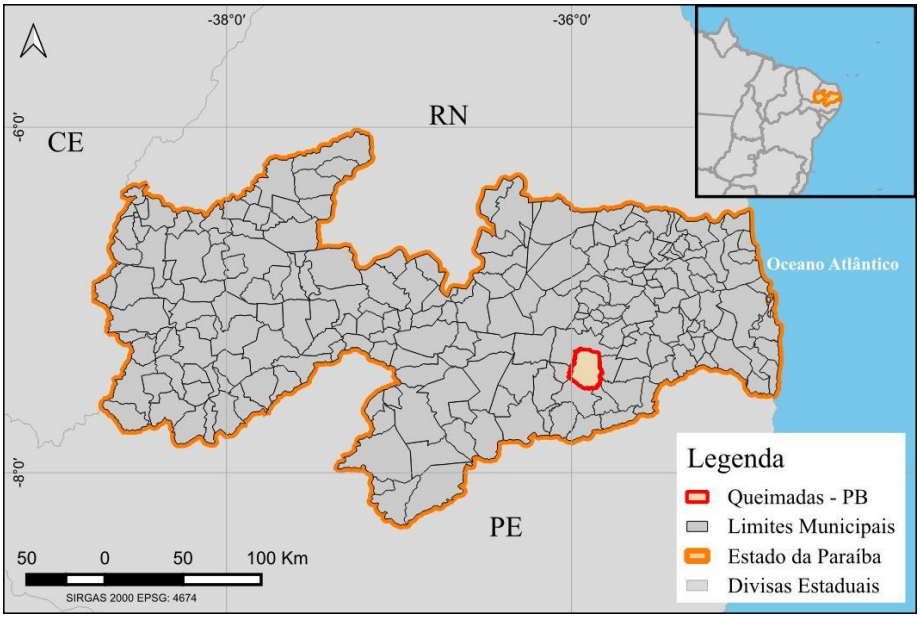


Figura 1. Mapa de localização do município de Queimadas - PB
Fonte: Elaboração própria, 2025.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Foram obtidos dados vetoriais por meio da plataforma Google Earth Engine (Gorelick et al. 2017), a partir da qual se extraiu, para a área de interesse do município de Queimadas-PB, os polígonos do projeto Open Buildings v3, que emprega o método de detecção de edificações descrito por Sirko et al. (2021). Os polígonos trazem contorno, estimativa de área e um índice de confiabilidade que varia de 0 a 1; esse índice foi usado com o atributo de área para gerar dois subconjuntos analíticos (confidence score ≥ 0,85 e ≥ 0,70). O limiar de cerca de 70% aproxima a contagem total de edificações reportada no Censo 2022 (27 104 edificações), enquanto 85% foi adotado como cenário mais conservador diante da possibilidade de múltiplas edificações por domicílio e de edificações desocupadas. Para

reduzir ruídos, excluíram-se estruturas com área inferior a 25 m², por se referirem majoritariamente a anexos ou construções auxiliares, conforme prática descrita na literatura (Awrangjeb e Lu 2015).

As camadas de rede de abastecimento, rede de coleta e pontos de ligação foram fornecidas pela CAGEPA (extração: julho de 2025) e projetadas no sistema SIRGAS 2000 / UTM, fuso 25S. Aplicou-se buffer de 500 metros ao redor dessas infraestruturas, valor definido com base na extensão típica de ramais rurais de abastecimento e na escala de expansão observada em planos diretores municipais, o que permitiu delimitar realisticamente a área de atuação operacional; edificações fora desses buffers foram consideradas preliminarmente não atendidas (ver Figura 2). Em contextos rurais, essa delimitação é útil para distinguir locais onde conexões com um sistema integrado de abastecimento e coleta são mais indicadas em comparação a um sistema local para tratamento de água e esgoto, sendo a densidade de edificações um parâmetro decisão. O processamento, a consulta dos vetores e a produção de mapas e figuras foram realizados no software QGIS 3.40.6.

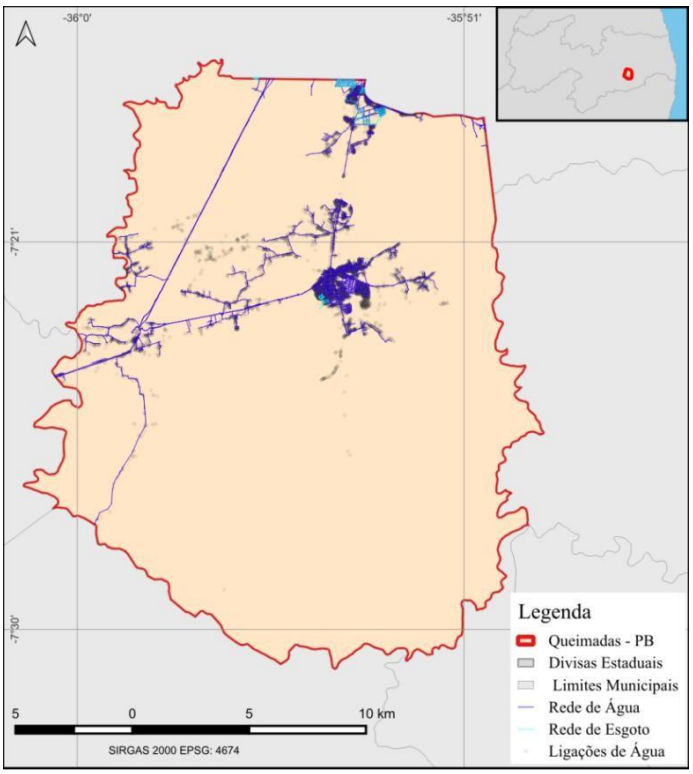


Figura 2. Mapa de estruturas de abastecimento de água e coleta de esgoto.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Segundo os dados do Censo de 2022, verificou-se que aproximadamente 78,9% das edificações identificadas no município correspondiam a domicílios ocupados. Com base

nesse parâmetro censitário, foi possível estimar a quantidade de domicílios presentes em cada um dos cenários analisados, considerando os diferentes limiares de confiabilidade estabelecidos (70% e 85%). A partir dessa proporção, e tomando como base a média de 2,87 pessoas por domicílio ocupado, valor também obtido a partir do Censo, realizou-se uma estimativa populacional para cada cenário. Essa etapa foi essencial para traduzir a detecção de edificações em termos de população potencialmente atendida ou não pelos serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto.

A Figura 3 ilustra a distribuição espacial das edificações detectadas pelo Open Buildings em relação às redes de infraestrutura sanitária, representadas por buffers de 500 metros. As edificações são representadas em cores distintas de acordo com seu nível de confiança, o que permite uma avaliação visual imediata da qualidade da detecção em diferentes áreas. Essa representação gráfica auxilia não apenas na interpretação dos resultados, mas também na identificação de áreas onde a detecção automatizada pode exigir validação complementar, seja por imagens de maior resolução, ou por trabalho de campo.

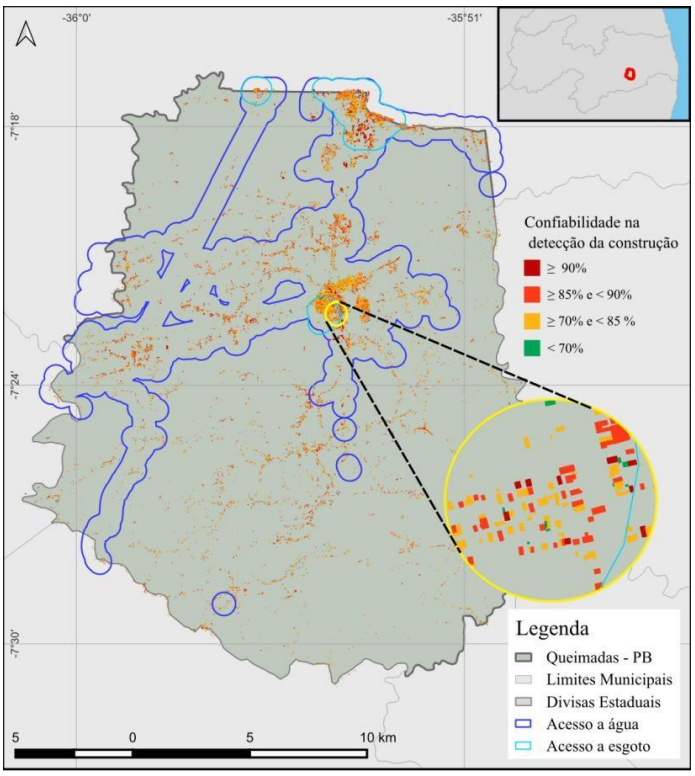


Figura 3. Mapa de edificações detectadas pelo Open Buildings.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No valor de corte de 70% de confiabilidade foram contabilizadas 5596 edificações

sem acesso a água e 15891 sem acesso a esgoto, já no valor de corte de 85% de confiabilidade foram identificadas 2799 edificações sem acesso a água e 7972 edificações sem acesso a esgoto, os dados completos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Estimativa de domicílios e habitantes por cenário

Cenário	Edificações	Estimativa de domicílios	Estimativa de habitantes	Porcentagem da população municipal
Sem acesso a água > 70%	5596	4415	12671	26,32%
Sem acesso a água > 85%	2799	2208	6337	13,16%
Sem acesso a esgoto > 70%	15891	12538	35984	74,45%
Sem acesso a esgoto > 85%	7972	6290	18052	37,50%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os resultados apontam que, mesmo em um cenário de maior rigor metodológico, a quantidade de pessoas sem acesso à rede de coleta de esgoto continua elevada. Esses resultados são coerentes com o quadro de desigualdade urbano–rural na cobertura de serviços de saneamento, o que reforça a necessidade de estratégias específicas para áreas rurais conforme as metas e indicadores previstos pela ANA (ANA 2024). Estudos sobre o estado da Paraíba e sobre a regionalização do saneamento mostram diferenças claras entre microrregiões e ressaltam déficits dignos de destaque em determinadas áreas rurais, o que corrobora a necessidade de priorização espacial dos investimentos (Nascimento de Sousa et al. 2024; FUNDACE / Governo da Paraíba 2021). Em particular, o trabalho de Nascimento de Sousa et al. (2024) destaca a existência de microrregiões com cobertura substancialmente inferior, evidenciando a importância de diretrizes de regionalização para orientar ações focalizadas.

Além dos cálculos de domicílios e estimativa de população, foram gerados mapas de densidade kernel, Figura 4, para evidenciar a localização dos principais aglomerados de edificações sem acesso aos serviços de água e esgoto. A literatura sobre saneamento no semiárido aponta que a dispersão populacional e a heterogeneidade territorial exigem abordagens regionais e tecnologias sociais para atender comunidades rurais de forma sustentável, o que dá contexto técnico à priorização apontada pelos mapas de densidade kernel (Rodrigues et al. 2022; SINISA 2024).

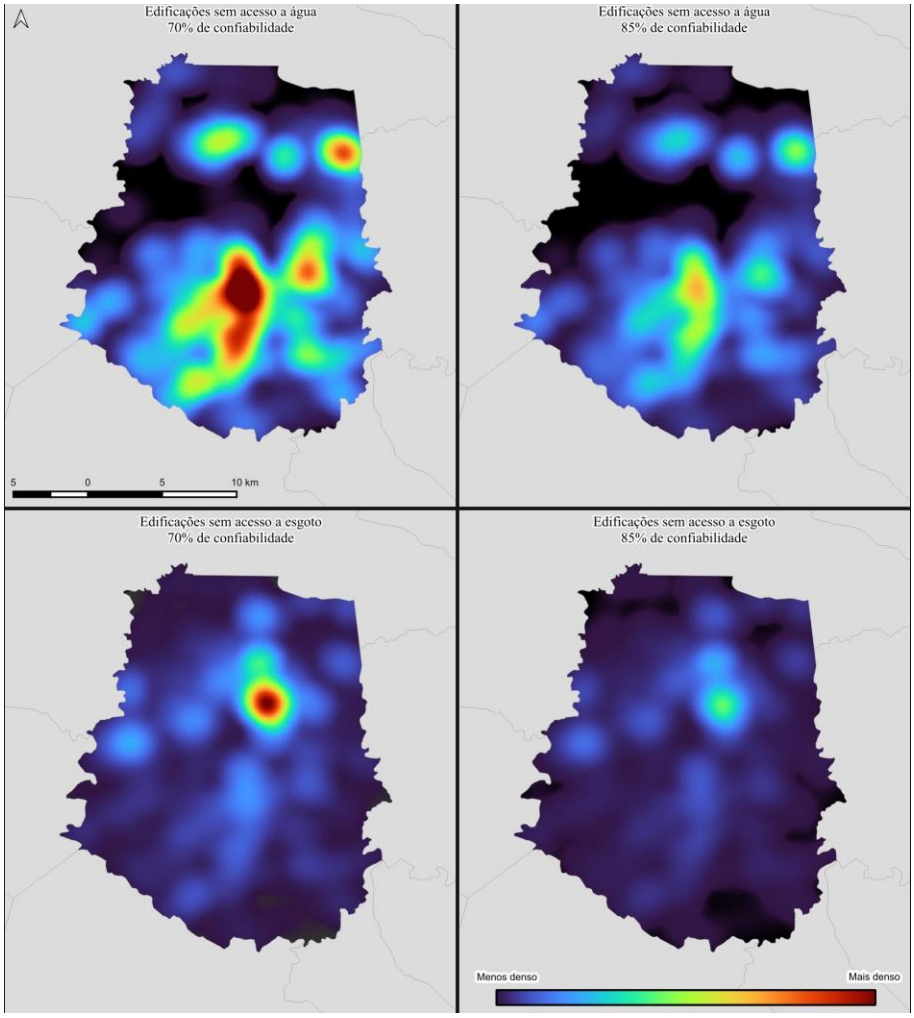


Figura 4. Aglomerados de edificações em cada cenário
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu seu objetivo ao quantificar e espacializar edificações sem acesso à rede de abastecimento de água e à coleta de esgoto, gerando subsídios operacionais para priorização espacial de intervenções. Entre as limitações identificadas destacam-se a defasagem temporal das bases utilizadas, que pode não contemplar edificações recentes, e a possibilidade de classificações automatizadas incorretas, que tendem a superestimar ou subestimar as contagens. Essas incertezas recomendam procedimentos de calibração e atualização periódica das bases, bem como atenção na interpretação das estimativas geradas (Boo et al. 2022; SINISA 2024).

A metodologia demonstrou aplicabilidade em escala municipal e regional, com baixa

exigência computacional por utilizar processamento em nuvem, e oferece insumos valiosos para áreas de difícil acesso. Recomenda-se incorporar os mapas e listas de prioridades ao processo de regionalização e planejamento da companhia, testar intervenções-piloto em aglomerados críticos e avaliar custo-benefício entre soluções coletivas e alternativas locais, em linha com estudos e propostas de regionalização para a Paraíba (FUNDACE 2021; Sousa et al. 2024) e com as diretrizes regulatórias vigentes (ANA 2024). Estas medidas podem ampliar a utilidade da abordagem e apoiar decisões mais eficientes e equitativas em saneamento rural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). 2024. Norma de Referência n.º 8/2024 — Metas progressivas de universalização de abastecimento de água e esgotamento sanitário, indicadores de acesso e sistema de avaliação. Aprovação pela Resolução ANA n.º 192, de 8 de maio de 2024. Acesso em 21 de Agosto de 2025. https://www.gov.br/ana/pt-br/legislacao/resolucoes/resolucoes-regulatorias/2024/192.

Awrangjeb, Mohammad, e Guojun Lu. 2015. "Automatic Building Footprint Extraction and Regularisation from LiDAR Point Cloud Data." In Proceedings of the 2014 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 1–8. IEEE. https://doi.org/10.1109/DICTA.2014.7008096.

Boo, Gianluca, Edith Darin, Douglas R. Leasure, Claire A. Dooley, Heather R. Chamberlain, Attila N. Lázár, Kevin Tschirhart, et al. 2022. “High-resolution population estimation using household survey data and building footprints.” Nature Communications 13:1330. https://doi.org/10.1038/s41467-022-29094-x.

BRASIL. Ministério das Cidades. 2025. Nota técnica n.º 7/2025/CGGI-SNSA-MCID/DCOT-MCID/SNSA-MCID-MCID: Estimativas de população e domicílios no SINISA para 2024. Acesso em 15 de Agosto de 2025. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa.

Coelho, Luiz Carlos Teixeira, Leonardo Vieira Barbalho, and Fernando Rodrigues Lima. 2025. “As Novas Normativas do Cadastro Territorial Multifinalitário no Brasil Como Ferramentas de Planejamento e Gestão Urbanos Participativos.” e-metropolis, Revista Eletrônica de Estudos Urbanos e Regionais 16. Acesso em 27 de Agosto de 2025. https://revistas.ufrj.br/index.php/emetropolis/article/view/62587.

FUNDACE; Governo do Estado da Paraíba. 2021. Estudo técnico: Regionalização do saneamento básico — Paraíba. João Pessoa: FUNDACE. https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-infraestrutura-e-dos-recursos-hidricos/arquivos/estudo-regionalizacao-paraiba.pdf.

Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca

Moore. 2017. "Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone." Remote Sensing of Environment 202: 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2024. Censo Demográfico 2022: Notas metodológicas n. 04/2024 — Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE). Rio de Janeiro: IBGE. Acesso em 18 de Agosto de 2025. https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102091.

Ministério das Cidades (SINISA). 2024. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA): Relatórios e manuais — Resultados SINISA 2024. Brasília: Ministério das Cidades. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa.

Nascimento de Sousa, Ayrton Flavio, Gabriele de Souza Batista, Geovanna Santos Oliveira, Lorena Rayssa Cunha França, Mateus Clemente de Lacerda, e Patrícia Hermínio Cunha Feitosa. 2024. "Análise exploratória dos serviços e microrregiões de água e esgoto no estado da Paraíba a partir de indicadores." Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional 20 (1). https://doi.org/10.54399/rbgdr.v20i1.6988.

Rodrigues, E. Allyjackson Morais, A. Paiva Coutinho, J. Daniele Silva de Souza, I. Rayane de Aguiar Costa, S. Martins dos Santos Neto, e A. Celso Dantas Antonino. 2022. "Rural Sanitation: Scenarios and Public Policies for the Brazilian Semi-Arid Region." Sustainability 14 (12): 7157. https://doi.org/10.3390/su14127157.

Sirko, Wojciech, Sergii Kashubin, Marvin Ritter, Abigail Annkah, Yasser Salah Eddine Bouchareb, Yann Dauphin, Daniel Keysers, Maxim Neumann, Moustapha Cisse, and John Quinn. 2021. "Continental-Scale Building Detection from High Resolution Satellite Imagery." arXiv. https://arxiv.org/abs/2107.12283.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19114763

USO DO EPICOLLECT5 PARA COLETA DE DADOS GEOREFERENCIADOS SOBRE SANEAMENTO RURAL NOS MUNICÍPIOS DE CANUDOS/BA E SENTO SÉ/BA

USO DE EPICOLLECT5 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS GEORREFERENCIADOS SOBRE SANEAMIENTO RURAL EN LOS MUNICIPIOS DE CANUDOS/BA Y SENTO SÉ/BA

USE OF EPICOLLECT5 FOR THE COLLECTION OF GEOREFERENCED DATA ON RURAL SANITATION IN THE MUNICIPALITIES OF CANUDOS/BA AND SENTO SÉ/BA

Carlos Franca[1], Rafaella Medeiros[2], Rafael Moura[3] e Rafaela Nascimento[4].

[1]Engenheiro Agrícola e Ambiental, Projeto Plansanear – UNIVASF, Petrolina, Brasil, carlos.eagri@gmail.com, 0000-0003-1659-1776;
[2]Mestre em Engenharia Civil, Projeto Plansanear – UNIVASF, Petrolina, Brasil, rafaella.moura@ufpe.br, 0000-0002-5712-785X;
[3]Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, Brasil, rafaelviana.plansanear@gmail.com, 0009-0005-4224-8295;
[4]Mestranda em Engenharia Agrícola, UNIVASF, Juazeiro, Brasil, rafaelanascimento.plansanear@gmail.com, 0009-0003-5036-2958.

Eixo Temático 09 – Tecnologias digitais no saneamento rural
Aplicações de tecnologias digitais no monitoramento de água e saneamento rural.

RESUMO

O presente relato de experiência descreve o uso da ferramenta digital, *Epicollect5,* na coleta de dados primários, em campo, nos municípios de Canudos e Sento Sé, no estado da Bahia. Foram coletados, ao todo, 356 pontos georreferenciados com registros em formato de texto, imagem, áudio e vídeo. Entre os principais desafios enfrentados na coleta de dados no campo, destacam-se a ausência de conectividade com a *internet* em regiões rurais remotas, a desorganização de arquivos coletados de forma manual e o risco de perda de dados, além de falhas na comunicação entre os profissionais de campo e os analistas de escritório. Deste modo, esses obstáculos exigem a adoção de soluções mais tecnológicas e integradas para garantir a qualidade e a agilidade na coleta e no processamento dos dados. Nesse contexto, a adoção do *Epicollect5* foi fundamental para superar essas barreiras, oferencendo a funcionalidade de coleta *offline*, que possibilitou o registro dos dados diretamente nos dispositivos móveis, com posterior *upload* para a nuvem, assim que a conexão com a *internet* foi restabelecida. A plataforma também permitiu ainda a edição prévia do formulário de coleta, adaptando-o aos indicadores e categorias necessários para a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). As informações coletadas foram organizadas em um banco de dados estruturado e visualizável em ambiente *web*, o que possibilitou uma análise integrada e em tempo real por profissionais

alocados no escritório. Esse processo reduziu, significativamente, a margem de erro, agilizou a construção do Diagnóstico Técnico-Participativo (Produto C) do PMSB e fortaleceu a representatividade das áreas rurais, que frequentemente são negligenciadas em diagnósticos convencionais. Contudo, como parte deste relato de experiência, menciona-se que ocorreu um erro, em 03 ocasiões, que não pôde ser solucionado, acarretando na perda dos dados destes referidos pontos. Por fim, conclui-se que o uso do *Epicollect5* se configurou como uma ótima ferramenta para a coleta de dados de campo.

Palavras-chave: Epicollect5, Coleta de dados de campo, PMSB, Tecnologias digitais, Saneamento rural.

RESÚMEN

El presente relato de experiencia describe el uso de la herramienta digital *Epicollect5* en la recolección de datos primarios, en el campo, en los municipios de Canudos y Sento Sé, en el estado de Bahía. Se recopilaron, en total, 356 puntos georreferenciados con registros en formato de texto, imagen, audio y video. Entre los principales desafíos enfrentados en la recolección de datos en el campo, se destacan la ausencia de conectividad a internet en regiones rurales remotas, la desorganización de los archivos recolectados de forma manual y el riesgo de pérdida de datos, además de fallas en la comunicación entre los profesionales de campo y los analistas de oficina. De este modo, estos obstáculos requieren la adopción de soluciones más tecnológicas e integradas para garantizar la calidad y la agilidad en la recolección y procesamiento de los datos. En este contexto, la adopción de *Epicollect5* fue fundamental para superar estas barreras, ofreciendo la funcionalidad de recolección offline, lo que permitió el registro de los datos directamente en los dispositivos móviles, con posterior carga a la nube, tan pronto como la conexión a internet fue restablecida. La plataforma también permitió la edición previa del formulario de recolección, adaptándolo a los indicadores y categorías necesarios para la elaboración del Plan Municipal de Saneamiento Básico (PMSB). La información recopilada fue organizada en una base de datos estructurada y visualizable en un entorno *web*, lo que permitió un análisis integrado y en tiempo real por los profesionales asignados en la oficina. Este proceso redujo significativamente el margen de error, agilizó la construcción del Diagnóstico Técnico-Participativo (Producto C) del PMSB y fortaleció la representatividad de las áreas rurales, que frecuentemente son desatendidas en diagnósticos convencionales. Sin embargo, como parte de este relato de experiencia, se menciona que ocurrió un error en 3 ocasiones, que no pudo ser solucionado, lo que resultó en la pérdida de los datos de estos puntos. Finalmente, se concluye que el uso de *Epicollect5* se configuró como una excelente herramienta para la recolección de datos de campo.

Palabras clave: Epicollect5, Recolección de datos de campo, PMSB, Tecnologías digitales, Saneamiento rural.

ABSTRACT

This experience report describes the use of the digital tool *Epicollect5* in the collection of primary data in the field, in the municipalities of Canudos and Sento Sé, in the state of Bahia. A total of 356 georeferenced points were collected, with records in text, image, audio, and

video formats. Among the main challenges faced in data collection in the field, the lack of internet connectivity in remote rural areas, the disorganization of manually collected files, and the risk of data loss are highlighted, in addition to communication failures between field professionals and office analysts. Thus, these obstacles require the adoption of more technological and integrated solutions to ensure the quality and agility of data collection and processing. In this context, the adoption of *Epicollect5* was essential to overcoming these barriers, offering the offline collection feature, which allowed data to be recorded directly on mobile devices, with later upload to the cloud as soon as the internet connection was restored. The platform also allowed the prior editing of the collection form, adapting it to the necessary indicators and categories for the development of the Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB). The collected information was organized into a structured database, viewable in a web environment, enabling integrated and real-time analysis by professionals based in the office. This process significantly reduced the margin of error, expedited the construction of the Technical-Participatory Diagnosis (Product C) of the PMSB, and strengthened the representation of rural areas, which are often neglected in the conventional diagnostics. However, as part of this experience report, it is mentioned that an error occurred on three occasions that could not be resolved, resulting in the loss of data from these specific points. Finally, it is concluded that the use of *Epicollect5* proved to be an excellent tool for field data collection.

Keywords: Epicollect5, Field data collection, PMSB, Digital technologies, Rural sanitation.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O levantamento de dados de saneamento básico, tanto em áreas urbanas como rurais, apresenta desafios logísticos e técnicos que podem comprometer a efetividade da construção do Diagnóstico Técnico-Participativo (Produto C), no âmbito da elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), especialmente, em municípios de grande extensão territorial, com localidades rurais dispersas e baixa cobertura de *internet*. Ao se observar municípios do nordeste brasileiro, é notado que esses desafios se tornam ainda mais presentes, a exemplo dos municípios de Canudos/BA e Sento Sé/BA, no semiárido baiano.

A concepção do Produto C, voltado à caracterização técnica dos 04 eixos do saneamento básico e à participação social, exige uma coleta ampla e, qualitativamente, rica de dados primários provenientes das visitas técnicas de campo, conforme exposto no Termo de Referência para Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico (Brasil 2018). Com a necessidade do registro simultâneo de localização geográfica, condições estruturais, percepções da população e evidências fotográficas ou audiovisuais, optou-se pela adoção do *Epicollect5*, uma ferramenta gratuita e colaborativa desenvolvida pela *University Of Oxford* e *Institute BigData*, de código aberto, que permite a criação de formulários personalizados e

coleta *offline* além da visualização dos dados coletados tanto no aplicativo em dispositivos móveis como na página *web*. A ferramenta é amplamente utilizada a nível mundial, tendo como exemplo a sua utilização nas pesquisas desenvolvidas por (Haynes, Coetzee e Rautenbach 2019) e por (Gohil *et al.* 2020).

A decisão por utilização desta ferramenta foi pensada em termos da grande quantidade de informações a serem coletadas em campo tendo em vista que o Projeto Plansanear, vinculado ao Ministério das Cidades e à Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), tem por objetivo apoiar 93 municípios de pequeno porte na elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB).

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Inicialmente, foi desenvolvido um formulário personalizado na plataforma *web* do *Epicollect5*, contendo campos específicos como: município, eixo do saneamento básico abordado, coordenada geográfica, localidade, data, horário, registros fotográficos, descrição em texto e caracterização audiovisual do local observado. Após validação, o formulário foi sincronizado com os dispositivos móveis dos coletores de campo.

A coleta foi realizada durante três semanas, com equipes de campo atuando de forma simultânea, abrangendo as áreas urbanas, com atenção especial para os povoados e comunidades rurais nos municípios, visto que por se classificarem como dispersas, carecem de soluções de saneamento adaptadas às condições locais. Deste modo, sem acesso à *internet* em grande parte das áreas rurais, os dados foram armazenados localmente nos aparelhos e, posteriormente, sincronizados com a nuvem, quando os dispositivos conseguiam captar sinal. Ao todo, foram mapeados 133 e 223 pontos de interesse no município de Canudos/BA e de Sento Sé/BA, respectivamente, incluindo fossas (sépticas e/ou rudimentares), poços e sistemas de captação de água, cisternas, reservatórios, estações elevatórias (de água e de esgoto), descarte inadequado de resíduos sólidos, pontos críticos de alagamento em períodos chuvosos, entre outros, a exemplo da Figura 1 e da Figura 2.

Figura 1. Queima de resíduos em Canudos Velho no município de Canudos/BA.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 2. Lançamento das águas cinzas na via pública não calçada no Povoado Cajuí no município de Sento Sé/BA.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

As informações foram acessadas em tempo real, assim que sincronizadas à rede, por técnicos do escritório, permitindo acompanhamento, validação e ajustes imediatos. Essa troca reduziu significativamente erros, duplicidades e repetição de trabalho. Além disso, as mídias coletadas facilitaram a análise qualitativa e agregaram elementos essenciais ao Diagnóstico Técnico-Participativo, como as percepções dos usuários locais sobre os sistemas de saneamento básico, registros em áudio de demandas e vídeos sobre o estado físico das

estruturas.

Outro aspecto positivo foi a possibilidade de realizar *upload* de arquivos repassados pela população, como imagens, dentro da entrada para tais registros, tornando o processo dinâmico e colaborativo. A funcionalidade de coleta *offline*, somada à organização automática dos dados na nuvem e à possibilidade de acesso remoto por diversos profissionais (como apresentado na Figura 3), demonstrou-se vital para superar os desafios de infraestrutura e comunicação das regiões rurais.

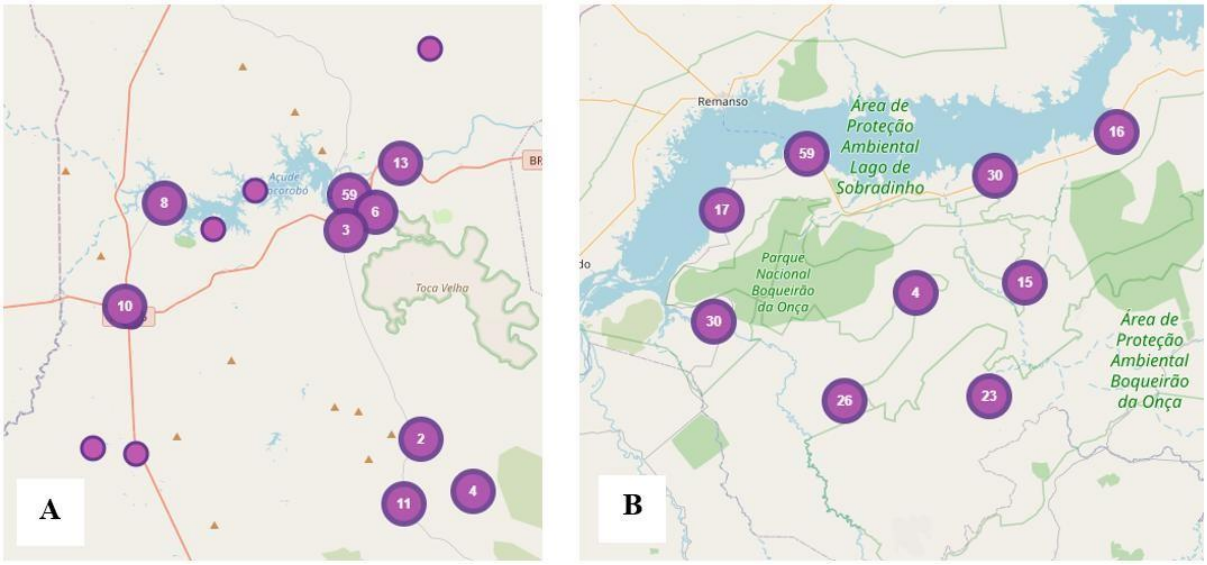


Figura 3. Distribuição dos pontos coletados em campo, em A, no município de Canudos/BA, em B, Sento Sé/BA.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adoção do *Epicollect5* apresentou múltiplos ganhos operacionais, técnicos e estratégicos para a elaboração do Diagnóstico Técnico-Participativo do PMSB nos referidos municípios. As principais análises e resultados do uso do *Epicollect5* são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais análises e resultados do uso do *Epicollect5*.

Pontos positivos	Descrição
Superação da ausência de conectividade com internet	A funcionalidade de coleta *offline* foi determinante para o sucesso da operação. Em diversas localidades, não havia cobertura de sinal móvel, o que inviabilizaria o uso de plataformas de coleta *online* convencionais. Com o *Epicollect5* foi possível registrar dados, quase que, em tempo real, mesmo em áreas isoladas, garantindo a continuidade do trabalho de campo. Posteriormente, com acesso à internet, a sincronização foi realizada de forma manual, mas em lote e segura.
Disponibilidade dos dados	Outro recurso importante são as informações acessíveis e operacionais sempre que necessário, através da *web*, agregando no processo de análise de escritório. Além disso, a segurança do registro e sincronização dos dados coletados, com baixo risco de perda.

Pontos positivos	Descrição
Ampliação da representatividade rural	A plataforma permitiu a inserção efetiva de informações provenientes de comunidades rurais, tradicionalmente invisibilizadas, nos diagnósticos de saneamento básico. Foram mapeadas realidades locais com base em registros multimídia que reforçaram a importância dessas localidades na formulação de políticas públicas mais inclusivas e condizentes com a realidade.
Organização e rastreabilidade dos dados	Todos os registros foram armazenados na nuvem de maneira sistematizada, com estrutura por data, local e categoria. Isso facilitou a visualização em *dashboards* georreferenciados, otimizando o trabalho dos analistas do escritório e reduzindo o risco de perda, redundância ou erro de interpretação dos dados.
Multimodalidade na coleta de informações	A possibilidade de integrar texto, fotografia, áudio e vídeo em um único ponto de coleta (conhecido como entrada na plataforma) proporcionou uma leitura ampliada e relevante dos dados. Por exemplo, foi possível associar a descrição de um sistema de fossa rudimentar com uma imagem da estrutura, um áudio com o relato do morador e um vídeo que mostrava o entorno da residência. Essa integração garantiu maior qualidade e robustez na análise final.
Integração com outras ferramentas e exportação de dados	O *Epicollect5* gerou arquivos em formatos compatíveis com *softwares* de *SIG* (como *QGIS* e *Google Earth*), planilhas (*CSV*) e relatórios técnicos. Isso facilitou a construção de mapas temáticos, gráficos e tabelas que ilustraram de maneira objetiva as condições observadas em campo.
Pontos negativos	**Descrição**
Ocorrências de erros	Dentre os pontos coletados nos referidos municípios, foram registrados 03 erros dentre os 356 registros realizados no aplicativo. Estes erros são nomeados como {"code":1}, que aparece na etapa de salvamento da entrada. Nos casos mencionados, a falha ocasionou da perda dos registros feitos nessas entradas. De acordo com o guia do usuário do *Epicollect5*, esse erro é um problema conhecido que ocorre nos aplicativos móveis, porém, tanto o guia quanto a equipe de desenvolvimento não fornecem uma explicação específica sobre o motivo da ocorrência, ressaltando ainda, a falta de esclarecimentos à natureza esporádica do erro e à incapacidade de reproduzi-lo de forma consistente em seus dispositivos de teste.
Limitações encontradas	Dentre as deficiências da plataforma, está a construção dos formulários. Para que possa ser realizada a coleta, faz-se necessária a previsibilidade da estimativa de imagens e vídeos que serão registrados. Como exemplo, caso um usuário necessite registrar duas imagens e foi criado o espaço apenas para uma, em campo (através do aplicativo) não é possível registrar mais de uma imagem, sendo necessária a reestruturação do formulário na *web* e posterior atualização no aplicativo.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da plataforma *Epicollect5* revelou-se uma estratégia altamente eficaz para a coleta de dados primários georreferenciados em regiões rurais com desafios de conectividade, infraestrutura e logística. A ferramenta proporcionou maior agilidade na coleta, precisão nos registros, flexibilidade na estruturação dos formulários e integração eficiente entre campo e escritório.

Além disso, o caráter colaborativo e gratuito da plataforma reduziu custos operacionais, ao mesmo tempo que democratizou o acesso e a visualização dos dados entre diferentes

membros da equipe técnica. A experiência nos municípios de Canudos/BA e Sento Sé/BA demonstrou que soluções tecnológicas como o *Epicollect5* são fundamentais para garantir diagnósticos mais completos, inclusivos e participativos no âmbito dos PMSBs.

Recomenda-se, fortemente, a utilização dessa ferramenta em outros municípios que enfrentam desafios semelhantes, especialmente quando há necessidade de atuação em zonas de difícil acesso, sem sacrificar a qualidade, a abrangência e a integridade dos dados coletados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto Plansanear, desenvolvimento pelo Núcleo de Inovação em Estudos de Saneamento Ambiental e Desenvolvimento Territorial (NIESADT) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) em parceria com o Ministério das Cidades e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), formalizado, por meio do Termo de Execução Descentralizada n.º 951532/2023 SNSA/MCID/UNIVASF.

O Plansanear tem contribuído significativamente para o avanço das políticas públicas de saneamento, oferecendo apoio técnico e capacitação a 93 municípios dos estados do Rio de Janeiro, Pernambuco e Bahia no processo de elaboração de seus Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Fundação Nacional de Saúde — FUNASA. *Termo de Referência para Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico*. Brasília: Funasa, 2018. https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/473 (acessado em 14 de agosto de 2025).

Epicollect5. *Epicollect5 User Guide*. 2024. https://docs.epicollect.net/ (acessado em 10 de julho de 2025).

Gohil, R., S. Sharma, S. Sachdeva, et al. "Epicollect5: A Free, Fully Customizable Mobile-Based Application for Data Collection in Clinical Research." *Journal of Postgraduate Medicine, Education and Research* 56, no. 3 (2025): 123–128. https://www.jpmer.com/abstractArticleContentBrowse/JPMER/22564/JPJ/fullText (acessado em 20 de agosto de 2025).

Haynes, Megan, S. Coetzee, e V. Rautenbach. "Supporting Urban Design with Open Source Geospatial Technologies." *Proceedings of the XXII ISPRS Congress*, 2025. https://repository.up.ac.za/server/api/core/bitstreams/ecc4ce82-5512-436a-ae3f-089765ea3906/content (acessado em 20 de agosto de 2025).

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116138

A Deficiência do Saneamento Básico em Zonas Rurais e a sua Influência na Saúde Pública da Comunidade

La Deficiencia del Saneamiento Básico en Zonas Rurales y su Influencia en la Salud Pública de la Comunidad

The Deficiency of Basic Sanitation in Rural Areas and its Influence on Community Public Health

Glécia Souza[1], Railson Diego[2], Mariana dos Santos[3] e Rana Eduarda[4].

[1]Bacharelando em Ciências Biológicas, UNIVASF, Petrolina, Brasil, glecia.oliveira@discente.univasf.edu.br, https://orcid.org/0009-0009-2898-7349;
[2]Bacharelando em Ciências Biológicas, UNIVASF, Petrolina, Brasil, railson.ferraz@discente.univasf.edu.br, https://orcid.org/0009-0007-4440-5519;
[3]Bacharelando em Ciências Biológicas, UNIVASF, Petrolina, Brasil, mariana.s@discente.univasf.edu.br, https://orcid.org/0009-0000-3674-2821;
[4]Bacharelando em Biomedicina, UNICID, São Paulo, Brasil, rana.oliveira@cs.unicid.edu.br, https://orcid.org/0009-0003-4927-7852.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores
Relación entre calidad del agua y enfermedades de transmisión hídrica

RESUMO

Este trabalho investigou a inadequação do sistema de saneamento em áreas rurais e seu impacto na saúde coletiva, por meio de uma análise bibliográfica. A pesquisa baseou-se em informações de bancos de dados como *SciELO*, *PubMed* e *Periódicos CAPES*, buscando publicações recentes para entender a ligação entre a insuficiência de saneamento e as enfermidades transmitidas pela água. Os achados evidenciaram que a carência de saneamento é o principal fator ambiental que contribui para a continuidade de epidemias no Brasil, que se manifesta por problemas na qualidade da água, elevada taxa de doenças e descaso político. A revisão dos artigos mostrou que quase 90% das amostras de água em regiões rurais estão contaminadas com matéria fecal, o que coloca as comunidades em risco de infecções por patógenos como *Escherichia coli* e Adenovírus Humanos. A pesquisa enfatiza que a solução vai além da coleta de resíduos, envolvendo também o tratamento de efluentes. A falta de saneamento resulta em altos índices de doenças e mortes, principalmente entre grupos vulneráveis. Frente ao Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, o estudo destaca que a resolução da crise sanitária precisa de ações abrangentes, sendo crucial uma transformação na gestão pública e um planejamento intermunicipal conjunto que assegure a igualdade e o acesso ao saneamento.

Palavras-chave: Saúde Coletiva, Leptospirose, Parasitoses Intestinais, Esquistossomose, Esgoto

RESÚMEN

Este trabajo investigó la insuficiencia del sistema de saneamiento en áreas rurales y su impacto en la salud colectiva, a través de un análisis bibliográfico. La investigación se basó en información de bases de datos como *SciELO*, *PubMed* y *Periódicos CAPES*, buscando publicaciones recientes para comprender la relación entre la insuficiencia de saneamiento y las enfermedades transmitidas por el agua. Los hallazgos evidenciaron que la carencia de saneamiento es el principal factor ambiental que contribuye a la continuidad de epidemias en Brasil, manifestándose en problemas en la calidad del agua, alta tasa de enfermedades y desinterés político. La revisión de los artículos mostró que casi el 90% de las muestras de agua en regiones rurales están contaminadas con materia fecal, lo que pone a las comunidades en riesgo de infecciones por patógenos como *Escherichia coli* y Adenovirus Humanos. La investigación enfatiza que la solución va más allá de la simple recolección de residuos, implicando también el tratamiento de efluentes. La falta de saneamiento resulta en altos índices de enfermedades y muertes, principalmente entre grupos vulnerables. Frente al Nuevo Marco Regulatorio del Saneamiento Básico, el estudio destaca que la resolución de la crisis sanitaria requiere de acciones integrales, siendo crucial una transformación en la gestión pública y una planificación intermunicipal conjunta que asegure la igualdad y el acceso al saneamiento.

Palabras clave: Salud Colectiva, Leptospirosis, Parasitosis Intestinales, Esquistosomiasis, Aguas Residuales

ABSTRACT

This work investigated the inadequacy of the sanitation system in rural areas and its impact on collective health through a bibliographic analysis. The research was based on information from databases such as *SciELO*, *PubMed*, and *Periódicos CAPES*, seeking recent publications to understand the link between insufficient sanitation and waterborne diseases. The findings showed that the lack of sanitation is the main environmental factor contributing to the continuity of epidemics in Brazil, which manifests through problems with water quality, high disease rates, and political neglect. The article review revealed that almost 90% of water samples in rural regions are contaminated with fecal matter, placing communities at risk of infections from pathogens such as *Escherichia coli* and Human Adenoviruses. The research emphasizes that the solution goes beyond waste collection, also involving effluent treatment. The lack of sanitation results in high rates of disease and death, particularly among vulnerable groups. In light of the New Regulatory Framework for Basic Sanitation, the study highlights that resolving the sanitary crisis requires comprehensive actions, making a transformation in public management and a joint intermunicipal planning crucial to ensure equality and access to sanitation.

Keywords: Public Health, Leptospirosis, Intestinal Parasitoses, Schistosomiasis, Sewage

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é reconhecido globalmente como um dos pilares essenciais para

a saúde pública e para o desenvolvimento social, sendo definido como o controle dos fatores do meio físico que podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar. A cobertura adequada dos serviços está consistentemente associada a uma melhor percepção da saúde, evidenciando a necessidade de considerá-lo fundamental na elaboração de políticas sanitárias, constituindo um determinante ambiental de saúde crucial em países com desigualdades significativas (Massa and Chiavegatto Filho 2020).

Nesse contexto, a importância da potabilidade da água no saneamento básico é inegável, pois a água, além de essencial ao organismo humano, é o principal meio de proliferação de endemias. A busca por um sistema de abastecimento e tratamento eficaz não é apenas uma preocupação moderna, mas um desafio que acompanha a humanidade há séculos, exigindo contínuos esforços tanto de abordagens tecnológicas apropriadas quanto de políticas públicas para garantir a qualidade de vida da população (Pasini and Damke 2020).

Em termos de política pública de acessibilidade, o Brasil avançou com a promulgação da Lei nº 14.026/2020, que instituiu o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Brasil 2020, art. 6). Esta legislação tem como principal foco promover o acesso igualitário e universalizado aos serviços de água e saneamento até o ano de 2033, mobilizando investimentos e garantindo que a universalidade dos serviços seja alcançada, o que é essencial para o pleno exercício do direito humano à água e ao saneamento (Gadelha et al. 2021).

A falta de saneamento básico é um fator que afeta diretamente a qualidade de vida, especialmente em comunidades rurais e de menor desenvolvimento, e é o principal meio de proliferação de endemias. A deficiência no serviço se torna um problema de saúde pública, onde a presença ou a ausência da Política Municipal de Saneamento Básico (PMSB) influencia significativamente a probabilidade de os municípios apresentarem doenças relacionadas ao saneamento inadequado (Bayer et al. 2021).

Consequentemente, a ausência ou precariedade do saneamento resulta em diversas doenças associadas ao contágio por água contaminada (doenças de veiculação hídrica), sendo um grave problema para a saúde pública. Análises mostram que existe uma forte correlação temporal entre indicadores de saneamento e internações hospitalares por doenças como diarreia, hepatite, leptospirose, e amebíase, ressaltando a urgência de melhorias no setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário (Pintanel et al. 2021).

Diante desse cenário, justifica-se a relevância deste estudo pela necessidade de

compreender os impactos que a falta de saneamento básico exerce sobre a saúde das comunidades rurais, onde as desigualdades de acesso a serviços públicos tornam a população mais vulnerável a doenças de veiculação hídrica. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a deficiência do saneamento básico nessas localidades e sua influência na saúde pública, com base em uma revisão bibliográfica recente que discute os principais doenças encontradas e seus desafios.

A relevância deste estudo reside na urgente necessidade de lançar luz sobre as iniquidades sociais e de saúde vivenciadas por comunidades rurais, frequentemente marginalizadas das políticas de infraestrutura essenciais. A deficiência no saneamento básico nestas regiões não é apenas um problema de logística, mas uma grave questão de saúde pública e de direito humano à água e ao saneamento. Diante da promulgação do Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Brasil 2020, art. 6), que visa a universalização dos serviços até 2033, este trabalho se justifica por fornecer dados e subsídios que destacam a prioridade da zona rural no alcance dessas metas. Ao correlacionar a ausência de saneamento com o aumento de morbidades específicas, este resumo expandido oferece uma base crítica para que a população possa cobrar, e os gestores públicos possam elaborar políticas sanitárias que garantam a equidade e a qualidade de vida para todos os cidadãos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo trata-se de uma revisão bibliográfica fundamentada em pesquisa descritiva e exploratória. A busca por artigos científicos foi realizada nas bases de dados *SciELO*, *PubMed* e *Periódicos CAPES*, reconhecidas pela relevância na área da saúde e ciências aplicadas. O levantamento contemplou artigos publicados nos últimos anos (2020–2025), nos idiomas português e inglês, sem restrições geográficas.

A estratégia de busca empregou os descritores: “Saúde Coletiva”, “Leptospirose”, “Parasitoses intestinais”, “Esquistossomose”, “Rural” e “Esgoto”, combinados por operadores booleanos *AND* e *OR* para ampliar a busca e garantir relevância temática. Os critérios de inclusão priorizaram artigos completos que abordassem diretamente a relação entre saneamento básico, saúde coletiva e a ocorrência de doenças de veiculação hídrica em comunidades rurais. Foram excluídos artigos duplicados, trabalhos de opinião sem dados

empíricos e revisões não sistematizadas. A triagem foi realizada em três etapas (leitura de títulos, resumos e, por fim, leitura completa). A busca inicial retornou 172 artigos no *PubMed*, 40 no *SciELO* e no 1052 *Periódicos CAPES*. Ao final do processo de seleção, a amostra final foi composta por 18 artigos, sendo 5 do *Pubmed*, e 5 do *SciELO*, e 8 do *Periódicos CAPES*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliográfica dos artigos selecionados confirmou que a deficiência de saneamento básico, sobretudo em zonas rurais e comunidades socialmente vulneráveis, constitui o principal fator ambiental e social para a persistência de endemias no Brasil. Os resultados convergem para um diagnóstico triplo: falha crítica na qualidade da água, alta incidência de doenças de veiculação hídrica, como mostrado na tabela 1, e profunda negligência política e social.

Tabela 1. Listagem de doenças de veiculação hídrica e os seus respectivos meios de contaminação e patologias associadas

Doenças (Vetores)	**Propagação/Contaminação**	**Patologias associadas à infecção**
Amebíase, Ascaridíase, Cólera, Giardíase e Hepatite A	Ingestão de água contaminada com fezes de origem animal ou humana infectadas com patógenos (bactérias, vírus, fungos, protozoários e helmintos).	Febre, dores abdominais, diarreia com sangue, flatulência, anemia e, até mesmo, morte.
Esquistossomose (Caramujo)	Penetração de larvas (cercárias) na pele e mucosas após o contato com água doce contaminada.	Fase aguda: Febre, dores abdominais, diarreia, flatulência, anemia, dores de cabeça, náuseas e aumento do fígado e do baço.
Leptospirose (Rato)	Contato com águas contaminadas com urina de rato ou outros animais, que podem conter a bactéria espiroqueta e Gram-negativa, Leptospira interrogans.	Fase precoce: Febre, dor de cabeça, dor muscular, náuseas e vômito. Fase aguda: Icterícia, insuficiência renal e hemorragia.
Arboviroses (Zika, Chikungunya e Dengue)	Transmissão por vetores (como o mosquito Aedes aegypti) que se desenvolvem em ambientes aquáticos.	Síndrome febril aguda: Febre, dores no corpo, prostração/fadiga, erupção cutânea.

Adenovírus (Human adenovirus C)	Respiratório, contato com superfícies, água contaminada, secreções.	Infecções respiratórias, conjuntivites e gastroenterites.
Enterovírus (poliovírus, coxsackievírus, echovírus, enterovírus não polio)	Principalmente por via fecal-oral e água contaminada.	Meningites, doenças neurológicas, infecções cardíacas e síndromes infantis

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2021); Santana et al. (2021); Vitor et al. (2021)

Os estudos de Lima et al. (2021) em Goiás e Correia et al. (2022) em Alagoas validam a premissa de que a ausência de infraestrutura sanitária adequada é o cerne da contaminação fecal-oral, transformando a água no principal vetor de doenças. Em Goiás, a análise de fontes rurais revelou taxas alarmantes de contaminação, com quase 90% das amostras positivas para marcadores fecais (como *Escherichia coli* e Adenovírus Humanos), indicando exposição contínua a patógenos hídricos; de forma semelhante, em comunidades quilombolas de Alagoas, a água para consumo estava fora dos padrões de potabilidade devido à presença de coliformes totais. Essa convergência de resultados demonstra que a vulnerabilidade sanitária, especialmente em áreas rurais e comunidades tradicionais, estabelece um risco direto e inaceitável para a saúde pública, exigindo ações urgentes de saneamento básico.

A coleta de esgoto, por si só, não é suficiente. A pesquisa sobre a esquistossomose demonstrou que a simples presença de saneamento nas escolas pode, paradoxalmente, ser um fator de risco quando o esgoto é descartado sem tratamento nos recursos hídricos (Poague et al. 2023). Este despejo inadequado mantém o ciclo de vida do vetor aumentando o risco de transmissão da doença, reforçando que a solução passa pelo tratamento de efluentes, e não apenas pela coleta, o que não é visto em comunidades rurais, que em sua maioria tem seus efluentes liberados em fossas sépticas, na rua ou até mesmo nos rios e lagos, dos quais a água é consumida.

Os estudos reforçam que a precariedade sanitária se traduz em morbidade e mortalidade graves e subestimadas, afetando desproporcionalmente populações marginalizadas. Doenças como a esquistossomose (Brito et al. 2023) têm sua real carga mascarada, exigindo métodos complexos para rastrear óbitos, enquanto a leptospirose é considerada "duplamente negligenciada" (Martins and Spink 2020) devido à alta mortalidade e à invisibilidade social das vítimas concentradas em regiões pobres (Marteli et al. 2020). Essa negligência é agravada por uma rede de saúde que frequentemente dilui ou individualiza a responsabilidade (Henrique and Jane 2020), desviando o foco da falha estrutural do saneamento e perpetuando o ciclo de risco para os mais vulneráveis.

A precariedade ambiental gera uma carga de doenças complexa. Além das endemias específicas, a investigação em comunidades rurais socialmente vulneráveis, como no Sul da Bahia, demonstrou a co-ocorrência de parasitoses intestinais e infecções sexualmente transmissíveis (ISTs), indicando uma vulnerabilidade sanitária e social abrangente (Barreto et al. 2025) que deixa explícito a falta de informações passadas a essas pessoas, as deixando em uma maior vulnerabilidade e dificultado sua busca por melhorias para sua população. Adicionalmente, o estudo comparativo na Colômbia, utilizando qPCR multi paralelo, reforça que a prevalência de parasitas intestinais é frequentemente maior em contextos rurais quando

comparada a contextos urbanos controlados, evidenciando a falha específica no saneamento rural como fator de risco (Bryan et al. 2020).

O estudo demonstra que a superação da crise sanitária exige mais do que intervenções pontuais, sendo essencial uma mudança na gestão pública e na priorização do saneamento como política de saúde e desenvolvimento. O problema do saneamento não se restringe a limites municipais. Uma análise sobre a Política Municipal de Saneamento Básico (PMSB) concluiu que a diminuição na ocorrência de doenças é significativamente maior em municípios que pertencem a arranjos espaciais com planejamento coordenado, reforçando que a eficácia é maximizada quando há planejamento intermunicipal e regional (Bayer et al. 2021). A ausência de saneamento é, portanto, um desafio de gestão territorial que exige a superação de fronteiras administrativas para ser mitigado, e a aplicação de políticas de equidade que visem ajudar os mais vulneráveis, buscando um crescimento igualitário entre o meio urbano e o rural.

A fragilidade da vigilância epidemiológica e a disparidade social emergem como desafios estruturais à saúde pública. A dificuldade em rastrear a real carga de doenças graves, como evidenciado pela esquistossomose em Pernambuco (Brito et al. 2023), aponta para a necessidade urgente de aprimorar a qualidade do *linkage* e dos sistemas de dados. Em uma perspectiva mais ampla, essa vulnerabilidade se conecta diretamente à profunda disparidade social, conforme a forte correlação entre o baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a precariedade do Saneamento Básico (Vitor et al. 2021). Essa relação confirma que o investimento em saneamento é um imperativo de justiça social e um motor de desenvolvimento, e não pode ser substituído por ações localizadas de engenharia de segurança, como a mitigação de riscos em Estações de Tratamento de Água (ETA) (Pasini and Damke 2020), que, embora essenciais para a segurança ocupacional, não resolvem a carência fundamental de infraestrutura de coleta e tratamento para a população.

Um fator que é ponto chave para o desafio alcançar os níveis adequados de saneamento básico é a educação. A escolaridade e o nível de instrução estão altamente atrelados à ocorrência de doenças de veiculação hídrica, uma vez que indivíduos com menor acesso à educação tendem a apresentar limitações no entendimento sobre práticas de higiene, manuseio da água e importância do saneamento para a saúde (Neves et al. 2020). Por fim, é necessário notar que a vulnerabilidade socioeconômica dessas comunidades é o fator que fecha o ciclo da doença. A dificuldade em acessar e reivindicar políticas públicas adequadas contribui para a manutenção de um ciclo de vulnerabilidade social e sanitária, consolidando a exposição crônica a patógenos e provando que a falta de saneamento, em última análise, é uma questão de justiça e direitos humanos negligenciados por o poder público, que se traduz diretamente em morbidade e mortalidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos achados da revisão de literatura, é possível afirmar que a ausência de saneamento básico, especialmente em áreas rurais e entre comunidades em situação de vulnerabilidade, é um fator crucial que contribui para a continuidade de endemias e um grave desafio de saúde pública no Brasil. A pesquisa evidenciou que a carência de infraestrutura coloca a população em risco de contaminação fecal, com a água servindo como o principal

vetor para a disseminação de enfermidades. A análise revelou que até mesmo a coleta de esgoto, sem tratamento adequado, pode perpetuar o ciclo de propagação de doenças como a esquistossomose. A questão do saneamento abrange não apenas a infraestrutura, mas também reflete uma negligência política e social. Enfermidades como a leptospirose são consideradas "duplamente negligenciadas" por impactarem, principalmente, comunidades marginalizadas e apresentarem altos índices de mortalidade. A forte relação entre a qualidade do saneamento e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) ressalta que é imprescindível investir nessa área como uma questão de justiça social. Diante deste panorama, para superar a crise sanitária, faz-se necessário uma reformulação na gestão pública e a priorização do saneamento como uma política essencial de saúde e desenvolvimento. O planejamento que envolve vários municípios se mostrou mais eficaz na redução de enfermidades. Portanto, o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que tem como objetivo a universalização dos serviços até 2033, deve focar nas áreas rurais para que as metas estipuladas sejam atingidas. Em última análise, assegurar o acesso universal à água potável e ao tratamento de esgoto é vital para a melhoria da qualidade de vida, a justiça social e o pleno exercício do direito humano ao saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreto, Nilo Mpv, Marina Mb Farias, Weslei Ac Araújo, N De, Cíntia de, Larissa M Sampaio, Alex, et al. 2025. “Intestinal Parasites and Sexually Transmitted Infections in a Socially Vulnerable Rural Community in Southern Bahia, Brazil.” *The Journal of Infection in Developing Countries* 19 (07): 1121–31. https://doi.org/10.3855/jidc.20121.

Bayer, Natássia Molina, Paulo Ricardo Ricco Uranga, and Adelar Fochezatto. 2021. “Política Municipal de Saneamento Básico E a Ocorrência de Doenças Nos Municípios Brasileiros.” *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* 13. https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20190375.

Brasil. 2020. Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020. *Diário Oficial da União, Seção 1, 16 de julho de 2020.* http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

Brito, Maria Isabelle Barbosa da Silva, Emília Carolle Azevedo de Oliveira, Constança Simões Barbosa, and Elainne Christine de Souza Gomes. 2023. “Fatores Associados

Às Formas Graves E Aos Óbitos Por Esquistossomose E Aplicação Do Linkage Probabilístico Nas Bases de Dados, Pernambuco, 2007–2017." *Revista Brasileira de Epidemiologia* 26 (January): e230003. https://doi.org/10.1590/1980-549720230003.2.

Bryan, Patricia E., Marcela Romero, Miryan Sánchez, Giovanny Torres, Wilber Gómez, Marcos Restrepo, et al. 2020. "Urban versus Rural Prevalence of Intestinal Parasites Using Multi-Parallel QPCR in Colombia." *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, December. https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1202.

Correia, M. S., E. N. A. Santos, P. K. A. Magalhães, et al. 2022. "Physicochemical, Microbiological and Parasitological Analysis of Water for Human Consumption in a Quilombola Community in Alagoas." *Brazilian Journal of Biology* 82 (July). https://doi.org/10.1590/1519-6984.260905.

Gadelha, Hugo Sarmento, Agílio Tomaz Marques, Francisco das Chagas Bezerra Neto, Mateus Ferreira de Almeida Lima, Rosana Santos de Almeida, José Marcolino Neto, et al. 2021. "O Novo Marco Regulatório Do Saneamento Básico E O Direito ao Acesso à Água." *Research, Society and Development* 10 (11): e569101118843. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.18843.

Henrique, Mário, and Mary Jane. 2020. "Discourse Analysis of the Attributions of Causality and Responsibility for the Occurrence of Leptospirosis." *Paidéia (Ribeirão Preto)* 30 (January). https://doi.org/10.1590/1982-4327e3027.

Lima, Fernando Santos, Paulo Sérgio Scalize, Ellen Flávia Moreira Gabriel, et al. 2021. "Escherichia Coli, Species c Human Adenovirus, and Enterovirus in Water Samples Consumed in Rural Areas of Goiás, Brazil." *Food and Environmental Virology* 14 (1): 77–88. https://doi.org/10.1007/s12560-021-09504-x.

Marteli, Alice Nardoni, Laís Vieira Genro, Décio Diament, and Laurindo Antonio Guasselli. 2020. "Análise Espacial Da Leptospirose No Brasil." *Saúde Em Debate* 44 (126): 805–17. https://doi.org/10.1590/0103-1104202012616.

Martins, Mário Henrique da Mata, and Mary Jane Paris Spink. 2020. "A Leptospirose Humana Como Doença Duplamente Negligenciada No Brasil." *Ciência & Saúde Coletiva* 25 (3): 919–28. https://doi.org/10.1590/1413-81232020253.16442018.

Massa, Kaio Henrique Correa, and Alexandre Dias Porto Chiavegatto Filho. 2020. "Saneamento Básico E Saúde Autoavaliada Nas Capitais Brasileiras: Uma Análise Multinível." *Revista Brasileira de Epidemiologia* 23. https://doi.org/10.1590/1980-549720200050.

Neves, Hamilton, Ricardo A. Novaes, Luciano Ricardo, Patrícia B. Vieira, Renata Lima, e Marta Pasqualotto. 2020. "Basic Sanitation and Self-Reported Health in Brazilian Capitals." *Revista Brasileira de Epidemiologia* 21 (1): e180004. https://doi.org/10.1590/1980-549720200050 .

Pasini, Fernando, and Taiara Damke. 2020. "A Importância Da Potabilidade Da Água No Saneamento Básico Para a Promoção Da Saúde Pública." *Revista Eletrônica TECCEN* 13 (1): 8–15. https://doi.org/10.21727/teccen.v13i1.2200.

Pintanel, Suelen Ramires, Samanta Tolentino Cecconello, and Luana Nunes Centeno. 2021. "Análise Da Correlação Entre Os Indicadores de Saneamento Básico E as Doenças de Veiculação Hídrica Em Municípios Do Sul Do Rio Grande Do Sul." *Revista Ambientale* 13 (2): 41–52. https://doi.org/10.48180/ambientale.v13i2.292.

Poague, Kasandra Isabella Helouise Mingoti, Sueli Aparecida Mingoti, and Léo Heller. 2023. "Water, Sanitation and Schistosomiasis Mansoni: A Study Based on the Brazilian National Prevalence Survey (2011-2015)." *Ciência & Saúde Coletiva* 28 (January): 363–72. https://doi.org/10.1590/1413-81232023282.09692022.

Santana, Julliana Ferrari Campêlo Libório de, Andressa Pereira Ronn, Guilherme Nascimento Bezerra, and Tatiana Lima da Silva Fernandes. 2021. "Agravos Clínicos Decorrentes Das Arboviroses: Uma Revisão de Literatura." *Research, Society and Development* 10 (2): e46010212057. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12057.

Vitor, Gabriel Alves, Giorge André Lando, Carolina de Albuquerque Lima Duarte, Daniela de Araújo Viana Marques, and Isabele Bandeira de Moraes D'Angelo. 2021. "Saúde E Saneamento No Brasil: Uma Revisão Narrativa Sobre a Associação Das Condições de Saneamento Básico Com as Doenças de Veiculação Hídrica." *Research, Society and Development* 10 (15): e521101522913. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22913.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116154

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE EURÍPEDES, EM QUIXADÁ – CE, COM ÊNFASE EM INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO FECAL

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE EURÍPEDES, EN QUIXADÁ – CE, CON ÉNFASIS EN INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL

ANALYSIS OF THE WATER QUALITY OF THE EURÍPEDES RESERVOIR, IN QUIXADÁ – CE, WITH EMPHASIS ON FECAL CONTAMINATION INDICATORS

Tiago Marculino Alves[1], Ana Beatriz de Oliveira Ribeiro[2], Clemilson Nogueira Paiva[3] e Francisco das Chagas Gomes da Silva Junior[4]

[1]Graduando, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá- CE, Brasil, tiago.marculino.alves06@aluno.ifce.edu.br, https://orcid.org/0009-0002-7537-1706
[2]Graduanda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá- CE, Brasil, ana.beatriz.oliveira02@aluno.ifce.edu.br, https://orcid.org/0009-0009-2988-371X
[3]Mestre, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá-CE, Brasil, clemilson.paiva@ifce.edu.br, https://orcid.org/0000-0001-9592-3622
[4]Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá-CE, Brasil, chagas.gomes@ifce.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-8974-617X

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

Eje Temático 10 – Salud pública y control de vectores
Relación entre calidad del agua y enfermedades de transmisión hídrica.

RESUMO

A água é um recurso essencial para a manutenção da vida e do equilíbrio dos ecossistemas, mas o crescimento acelerado das cidades tem pressionado sua disponibilidade e qualidade. A urbanização desordenada favorece o despejo inadequado de efluentes, reduzindo a capacidade natural de recuperação dos corpos hídricos. Esse cenário é agravado pela contaminação microbiológica, que representa um dos maiores riscos à saúde pública por estar associada à transmissão de doenças de veiculação hídrica. Entre os microrganismos de maior relevância, destacam-se as bactérias do grupo coliformes, utilizadas como indicadoras de poluição fecal. Este estudo foi realizado no Açude Eurípedes, em Quixadá-CE, um reservatório urbano cercado por áreas residenciais e receptor de efluentes tratados de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Foram coletadas amostras em quatro pontos do açude para representar diferentes áreas de influência antrópica. As análises microbiológicas utilizaram a tecnologia de Substrato Definido Enzimático (DST) e o sistema IDEXX Quanti-Tray/2000, com diluições seriadas para quantificação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e Escherichia coli. Os resultados apontaram altos níveis de coliformes totais em todas as amostras e presença expressiva de E. coli, especialmente no ponto P2, que apresentou o maior valor na amostra bruta (2.419,6 NMP/100 mL). Esses achados evidenciam forte pressão de poluição fecal e a necessidade de monitoramento contínuo, fortalecimento do saneamento e

proteção de áreas de preservação, contribuindo para o cumprimento dos ODS 6 e 11.

Palavras-chave: Qualidade da água, Coliformes, Contaminação fecal, Saneamento, Saúde pública

RESÚMEN

El agua es un recurso esencial para el mantenimiento de la vida y el equilibrio de los ecosistemas, pero el rápido crecimiento de las ciudades ha ejercido presión sobre su disponibilidad y calidad. La urbanización desordenada favorece el vertido inadecuado de efluentes, lo que reduce la capacidad natural de recuperación de los cuerpos de agua. Esta situación se ve agravada por la contaminación microbiológica, que representa uno de los mayores riesgos para la salud pública al estar asociada a la transmisión de enfermedades transmitidas por el agua. Entre los microorganismos más relevantes, destacan las bacterias del grupo coliforme, utilizadas como indicadores de contaminación fecal. Este estudio se llevó a cabo en el embalse Eurípedes, en Quixadá-CE, un embalse urbano rodeado de zonas residenciales y receptor de efluentes tratados de una estación de tratamiento de aguas residuales (ETE). Se recogieron muestras en cuatro puntos del embalse para representar diferentes áreas de influencia antrópica. Los análisis microbiológicos utilizaron la tecnología de sustrato enzimático definido (DST) y el sistema IDEXX Quanti-Tray/2000, con diluciones en serie para cuantificar el número más probable (NMP) de coliformes totales y Escherichia coli. Los resultados indicaron altos niveles de coliformes totales en todas las muestras y una presencia significativa de E. coli, especialmente en el punto P2, que presentó el valor más alto en la muestra bruta (2419,6 NMP/100 ml). Estos hallazgos evidencian una fuerte presión por la contaminación fecal y la necesidad de un monitoreo continuo, el fortalecimiento del saneamiento y la protección de las áreas de preservación, lo que contribuye al cumplimiento de los ODS 6 y 11.

Palabras clave: Calidad del agua, Coliformes, Contaminación fecal, Saneamiento, Salud pública

ABSTRACT

Water is an essential resource for sustaining life and maintaining the balance of ecosystems, but rapid urban growth has put pressure on its availability and quality. Uncontrolled urbanization encourages the improper disposal of effluents, reducing the natural recovery capacity of water bodies. This scenario is aggravated by microbiological contamination, which represents one of the greatest risks to public health because it is associated with the transmission of waterborne diseases. Among the most relevant microorganisms are coliform bacteria, used as indicators of fecal pollution. This study was conducted at the Eurípedes Reservoir in Quixadá, Ceará, an urban reservoir surrounded by residential areas and receiving treated effluents from a Sewage Treatment Plant (STP). Samples were collected at four points in the reservoir to represent different areas of anthropic influence. Microbiological analyses used Defined Enzymatic Substrate (DST) technology and the IDEXX Quanti-Tray/2000 system, with serial dilutions to quantify the Most Probable Number (MPN) of total coliforms

and Escherichia coli. The results showed high levels of total coliforms in all samples and a significant presence of E. coli, especially at point P2, which had the highest value in the raw sample (2,419.6 MPN/100 mL). These findings highlight the severe pressure from fecal pollution and the need for continuous monitoring, improved sanitation, and protection of conservation areas, contributing to the fulfillment of SDGs 6 and 11.

Keywords: Water quality, Coliforms, Fecal contamination, Sanitation, Public health

INTRODUÇÃO

A água, embora vital, é um recurso com distribuição e qualidade limitadas.Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil 2025), apenas 2,5% da água existente no planeta é doce, sendo 69% armazenada em geleiras, 30% em aquíferos subterrâneos e somente 1% disponível em rios. Esse cenário reforça a necessidade do uso racional e da preservação da qualidade da água.

No Brasil, uma parcela expressiva da população ainda não tem acesso à água tratada e grande parte do esgoto coletado não recebe tratamento adequado, sendo frequentemente lançado no ambiente (da Silveira et al. 2018). Essa deficiência no saneamento compromete a qualidade dos corpos hídricos, agrava a escassez por poluição e acarreta riscos à saúde humana e aos ecossistemas. No semiárido nordestino, a desigualdade regional intensifica esses problemas, pois a intensa pressão antrópica, como o lançamento de efluentes não tratados, compromete a recuperação da água e a torna inadequada para o consumo humano (Menezes et al. 2024).

Entre os principais riscos destaca-se a contaminação microbiológica, frequentemente associada a doenças de veiculação hídrica. As bactérias do grupo coliforme, comuns no trato intestinal de humanos e animais, são amplamente utilizadas como indicadores de poluição fecal (Oliveira et al. 2011). Sob essa perspectiva, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, voltado a assegurar o acesso universal à água potável e ao saneamento, com gestão sustentável. No âmbito nacional, a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define os padrões de qualidade e critérios de enquadramento dos corpos de água, garantindo a proteção e qualidade dos mananciais superficiais. Já a Resolução CONAMA 430/2011 complementa essa norma ao dispor sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. (Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 2005).

O Açude Eurípedes, localizado em Quixadá – CE, embora não seja utilizado para abastecimento humano ou animal, é uma atração paisagística local. O manancial está em uma área urbanizada e recebe tanto despejos clandestinos quanto efluentes tratados de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). A falta de ações municipais para manter a qualidade da água aumenta a vulnerabilidade do ecossistema aquático.

O estudo realizado em setembro de 2025 teve como objetivo investigar a qualidade da água do açude, focando na presença de coliformes como indicadores de contaminação fecal e avaliando os riscos ambientais e à saúde pública. Os resultados contribuem para os ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao fornecer dados para o monitoramento hídrico e a gestão sustentável dos recursos e da preservação do espaço urbano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e coleta das amostras

Na Figura 1 apresenta-se a localização do município de Quixadá, no estado do Ceará. A cidade está localizada no sertão central do Ceará, possui uma população de 84.468 mil habitantes e cerca de 70% da população reside em áreas urbanas (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística 2022).

Figura 1. Localização do município de Quixadá, Ceará, Brasil
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Este estudo focou no Açude Eurípedes ou lagoa dos monólitos, cuja posição geográfica e pontos de coleta podem ser observados na Figura 2.

Figura 2. Vista aérea do açude Eurípedes e os respectivos pontos de coleta.
Fonte: Google Earth, 2025.

Foram utilizados frascos Schott de 100 mL esterilizados para cada ponto amostral. Ao todo foram quatro pontos de coleta distribuídos na margem do açude com maior presença de residências. O Ponto 1 (S 4°57'40.593"; W 39°0'19.457") está localizado na margem oeste, próximo à área urbana e sujeito a maior pressão antrópica. O Ponto 2 (S 4°57'45.899"; W 39°0'10.972") encontra-se em setor de transição entre ocupação urbana e vegetação marginal. O Ponto 3 (S 4°57'49.315"; W 38°59'55.700") situa-se em área com maior cobertura vegetal ciliar. Já o Ponto 4 (S 4°57'49.636"; W 39°0'2.532";) localiza-se na margem sudeste, em área aberta.

Análise microbiológica

As amostras de água foram coletadas no Açude Eurípedes em 15 de setembro de 2025, sendo as análises microbiológicas executadas no mesmo dia. Para a detecção de coliformes totais e *Escherichia coli*, empregou-se a tecnologia de Substrato Definido Enzimático (DST). Foram preparados cinco frascos contendo 99 mL de água destilada, submetidos à autoclavação para garantir a desinfecção do material juntamente com a solução. Em seguida, utilizou-se uma pipeta de precisão de 1 mL para a realização de diluições seriadas, nas ordens de 10^{-2}, 10^{-4} e 10^{-6}. As diluições foram executadas em duplicata, exceto a de 10^{-6}, por se tratar da última etapa

da série. Durante todo o processo, manteve-se uma chama acesa próxima à bancada, visando reduzir riscos de contaminação externa.

Posteriormente, foi adicionado o reagente Colilert ® (IDEXX, Westbrook, ME, EUA) às amostras brutas e diluídas, que foram então distribuídas em cartelas e seladas em equipamento apropriado. No total, foram processadas 20 cartelas. As cartelas inoculadas foram incubadas em estufa a 35 °C. A leitura foi realizada com o auxílio de lâmpada de luz ultravioleta, considerando-se como indicativo de coliformes totais a formação de coloração amarela e, para coliformes termotolerantes (E. coli), a presença de fluorescência azul sob luz UV. A ausência de alteração cromática foi interpretada como resultado negativo. A quantificação dos resultados seguiu a tabela IDEXX Quanti Tray/2000 MPN Table, em que a leitura horizontal corresponde aos poços maiores e a vertical aos poços menores, possibilitando a determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e E. coli presentes nas amostras analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise microbiológica do Açude Eurípedes estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Número Mais Provável de coliformes por 100 mL – Açude Eurípedes, 2025

Pontos	Amostras	Coliformes Totais (NMP/100ml)	E.coli (NMP/100ml)
P1	Diluição -6	8,5	Ausente
	Diluição -4	306,6	Ausente
	Diluição -2	>2.419,6	17,3
	Bruta	>2.419,6	372,4
P2	Diluição -6	344,8	Ausente
	Diluição -4	613,3	2
	Diluição -2	>2.419,6	42,2
	Bruta	>2.419,6	2419,6
P3	Diluição -6	8,5	Ausente
	Diluição -4	727	Ausente
	Diluição -2	>2.419,6	Ausente
	Bruta	>2.419,6	55,6
P4	Diluição -6	4,1	Ausente
	Diluição -4	648,8	Ausente
	Diluição -2	>2.419,6	5,2
	Bruta	>2.419,6	365,4

Fonte: Elaboração própria, 2025

Observa-se que todos os pontos de amostragem (P1, P2, P3 e P4) apresentaram valores superiores a 2.419,6 NMP/100 mL para coliformes totais em pelo menos uma das diluições, evidenciando elevada contaminação microbiológica do corpo hídrico, sugerindo risco potencial de poluição de origem fecal, a ser confirmado pela presença de coliformes termotolerantes ou E. coli. O P2 apresentou os maiores valores de E. coli, atingindo 2.419,6 NMP/100 mL na amostra bruta. Esse valor expressivo indica que o Ponto 2 sofre maior influência de fontes de contaminação. Os valores elevados de coliformes totais e *E. coli* reforçam a hipótese de introdução contínua de matéria orgânica, comprometendo a qualidade da água e a capacidade de autodepuração do manancial.

O lançamento de efluentes sem tratamento adequado eleva a carga orgânica e de nutrientes no manancial, favorecendo processos de eutrofização e provocando alterações nas características físico-químicas da água, o que compromete sua qualidade e dificulta o equilíbrio ecológico. A ocupação irregular em áreas de preservação permanente (APP) no entorno do açude agrava esse cenário, ampliando o aporte de contaminantes e reduzindo a capacidade de autodepuração natural do corpo hídrico.

Segundo Laurentino (2023), o processo de urbanização da área teve início em 1996, com a implantação do conjunto habitacional Mutirão, composto por 225 unidades residenciais construídas em uma zona de baixio próxima ao reservatório, e, apesar de o Plano Diretor de 2000 prever a requalificação das margens, a expansão urbana ocorreu de forma desordenada, gerando ocupações irregulares que intensificam as pressões sobre o açude e elevam os riscos ambientais e à saúde pública, associados à qualidade da água.

De acordo com Figueredo e Barbosa (2020), a qualidade da água do Açude Eurípedes é influenciada tanto pelo lançamento de esgotos clandestinos quanto pelo recebimento de efluentes tratados pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município, que opera com lagoas de estabilização. Apesar de o sistema de tratamento reduzir parte da carga poluidora, o manancial ainda pode sofrer alterações significativas, sobretudo quando o efluente tratado é associado a despejos irregulares, comprometendo sua qualidade e aumentando os riscos de contaminação. Essa situação compromete a qualidade da água e eleva os riscos de contaminação, favorecendo a presença de microrganismos potencialmente patogênicos e

aumentando a probabilidade de surtos de doenças de veiculação hídrica. A contaminação da água por microrganismos patogênicos está diretamente relacionada à ocorrência de doenças de veiculação hídrica, como infecções gastrointestinais, cólera, febre tifoide e shigelose. Esses agravos apresentam maior incidência em contextos de vulnerabilidade, caracterizados pela limitação no acesso ao saneamento básico e à água potável (Guedes et al. 2017).

Dessa forma, a garantia de acesso à água potável e de qualidade adequada configura medida essencial para a proteção da saúde pública, contribuindo para a prevenção de agravos epidemiológicos e para a melhoria das condições de vida da população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise microbiológica da água do Açude Eurípedes revelou altos níveis de coliformes totais e presença de Escherichia coli, especialmente em áreas próximas à ocupação urbana, indicando forte impacto antrópico devido ao despejo de efluentes domésticos e à falta de saneamento. Essa contaminação representa riscos à saúde pública e compromete o ecossistema aquático, exigindo ações como o fortalecimento da gestão municipal, monitoramento contínuo e políticas públicas de saneamento e preservação ambiental. Os resultados valorizam o açude como patrimônio socioambiental de Quixadá e oferecem subsídios para iniciativas alinhadas aos ODS 6 e 11, destacando a importância da integração entre ciência, gestão e sociedade para a sustentabilidade hídrica e a saúde coletiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à estudante Ana Quézia Avelino de Queiroz, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), bolsista do Laboratório de Microbiologia, pelo apoio e dedicação nos estudos de qualidade da água.

Estendem ainda seus agradecimentos que foi de fundamental importância à Marliani Fernandes, e à Técnica Ana Paula Nascimento, responsável pela análise microbiológica, cuja colaboração foi fundamental para a execução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. "Resolução n° 357." Resolução CONAMA 357. 2005. https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2011.Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 de maio de 2011.

Brasil, Agencia Nacional de Águas e SAnieamento Básico. 2025. "Água No Mundo: Situação Da Água No Mundo." Água No Mundo. 2025. https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo?

Figueredo, Beatriz Lopres e, and Mayara Martins Cordeio Barbosa. 2020. "Monitoramento Microbiológico Da Água Do Açude Eurípedes, Quixadá-CE." In *Semiárido Brasileiro – Volume 4*, edited by Dr. Darly Fernando Andrade, 1st ed. Belo Horizonte - MG, Brazil: Editora Poissson. https://doi.org/10.36229/978-85-7042-231-6.

Guedes, Anderson Ferreira, Laryssa Nascimento Tavares, Maria Nádia da Níbrega Marques, Samuel Pimenta Moura, and Milena Nunes Alves de Sousa. 2017. "Tratamento Da Água Na Prevenção de Doenças de Veiculação Hídrica." *Journal of Medicine and Health Promotion* 2 (January): 452–67.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. 2022. "Panorama Censo 2022." Panorama Censo 2022. 2022. https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/.

Laurentino, D'avila de Melo. 2023. "Política Habitacional e Inserção Urbana: Um Estudo Sobre a Cidade de Quixadá/CE." Universidade Federal do Ceará.

Menezes, Tauane Martins, Lucilla Frederico Yepes, Camila Mioransi Zavam, and Tatiana Elias Colombo. 2024. "Análise Microbiológica Da Água Do Rio Ribeirão Da Onça Em Palmares Paulista (São Paulo)" 42 (1): 7–14.

Oliveira, Vitor Irineu, Giovanna Ruiz Martins, Sibele Augusta Ferreira Leite, and Brenno Santos Leite. 2011. "Avaliação de Contaminação Por Escherichia Coli Em Amostras de Água de Lagoa." *II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, no. 1, 1–5.

Silveira, Carlos Augusto da, Fábio Branco Godinho de Castro, Rodrigo Santiago Godefroid, Rodrigo Cassio da Silva, and Vera Lucia Pereira dos Santos. 2018. "Microbiological Analysis of Bacacheri River Water, Curitiba (PR), Brazil." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 23 (5): 933–38. https://doi.org/10.1590/s1413-41522018163474.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116159

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE SEDIMENTOS DO RIO BATATEIRAS EM JUAZEIRO DO NORTE-CE

MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF SEDIMENTS FROM THE BATATEIRAS RIVER IN JUAZEIRO DO NORTE-CE

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SEDIMENTOS DEL RÍO BATATEIRAS EN JUAZEIRO DO NORTE-CE

Andriely Tiburtino Leite Chaves[1], Levi de Oliveira Dantas[2], Islania Nádia da Silva Alcantara[3] e Janisi Sales Aragão[4].

[1]Mestranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil, tiburtino.andriely@gmail.com, 0009-0006-8747-4875;
[2]Graduação, , Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil, levideoliveira54@gmail.com, 0009-0008-5148-9367;
[3]Graduação, , Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil; islanianadia09@gmail.com, 0009-0001-6085-9808;
[4] Doutora, , Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Juazeiro do Norte, Brasil, janisi.aragao@ifce.edu.br, 0000-0002-5756-5067.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores
Indicadores de monitoramento e avaliação ambiental rural.

Eje Temático 10 – Salud pública y control de vectores
Indicadores de Monitoreo y Evaluación del Ambiente Rural

Thematic Axis 05 – Public Health and Vector Control
Indicators for Monitoring and Assessment of Rural Environmental Conditions

RESUMO

A ausência de saneamneto básico em zonas rurais favorece a disseminação de doenças por microrganismos patógenos. Os sedimentos presentes nos corpos hídricos são responsáveis por acumular compostos orgânicos e poluentes, servindo como indicadores da qualidade ambiental. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade microbiológica dos sedimentos, com foco na determinação de microrganismos indicadores de contaminação fecal em um trecho do rio Batateiras em Juazeiro do Norte-CE. As coletas foram realizadas em junho e julho de 2025, e as análises foram realizadas seguindo a metodologia da American *Public Health Association-APHA*. Os resultados mostraram que nas duas coletas os sedimentos apresentaram contaminação microbiológica, com a presença de Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* e *Klebsiella spp.* Evidenciando um risco à saúde da população rural que mantém contato direto com o rio. Ressalta-se que esta pesquisa terá continuidade com novas análises em diferentes trechos do rio para uma melhor compreensão sobre a dinâmica microbiológica do Rio Batateiras.

Palavras-chave: Contaminação fecal, Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli, Klebsiela spp*.

RESÚMEN

La falta de saneamiento básico en las áreas rurales favorece la propagación de enfermedades causadas por microorganismos patógenos. Los sedimentos de los cuerpos de agua acumulan compuestos orgánicos y contaminantes, sirviendo como indicadores de la calidad ambiental. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad microbiológica de los sedimentos, con énfasis en la detección de indicadores de contaminación fecal en un tramo del Río Batateiras en Juazeiro do Norte, CE. Las muestras se recolectaron en junio y julio de 2025, y los análisis se realizaron siguiendo la metodología de la *American Public Health Association (APHA*). Los resultados mostraron que los sedimentos en ambas muestreos presentaron contaminación microbiológica, con presencia de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y *Klebsiella* spp., evidenciando un riesgo para la salud de la población rural que mantiene contacto directo con el río. Esta investigación continuará con análisis en diferentes tramos del río para comprender mejor la dinámica microbiológica del Río Batateiras.

Palabras clave: Contaminación fecal, Coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp.

ABSTRACT

The lack of basic sanitation in rural areas favors the spread of diseases caused by pathogenic microorganisms. Sediments in water bodies accumulate organic compounds and pollutants, serving as indicators of environmental quality. This study aimed to assess the microbiological quality of sediments, focusing on the detection of fecal contamination indicators in a section of the Batateiras River in Juazeiro do Norte, CE. Sampling was conducted in June and July 2025, and analyses followed the methodology of the *American Public Health Association (APHA*). Results showed that sediments from both samplings were microbiologically contaminated, with the presence of Thermotolerant Coliforms, *Escherichia coli*, and *Klebsiella* spp., indicating a health risk for the rural population in direct contact with the river. This research will continue with analyses in different sections of the river to better understand the microbiological dynamics of the Batateiras River.

Keywords: Fecal contamination, Thermotolerant Coliforms, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp.

INTRODUÇÃO

A ausência de saneamento básico em áreas rurais ainda é uma realidade para grande parte da população brasileira. Nesses locais, a falta de infraestrutura adequada para o tratamento e a distribuição de água potável, bem como para a coleta e o manejo de esgoto, expõe diretamente os moradores a condições insalubres (Castro; Cerezini, 2022). Como consequência, acontece o contato com corpos hídricos contaminados, seja para o consumo, higiene pessoal ou mesmo para outras práticas. Essa situação cria um ambiente propício para disseminação e transmissão de microrganismos patogênicos (Wescoat et al., 2007; Oliveira; Buss., 2018).

Os sedimentos dos corpos hídricos são indicadores de qualidade ambiental, uma vez que acumulam nutrientes, compostos orgânicos, além de contaminantes e, tudo isso devido

aos processos naturais, mas também, como consequências das atividades humanas, servindo assim, como um registro da saúde do ecossistema e das alterações ao longo do tempo (Da Silva et al., 2024).

Segundo Benchamin; Raghavan; Sajidevi, (2024), as alterações ocorridas ao longo do tempo com os sedimentos, não só o deterioram, como afeta negativamente sua biodiversidade. E ainda, favorecem bactérias patogênicas e resistentes, como *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* que estão associadas a infecções graves, que podem resultar em morte (De Mello; Costa, 2016; Silva et al., 2022).

O rio Batateiras, localizado em Juazeiro do Norte, na Região Metropolitana do Cariri, no sul do estado do Ceará, tem grande importância para toda a região (COGERH, 2008). Contudo, as atividades antrópicas têm afetado drasticamente a qualidade de sua água, já que o rio é receptor de efluentes domésticos e industriais, e é de grande importância frisar que o uso da água para atividades recreativas acontecem, assim como para a criação de animais, irrigação e pesca (Torquato et al., 2012).

Existem na literatura relatos da presença de microrganismos que indicam contaminação por coliformes totais e termotolerantes em rios tanto da cidade de Juazeiro do Norte, como de rios de cidade vizinhas como Crato. Contudo, esses dados mostram a contaminação na água (Nunes et al., 2019).

Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi de analisar a qualidade microbiológica do sedimento de um trecho do rio Batateiras localizado na zona rural do município de Juazeiro do Norte-Ceará.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um trecho do Rio Batateiras, localizado no município de Juazeiro do Norte, Ceará. A figura 1 apresenta o local das coletas de sedimentos, com coordenadas geográficas 7°12’59”S e 39°13’22”O.

A área de estudo é caracterizada por menor densidade populacional e presença de mata ciliar, onde a população local mantém contato direto com a água para fins de irrigação, dessedentação animal e uso doméstico. Porém, apesar do caráter mais isolado, o trecho do rio Batateiras recebe previamente a influência direta de descargas de efluentes industriais e domésticos durante seu percurso. Dessa forma, a escolha do local possibilita analisar o risco potencial à saúde associado à exposição da comunidade rural a microrganismos patogênicos

presentes na água e sedimentos contaminados.

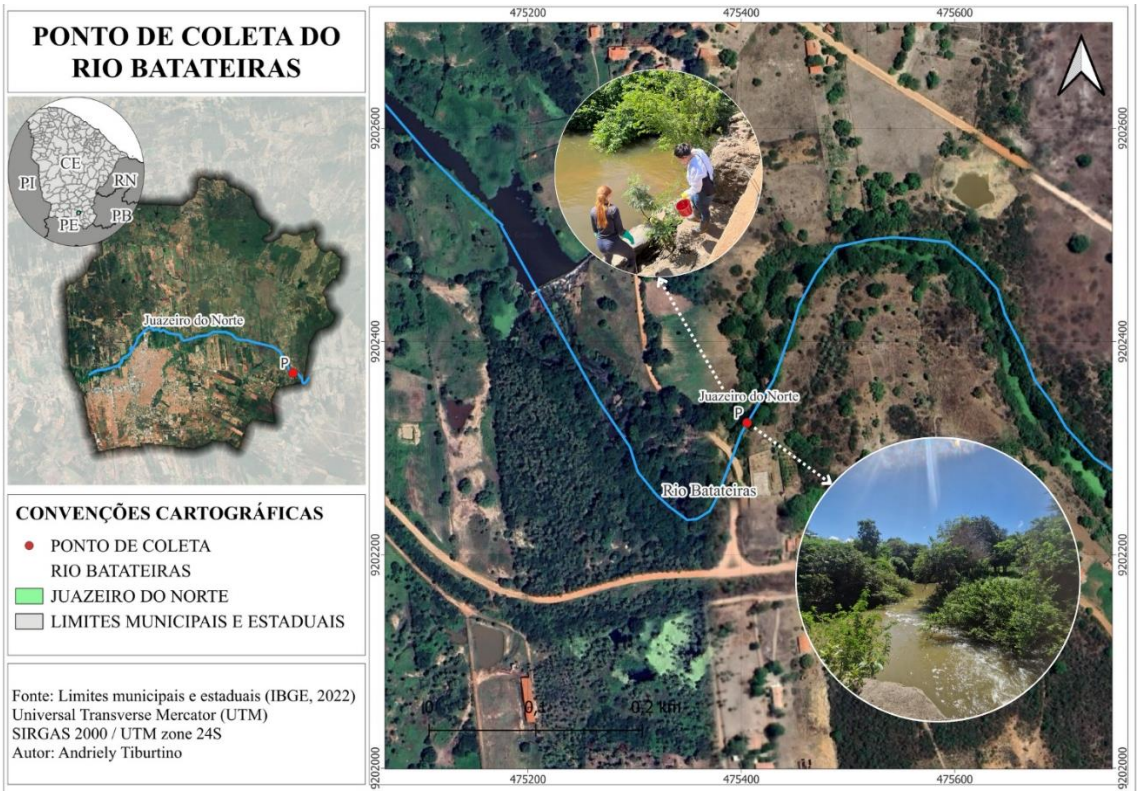


Figura 1. Ponto de coleta do Rio Batateiras.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Foram realizadas duas coletas nos meses de Junho e Julho de 2025, as amostras de sedimentos foram coletadas com o auxílio de um coletor de amostra basculante em aço inox, com uma profundidade de até 20 cm. Em seguida, foram acondicionadas em sacos estéreis e transportadas ao Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAM) localizado no Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia (IFCE) *Campus* Juazeiro do Norte para a realização das análises microbiológicas, seguindo a metodologia descrita pela *American Public Health Association* (*APHA*, 1998).

Para a quantificação de coliformes termotolerantes nas amostras de sedimento foi realizada a técnica de tubos múltiplos. Inicialmente, 1 g da amostra foi homogeneizado e submetido a diluições seriadas, no intervalo de 10^{1} a 10^{-10}. A seguir, as alíquotas das diluições foram inoculadas em tubos de ensaio contendo o meio de cultura A-1 e submetidas à pré-incubação a 35 ± 0,5 °C por 3 horas, seguida de incubação à 45 ± 2 °C por 48 ± 2 horas, em estufa. Após o período de incubação, considerou-se como resultado positivo a formação de gás nos tubos de Durham inseridos nos meios. Os dados obtidos foram organizados e o Número

Mais Provável (NMP) de coliformes termotolerantes foi estimado de acordo com a frequência de resultados positivos em cada diluição.

A identificação de *Escherichia coli* e *Klebsiella spp.* foi realizada a partir dos tubos que apresentaram formação de gás. Utilizando uma alça de inoculação esterilizada por flambagem, uma amostra do conteúdo foi transferida para as placas de Petri contendo o meio Eosina Azul de Metileno (EMB), por meio da técnica de estria simples. As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a $35 \pm 0{,}2$ °C por 24 ± 2 horas. A presença de colônias com coloração verde-metálica indicou um resultado positivo para *E. coli,* enquanto colônias mucoides, grandes e rosadas indicaram *Klebsiella spp.*. A quantificação foi realizada por NMP/mL, conforme utilizada para os coliformes termotolerantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na tabela 1 evidenciam uma presença constante de Coliformes Termotolerantes (CTT) nos sedimentos, indicando poluição microbiológica contínua no trecho estudado. A Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) é responsável por estabelecer os padrões de qualidade de águas enquadradas como Classe 2, porém não estabelece parâmetros específicos para os sedimentos, sendo utilizada neste trabalho apenas como referência comparativa.

Tabela 1: Análises microbiológicas de amostras de sedimento.

Análises Microbiológicas			
	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	***Escherichia coli*** (NMP/100 mL)	***Klebsiella spp.*** (NMP/100 mL)
Teste 1	$1{,}50 \times 10^3$	$3{,}60 \times 10^2$	*
Teste 2	$2{,}10 \times 10^2$	$4{,}30 \times 10^1$	$4{,}30 \times 10^1$

Notas: * Não detectado.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Dessa forma, o resultado obtido no teste 1 ($1{,}50 \times 10^3$ NMP/100mL) estaria acima do limite estabelecido, que define como tolerável um resultado ≤ 1.000 NMP/100 mL, enquanto no teste 2 ($2{,}10 \times 10^2$ NMP/100mL) se manteve dentro do parâmetro estabelecido. Essa flutuação indica uma instabilidade na qualidade microbiológica no trecho analisado, reforçando o papel do sedimento como um indicador de qualidade, visto que sua composição

afeta diretamente a qualidade da coluna d'água, bem como os organismos bentônicos (Benchamin, 2024). Estudos realizados em rios urbanos brasileiros apresentaram resultados semelhantes. Vieira *et al.* (2025), identificaram contaminação alta nos sedimentos por CTT em todas as nascentes analisadas dos riachos localizados na região de sub-bacias do Rio Grande-MG.

No Rio Batateiras estudos anteriores já haviam reportado a presença de contaminação microbiológica nas amostras de água. Nunes *et al*. (2019), detectaram a presença de CTT com valores elevados em diversos trechos analisados, ultrapassando os limites permitidos. Os autores atribuíram esse resultado a ausência de rede coletora nas residências da zona rural, que favorece o lançamento de resíduos e efluentes diretamente no corpo hídrico, contribuindo para sua degradação e potenciais riscos à saúde pública.

Por outro lado, ao avaliar a nascente do rio, Felix *et al.* (2024), constataram que os valores de CTT permaneceram dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação, evidenciando que em ambientes protegidos tendem a apresentar um maior equilíbrio microbiológico, com influência apenas de processos naturais como a decomposição da matéria orgânica da mata ciliar.

Ainda que esses estudos tenham sido realizados com amostras de água, seus resultados complementam os achados deste trabalho e evidenciam o sedimento como um reservatório de organismos patógenos que podem ser ressuspendidos para a coluna d'água em situações de cheia ou uso intensivo do rio, elevando os riscos às comunidades que mantém contato direto com o rio (Silva *et al*., 2025).

A detecção de *Escherichia coli* constitui importante indicador de contaminação fecal no corpo hídrico, Von Sperling (2014) relata que sua detecção garante que a contaminação é exclusivamente fecal, humana ou animal, podendo ser encontrada em águas naturais decorrente de contaminação recente por humanos, atividades agropecuárias e animais. Nas duas análises, sua presença foi confirmada com concentrações de $3{,}60 \times 10^2$ e $4{,}30 \times 10^1$ NMP/100 mL, respectivamente, evidenciando um acúmulo de material fecal no sedimento. Conforme ilustrado na Figura 2, é possível visualizar o crescimento característico de *E. coli* e *Klebsiella spp.* em meio EMB.

Resultados semelhantes foram obtidos por Liu *et al*. (2024), que investigaram cinco lagos urbanos (Tasik Varsiti, Tasik Taman Jaya, Tasik Aman, Tasik Kelana e Tasik Central

Park Bandar Utama) localizados no Vale de Klang, na Península da Malásia. Em todos os locais, foram detectados que as concentrações de *E.coli* nos sedimentos foram superiores em relação à coluna d'água. Essa predominância foi atribuída a maior quantidade de nutrientes, menor intensidade UV, níveis mais baixos de oxigênio dissolvido, assemelhando-se com as condições naturais do intestino de seus hospedeiros.

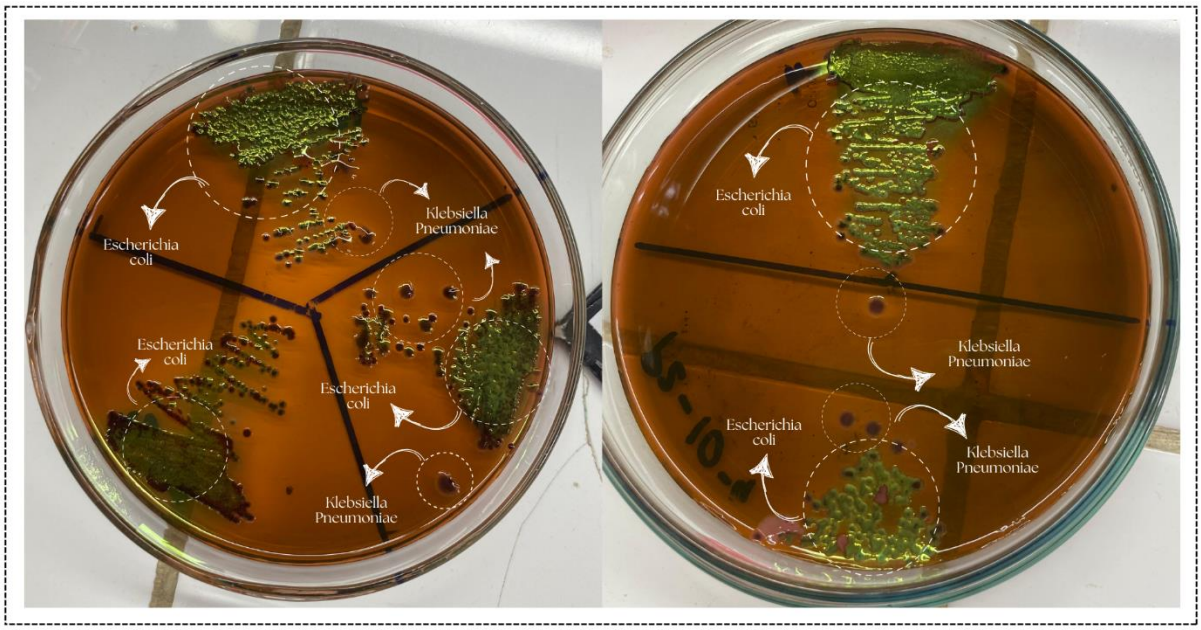


Figura 2: Identificação de *E.coli* e *Klebiella ssp.* em meio EMB isoladas de sedimentos. Fonte: Elaboração própria, 2025.

De maneira similar, Abia, Ubomba-Jaswa e Momba (2015) analisaram a presença de *E.coli* na água e sedimentos do Rio Apies, África do Sul e constataram que em todos os seus pontos de amostragem os sedimentos apresentaram valores superiores no sedimento em relação à coluna d'água. Em estudo posterior, os mesmos autores analisaram as variações entre o período seco e chuvoso sobre a concentração de *E.coli* nos sedimentos, constatando que fatores climáticos afetam diretamente a oscilação de contaminação do rio (Abia; Ubomba-Jaswa; Momba, 2015).

A detecção de *Klebsiella spp.* apenas no segundo teste, com uma concentração de $4{,}30 \times 10^{1}$ NMP/100mL evidencia uma instabilidade microbiológica do sedimento analisado. Diniz e Santos (2019) reforça sua relevância associada à possibilidade de ser encontrada nos diferentes compartimentos ambientais, como água e solo, mas sua presença nos sedimentos do corpo hídrico representa um risco adicional. A *Klebsiella spp.* é considerada um patógeno oportunista, a bactéria atinge principalmente pessoas com o sistema imunológico debilitado,

causando infecções hospitalares relacionadas ao trato urinário, bacteremia, pneumonia e abscessos hepáticos (Wang G, Wang H, et al., 2020; Aires, 2017).

De modo semelhante, Odhiambo *et al*. (2023) analisaram o sedimento de dois rios urbanos, Kisat e Auji, na cidade de Kisumu em Quênia. A pesquisa também identificou a presença de *Klebsiella spp*; em todos os pontos amostrados dos rios, que também apresentaram altos níveis de poluentes, incluindo metais pesados.

Em seus estudos, Macedo *et al.* (2020) analisaram diferentes fontes de água em Juazeiro do Norte, incluindo um trecho do Rio Batateiras e nele foram identificadas a presença de *E.coli* e *Klebsiella spp.* Além disso, foi observado que as cepas isoladas de *Klebsiella spp.* apresentaram resistência a metais pesados maiores do que as cepas de *E.coli*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados revelaram que os sedimentos dos trechos analisados no Rio Batateiras apresentam contaminação microbiológica por Coliformes Termotolerantes (CTT), *Escherichia coli* e *Klebsiella spp.,* evidenciando que os sedimentos atuam como um reservatório de microrganismos de origem fecal e patogênica, aspecto preocupante considerando que não há legislações direcionadas a análise do sedimento no Brasil, além dos riscos associados para a população rural que utiliza dessa água. Ressalta-se que esta pesquisa terá seguimento, com novas análises neste e em outros trechos do rio, permitindo uma melhor compreensão da qualidade microbiológica do Rio Batateiras.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Á Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap): Ao Núcleo de Estudos Ambientais (NEA), e ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) do IFCE Campus Juazeiro do Norte; Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPGMA) do IFCE-Campus Juazeiro do Norte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abia, A. L. K., E. Ubomba-Jaswa, and M. N. B. Momba. 2015. "Impact of Seasonal Variation on *Escherichia coli* Concentrations in the Riverbed Sediments in the Apies River, South Africa." *Science of the Total Environment* 537 (December): 462–69. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.07.132.

Aires, C. A. M. 2017. "*Caracterização Fenotípica e Molecular de Isolados de Klebsiella pneumoniae Multirresistentes Oriundos de Swab Retal de Vigilância de Hospitais de Diferentes Estados Brasileiros".* Tese de Doutorado, Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), and WEF (Water Environment Federation). 2012. "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".* 22nd ed. Washington, DC: American Public Health Association

Benchamin, D., S. Raghavan, and A. M. Sajidevi. 2024. "Environmental Monitoring of Sediment Quality and Trace Metal Status in a Tropical Perennial River in South India: An Exploration Using Multivariate Analysis." *Acta Limnologica Brasiliensia* 36: e13. https://doi.org/10.1590/S2179-975X8923.

Castro, C. N., and M. T. Cerezini. 2022. "Saneamento Rural no Brasil: Desafios para a Ampliação do Acesso." *Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRUA)*, no. 28 (April). https://doi.org/10.38116/BRUA28ART3.

Da Silva, V. D., C. F. B. Gama, Y. A. A. M. Silva, J. M. A. Barbosa, C. M. D. Loyola, F. M. A. M. Silva, D. F. Silva, and M. R. C. Silva. 2025. "Perfil Microbiológico e Físico-Químico do Sedimento da Região do Mangue Seco." *Caderno Pedagógico – Studies Publicações e Editora Ltda.*, 22 (8): 01–22.

De Mello, F., and L. A. Costa. 2016**.** "*Escherichia coli* e seu Impacto na Saúde Pública." 8: 30–35. https://doi.org/10.5747/cv.2016.v08.nesp.000261

Diniz, A. M. M., and R. M. C. Santos. 2019. "Ocorrência de *Escherichia coli* e *Klebsiella* spp Produtoras de ESBL em Hospital Universitário, na Cidade de Manaus – AM." *Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção* 9 (2). https://doi.org/10.17058/RECI.V9I2.12152.

Felix, K. R. S., I. N. da S. Alcântara, L. D. Martins, F. A. F. Simões, and Y. T. da C. Santos. 2024. "Avaliação da Qualidade Microbiológica da Fonte Batateira em Crato, Ceará." In *Inovações Tecnológicas e o Uso de Ferramentas de Análise Ambiental*, 77–83. Amplla Editora. https://doi.org/10.51859/amplla.icts437-10.

Liu, B., C. W. Lee, C. W. Bong, and A. J. Wang. 2024. "Investigating *Escherichia coli* Habitat Transition from Sediments to Water in Tropical Urban Lakes." *PeerJ* 12. https://doi.org/10.7717/PEERJ.16556.

Macedo, L. H. C., M. L. Q. da Silva, J. H. da Silva, and F. R. de L. Caldas. 2020. "Sensibilidade a Antibióticos e Metais Pesados em *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* Isoladas de Diferentes Fontes de Água do Cariri Cearense, Brasil." *Research, Society and Development* 9 (9): e404997327–e404997327. https://doi.org/10.33448/RSD-V9I9.7327

Nunes, L. M., M. F. G. Monteiro, D. L. de S. Júnior, P. E. A. de Aquino, C. R. N. Saraiva, M. K. do N. S. Leandro, A. E. F. Marques, R. O. M. da Silva, and L. M. G. Leandro. 2019.

"Pesquisa de Coliformes Totais e Termotolerantes no Rio Salgadinho no Município de Juazeiro do Norte, CE." *Revista Eletrônica Acervo Científico* 7 (December): e2243. https://doi.org/10.25248/reac.e2243.2019.

Oliveira, T. F. de, and D. F. Buss. 2018. "Protocolo de Avaliação da Probabilidade de Uso Recreativo de Rios e sua Aplicação para Análise de Risco." *Ciência & Saúde Coletiva* 23: 3705–17.

Odhiambo, K. A., H. J. O. Ogola, B. Onyango, M. Tekere, and G. N. Ijoma. 2023. "Contribution of Pollution Gradient to the Sediment Microbiome and Potential Pathogens in Urban Streams Draining into Lake Victoria (Kenya)." *Environmental Science and Pollution Research* 30 (13): 36450–71. https://doi.org/10.1007/S11356-022-24517-0/FIGURES/1.

Silva, V. D. D., C. F. B. Gama, Y. A. A. M. Silva, J. M. A. Barbosa, C. M. D. Loyola, F. M. A. M. Silva, D. F. Silva, and M. R. C. Silva. 2025. "Perfil Microbiológico e Físico-Químico do Sedimento da Região do Mangue Seco." *Caderno Pedagógico* 22 (8): e16841. https://doi.org/10.54033/cadpedv22n8-006

Silva, V. D., Y. N. Froes, J. M. Monteiro, N. M. Souza, N. S. Lima, L. C. A. Sousa, A. R. L. Moura, J. C. S. Sousa, F. B. Silva, D. F. Silva, A. de S. Monteiro, and M. R. C. Silva. 2022. "Isolamento de Bactérias Gram-Negativas em Amostras de Sedimento de Manguezal em São Luís, Maranhão." *Research, Society and Development* 11 (3): 1–3. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26483.

Torquato, I. H. S., et al. n.d. "IV-134 – Avaliação da Qualidade Sanitária da Água de um Trecho do Rio Batateira, Localizado no Município de Juazeiro do Norte-CE."

Vieira, L. B., E. A. Panarelli, D. F. da S. Fuzzo, and R. N. Millan. 2025. "Caracterização da Composição Química dos Sedimentos e a Presença de Coliformes Termotolerantes em Diferentes Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Grande." *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 14 (2): 315–29. https://doi.org/10.21664/2238-8869.2025v14i2.p315-329.

Wang, G., G. Zhao, X. Chao, L. Xie, and H. Wang. 2020. "The Characteristic of Virulence, Biofilm and Antibiotic Resistance of *Klebsiella pneumoniae*." *International Journal of Environmental Research and Public Health*. https://doi.org/10.3390/ijerph17176278-29.

Wescoat, J. L., L. Headington, and R. Theobald. 2007. "Water and Poverty in the United States." *Geoforum* 38 (5): 801–14. https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2006.08.007.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116169

DIAGNÓSTICO DO SANEAMENTO NO DSEI PORTO VELHO: TRABALHO, IMPACTOS E DESAFIOS NA SAÚDE AMBIENTAL INDÍGENA

DIAGNÓSTICO DE SANEAMIENTO EN DSEI PORTO VELHO: TRABAJO, IMPACTOS Y DESAFÍOS EN SALUD AMBIENTAL INDÍGENA

SANITATION DIAGNOSIS AT DSEI PORTO VELHO: WORK, IMPACTS AND CHALLENGES IN INDIGENOUS ENVIRONMENTAL HEALTH

Ecicleuton Monteiro da Silva[1], Rodrigo Tokuta Castro[2], Tássio da Costa Honório [3] e Willdeyne Sudre dos Santos[4].

[1]Químico, Distrito Sanitário Especial Índigena, Porto velho, Brasil, ecicleuton.silva@saude.gov.br,
[2]Geólogo, Distrito Sanitário Especial Índigena, Porto velho, Brasil, rodrigo.castro@saude.gov.br;
[3]Arquiteto e urbanista, Distrito Sanitário Especial Índigena, Porto velho, Brasil, tassio.honorio@saude.gov.br;
[4]Engenheira Ambiental, Distrito Sanitário Especial Índigena, Porto velho, Brasil, willdeyne.santos@saude.gov.br.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e controle de vetores
Indicadores de monitoramento e avaliação de sáude ambiental rural

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores
Indicadores para el Monitoreo y la Evaluación de la Salud Ambiental Rural

Thematic Axis 10 – Public Health and Vector Control
Indicators for Monitoring and Assessing Rural Environmental Health

RESUMO

O saneamento básico é um direito essencial para a saúde e a qualidade de vida, mas ainda representa um grande desafio em comunidades indígenas, principalmente em razão da dispersão geográfica das aldeias, da escassez de infraestrutura adequada e das barreiras culturais. Este trabalho tem como objetivo descrever as ações de saneamento realizadas no âmbito do Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) Porto Velho, com enfoque no acesso à água potável, no gerenciamento de resíduos e no esgotamento sanitário. O desenvolvimento da experiência foi conduzido a partir de análises de registros institucionais, observações de campo e relatos de profissionais envolvidos nas intervenções, considerando também a interculturalidade como fator determinante para o planejamento e execução das ações. Entre os principais desafios identificados estão a carência de mão de obra especializada, as limitações de infraestrutura e as dificuldades de acesso a aldeias localizadas em áreas remotas. Como resultados, destaca-se que o DSEI Porto Velho tem buscado soluções que conciliam tecnologias apropriadas às realidades locais, capacitação de equipes e diálogo intercultural, assegurando que os povos indígenas tenham acesso progressivo ao saneamento básico e a condições adequadas de saúde ambiental. Conclui-se que tais ações contribuem de forma significativa para a prevenção de doenças de veiculação hídrica e sanitária, fortalecendo a saúde pública e promovendo melhorias na qualidade de vida das comunidades indígenas.

Palavras-chave: Saneamento Indígena, Saúde Ambiental, interculturalidade, DSEI-PVH, doenças de veiculação hídrica

RESÚMEN

El saneamiento básico es un derecho esencial para la salud y la calidad de vida, pero aún representa un gran desafío para las comunidades indígenas, principalmente debido a la dispersión geográfica de las aldeas, la falta de infraestructura adecuada y las barreras culturales. Este artículo tiene como objetivo describir las iniciativas de saneamiento implementadas en el Distrito Sanitario Especial Indígena (DSEI) de Porto Velho, con énfasis en el acceso al agua potable, la gestión de residuos y la eliminación de aguas residuales. La experiencia se desarrolló a partir del análisis de registros institucionales, observaciones de campo e informes de profesionales involucrados en las intervenciones, considerando también la interculturalidad como un factor determinante en la planificación y ejecución de las iniciativas. Entre los principales desafíos identificados se encuentran la falta de mano de obra especializada, las limitaciones de infraestructura y las dificultades para acceder a aldeas ubicadas en zonas remotas. En consecuencia, cabe destacar que el DSEI de Porto Velho ha buscado soluciones que combinan tecnologías adaptadas a las realidades locales, la capacitación de equipos y el diálogo intercultural, garantizando así que los pueblos indígenas tengan acceso progresivo al saneamiento básico y a condiciones adecuadas de salud ambiental. Se concluye que estas acciones contribuyen significativamente a la prevención de enfermedades transmitidas por el agua y la higiene, fortaleciendo la salud pública y promoviendo mejoras en la calidad de vida de las comunidades indígenas.

Palabras clave: Saneamiento Indígena, Salud Ambiental, Interculturalidad, DSEI-PVH, Enfermedades Transmitidas por el Agua

ABSTRACT

Basic sanitation is an essential right for health and quality of life, but it still represents a major challenge in Indigenous communities, mainly due to the geographical dispersion of villages, the lack of adequate infrastructure, and cultural barriers. This paper aims to describe the sanitation initiatives carried out within the Porto Velho Special Indigenous Health District (DSEI), focusing on access to drinking water, waste management, and sewage disposal. The experience was developed based on analysis of institutional records, field observations, and reports from professionals involved in the interventions, also considering interculturality as a determining factor in the planning and execution of the initiatives. Among the main challenges identified are the lack of specialized labor, infrastructure limitations, and difficulties in accessing villages located in remote areas. As a result, it is noteworthy that the Porto Velho DSEI has sought solutions that combine technologies appropriate to local realities, team training, and intercultural dialogue, ensuring that Indigenous peoples have progressive access to basic sanitation and adequate environmental health conditions. It is concluded that such actions contribute significantly to the prevention of waterborne and sanitary diseases, strengthening public health and promoting improvements in the quality of life of indigenous communities.

Keywords: Indigenous Sanitation, Environmental Health, Interculturality, DSEI-PVH, Waterborne Diseases

INTRODUÇÃO

O equilíbrio das condições ambientais nas terras indígenas constitui elemento central para a garantia da atenção integral à saúde dos povos indígenas, conforme apontado pela Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas – PNASPI (Brasil, Fundação Nacional de Saúde 2002). A experiência aqui relatada se passaram no âmbito do Distrito Sanitário Especial Indígena, no período do ano base de 2024, com o objetivo de avaliar e fortalecer as práticas de saneamento básico em comunidades indígenas, considerando aspectos como a qualidade da água, a gestão dos resíduos e a preservação ambiental.

Esse estudo parte do reconhecimento de que, ainda que a demarcação das terras indígenas tenha assegurado em grande parte a integridade dos territórios, há pressões externas e internas que afetam diretamente o bem-estar das populações. A ocupação irregular, o desmatamento, as queimadas e a poluição dos rios comprometem a disponibilidade de água potável e de recursos naturais essenciais para a alimentação e para a manutenção das práticas culturais tradicionais. Da mesma forma, as transformações sociais decorrentes do contato interétnico resultaram em alterações no modo de ocupação e em novos desafios relacionados à concentração populacional e às condições sanitárias das aldeias (Brasil, Fundação Nacional de Saúde 2002).

Nesse contexto, a experiência desenvolvida buscou contribuir para a efetivação de ações de saneamento que atendam às prioridades definidas pela política nacional, entre elas a preservação das fontes de água limpa, a implantação de sistemas de esgotamento sanitário e o manejo adequado dos resíduos sólidos. Além disso, ressaltou-se a importância do controle de vetores e da valorização das práticas tradicionais de cuidado, de modo a assegurar a integralidade da atenção à saúde indígena.

A relevância desta experiência reside, portanto, na articulação entre saúde, meio ambiente e cultura, dimensões indissociáveis para a compreensão das necessidades dos povos indígenas. A sistematização do estudo oferece subsídios técnicos e práticos para a implementação de políticas públicas mais efetivas, fortalecendo a gestão em saúde indígena e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das comunidades envolvidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo fundamenta-se nos dados do levantamento anual de caracterização do saneamento básico nas aldeias do Distrito Sanitário Especial Indígena de Porto Velho (DSEI-PVH), referente ao ano de 2024. Os procedimentos metodológicos abrangeram a coleta, sistematização e análise das informações obtidas por meio de atividades de campo, relatórios técnicos e registros administrativos do Serviço de Saneamento e Edificações de Saúde Indígena (SESANI). Todas as informações apresentadas resultam da execução direta da equipe técnica responsável.

O levantamento foi realizado em aldeias situadas nos estados de Rondônia, Amazonas e Mato Grosso, contemplando toda a área de abrangência do DSEI-PVH. A pesquisa adotou metodologia de caráter descritivo e analítico, fundamentada em levantamentos de campo desenvolvidos no período de janeiro a dezembro de 2024. As etapas compreenderam a coleta de dados primários e secundários, com registros *in loco* da infraestrutura de saneamento, abastecimento de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de resíduos sólidos, complementados por informações documentais e administrativas do DSEI-PVH. Também foram utilizados instrumentos de observação direta, por meio de visitas técnicas conduzidas pelos profissionais do SESANI, e o tratamento dos dados ocorreu mediante consolidação em planilhas eletrônicas, com posterior organização e categorização segundo os eixos do saneamento básico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagnóstico do saneamento nas aldeias atendidas pelo DSEI Porto Velho evidencia a complexidade da gestão de saúde ambiental em territórios indígenas, caracterizados pela ampla dispersão geográfica e diversidade sociocultural. O mapeamento das aldeias (Figura 1) revela a distribuição dos polos base e a localização estratégica dos sistemas de abastecimento de água, evidenciando a necessidade de logística adaptada para o monitoramento efetivo da qualidade da água.

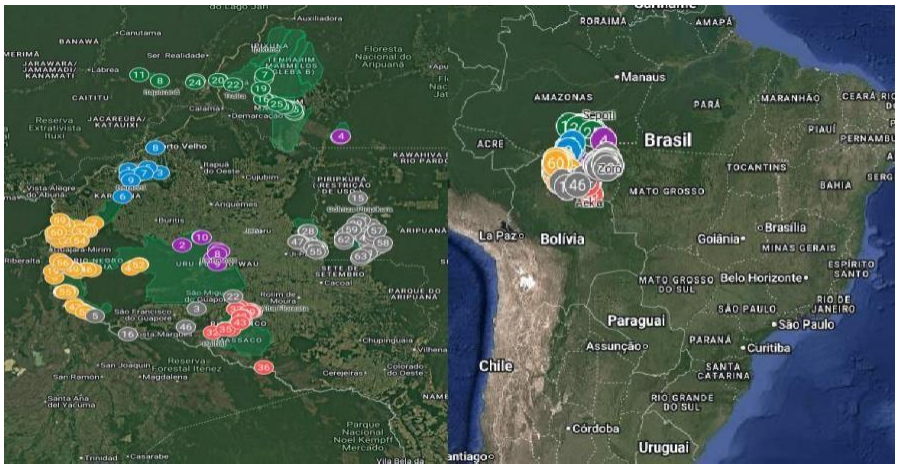


Figura 1. Abrangência do DSEI-PVH
Fonte:Adaptação do google Maps, 2025.

O acesso à água potável é um direito garantido por lei. Nas comunidades indígenas, as obras de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) representam a principal estratégia para assegurar esse direito, sendo executadas por meio da implantação de poços tubulares, com profundidade média entre 40 e 200 m, ou de poços do tipo Amazonas, que possuem diâmetro entre 0,8 e 1,0 m. Em ambos os casos, utilizam-se motobombas elétricas submersas, capazes de garantir uma vazão contínua e adequada ao consumo humano.

A escolha do tipo de sistema a ser implantado depende diretamente das condições geológicas locais e da demanda demográfica de cada comunidade, o que orienta a opção entre poços Amazonas, poços tubulares ou unidades do tipo SALTA-Z. A execução dessas estruturas também conta com a parceria de instituições como a Fundação Nacional de Saúde (Funasa), que atua na promoção do acesso à água de qualidade em territórios indígenas.

Figura 2. Sistemas de Abastecimento de água
Fonte:Elaborado pelo autor, 2025.

Quanto à infraestrutura, 77% das aldeias contam com poços tubulares (128 unidades) **e** 54% com poços tipo Amazonas (89 unidades). O polo Guajará-Mirim concentra a maior quantidade de sistemas implantados, refletindo sua elevada população (7.254 habitantes) e dispersão territorial. Já polos menores, como Alta Floresta e Jaru, enfrentam desafios logísticos e de manutenção, mesmo com cobertura relativamente alta.

Tabela 1. População atendida por sistema de abastecimento de água, 2024

Polo Base	Total Aldeias	População	SAA % (Qtd)	Poço Tubular % (Qtd)	Poço Amazonas % (Qtd)
Alta Floresta	38	749	95% (36)	74% (28)	55% (21)
Jaru	10	301	80% (8)	70% (7)	50% (5)
Porto Velho	8	437	100% (8)	75% (6)	37,5% (3)
Humaitá	28	1.847	86% (24)	75% (21)	61% (17)
Guajará-Mirim	74	7.254	89% (66)	81% (60)	55% (41)
Ji-Paraná	8	1.400	100% (8)	75% (6)	25% (2)
Total Geral	**166**	**11.988**	**90% (150)**	**77% (128)**	**54% (89)**

Fonte: Autor (2025).

Os dados demonstram que 90% das aldeias do DSEI Porto Velho possuem algum tipo de Sistema de Abastecimento de Água (SAA), revelando boa cobertura, embora com desigualdades entre polos Porto Velho e Ji-Paraná atingem 100% de atendimento, enquanto Jaru (80%) e Humaitá (86%) apresentam os índices mais baixos, indicando maior vulnerabilidade.

De forma geral, observa-se um cenário de avanços importantes na universalização do

abastecimento, mas que ainda exige esforços em polos com menor cobertura, além de estratégias de manutenção e logística para garantir a sustentabilidade dos sistemas no longo prazo.

O Plano de Monitoramento da Qualidade da Água (PMQAI) estruturado para atender às exigências da Portaria GM/MS nº 888/2021, garantindo a realização das análises essenciais para garantir a qualidade da água. Devido à distância das aldeias em relação à sede do DSEI, foi montado um aparato logístico que permite que cada polo base realize suas análises por meio de técnicos de saneamento locais contando com o auxílio dos AISAN. As coletas periódicas e análises físico-químicas e microbiológicas, incluindo turbidez, pH, cloro residual livre, coliformes totais e Escherichia coli, possibilitam a identificação rápida de alterações na qualidade da água e a implementação de medidas corretivas, assegurando o acesso a água potável em condições seguras para a população.

O monitoramento segue as instruções de acompanhamentos determinados pela secretaria especial de saúde indígena, na qual o monitoramento deve ser mensalmente e em todas as aldeias incluídas no plano de monitoramento devendo ter um acompanhamento mínimo de 9 meses no ano, o plano de monitoramento de porto velho em 2024 incluiu 67 aldeias.

Figura 3. Evolução da conformidade do indicador de qualidade da água
Fonte:Elaborado pelo autor, 2025.

A avaliação da qualidade da água realizada ao longo de 2024 apresentou variações significativas nos resultados de conformidade com os parâmetros de potabilidade. No primeiro quadrimestre (janeiro a abril), os dados demonstraram elevado desempenho, com 94,74% de conformidade. Entretanto, a partir do segundo quadrimestre (janeiro a agosto), verificou-se uma queda expressiva para 80,87%, valor que se manteve praticamente estável até o terceiro quadrimestre (janeiro a dezembro), com 80,34% (Figura 2). Essa redução ao longo do tempo

sugere desafios crescentes para a manutenção da qualidade da água, possivelmente relacionados a fatores sazonais (períodos de cheia dos rios e aumento de material orgânico), dificuldades logísticas para coleta de amostras em aldeias remotas e eventuais falhas operacionais na manutenção dos sistemas de abastecimento.

No total, foram analisadas 117 amostras de água no ponto de consumo para detecção de *Escherichia coli*, das quais 94 apresentaram ausência e 23 revelaram presença da bactéria. Esse resultado equivale a 19,66% de amostras fora do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021. A presença de *E. coli* constitui importante indicador de contaminação fecal, representando risco direto à saúde das comunidades, sobretudo em populações indígenas com maior vulnerabilidade a doenças de veiculação hídrica.

Esses achados apontam para a necessidade de reforçar medidas preventivas e corretivas, como:

- Intensificação da cloração nos sistemas de abastecimento;
- Manutenção preventiva das estruturas de captação, armazenamento e distribuição;
- Capacitação continuada dos AISAN para monitoramento em tempo oportuno;
- Campanhas educativas para o uso seguro da água nas residências, considerando práticas tradicionais de armazenamento.

As principais dificuldades observadas estão relacionadas à ampliação do número de aldeias monitoradas, considerando que a equipe técnica disponível é reduzida e que as longas distâncias entre comunidades impõem limitações logísticas significativas. Esse cenário impacta sobretudo a realização das análises microbiológicas, que, por norma, devem ser conduzidas em até 24 horas após a coleta. Tal exigência demanda elevada agilidade dos profissionais responsáveis, que precisam deslocar-se até as aldeias para coletar as amostras e transportá-las até os polos base, onde ocorre a incubação e posterior obtenção dos resultados.

Apesar das restrições orçamentárias e logísticas enfrentadas pelo DSEI Porto Velho, os dados analisados indicam avanços relevantes na qualidade do monitoramento da água. Contudo, a persistência de amostras positivas para *Escherichia coli* evidencia que a universalização do acesso à água potável ainda requer investimentos adicionais em infraestrutura, bem como o fortalecimento da gestão integrada, com participação ativa das comunidades indígenas.

Figura 4. Coletas de amostras dos SAA

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As ações de gerenciamento de resíduos sólidos demonstram forte articulação com os Agentes Indígenas de Saneamento (AISAN), que atuam diretamente na execução das atividades. Como o acompanhamento das aldeias acompanhando a presença de lixo espalhado ou acumulado, o estado das lixeiras e contêineres, a separação adequada de resíduos recicláveis, o acondicionamento em sacos plásticos e a ocorrência de queima de resíduos. Identificados pontos de acúmulo de água parada, condições favoráveis ao desenvolvimento de vetores e o descarte incorreto de resíduos perigosos, como pneus, baterias, embalagens de agrotóxicos, óleos lubrificantes e lâmpadas. Para complementar essas ações, são realizadas atividades de educação permanente, incluindo rodas de conversa, palestras, oficinas, atividades em escolas indígenas, mutirões de limpeza e visitas domiciliares, além de campanhas de coleta e implantação de aterros ou valas, promovendo o manejo seguro dos resíduos e contribuindo para a prevenção de doenças de veiculação hídrica.

Figura 5. Ação de limpeza realizadas pelos AISAN's

Fonte:Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 6. Queima de resíduos em valas

Fonte:Elaborado pelo autor, 2025.

O gerenciamento de resíduos sólidos constitui um dos maiores desafios para o saneamento em territórios indígenas. De acordo com os dados de 2024, provenientes do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), todas as 105 aldeias monitoradas, aquelas que contam com a atuação de Agentes Indígenas de Saneamento (AISAN) e relatórios de produtividade, realizam a queima de resíduos em valas como principal forma de destinação final. Embora, em muitos casos, os volumes queimados sejam reduzidos, essa prática persiste de forma universal, representando um risco ambiental e de saúde pública.

O desafio atual consiste em reduzir progressivamente essa forma de disposição, por meio da ampliação de ações de conscientização ambiental, da implementação de programas de coleta seletiva e do desenvolvimento de alternativas para o tratamento e destinação adequada dos resíduos.

A formação dos AISAN constitui elemento central na execução das ações de saneamento, uma vez que os agentes são responsáveis pela operacionalização do monitoramento da água, pelo gerenciamento de resíduos e pela promoção de hábitos de higiene e educação ambiental. Todos os anos, os 6 polos bases são realizadas as capacitações desses AISAN pelos gestores da sede do DSEI e parceiros. Essa capacitação fortalece a autonomia das comunidades e garante a continuidade das ações, promovendo a integração entre saberes tradicionais e técnicas de saneamento moderno.

Figura 7. Capacitação dos AISAN- DSEI-PVH

Fonte:Elaborado pelo autor, 2025.

O esgotamento sanitário nas aldeias é apoiado pela instalação de Módulos Sanitários Domiciliares (MSD), considerados soluções adequadas às condições construtivas e culturais

das comunidades. Esses módulos são dimensionados de acordo com o solo e a população local, garantindo condições sanitárias adequadas, reduzindo a exposição a patógenos e fortalecendo a saúde ambiental. A manutenção periódica e o acompanhamento técnico são essenciais para assegurar a durabilidade e funcionalidade desses sistemas.

Figura 8. Módulo sanitário domiciliar – MSD

Fonte:Elaborado pelo utor, 2025.

De forma geral, os resultados indicam que o DSEI Porto Velho tem adotado uma abordagem integrada, conciliando tecnologia apropriada, capacitação de equipes e respeito às práticas culturais, contribuindo significativamente para a prevenção de doenças, melhoria da qualidade de vida e fortalecimento da saúde pública nas comunidades indígenas atendidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico do saneamento nas aldeias atendidas pelo DSEI Porto Velho evidencia avanços importantes na cobertura de abastecimento de água e na implementação de ações de monitoramento da qualidade hídrica, ainda que persistam desigualdades e desafios logísticos significativos. A expansão dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), por meio de poços tubulares e do tipo Amazonas, representa um avanço no acesso à água potável; entretanto, a presença de amostras positivas para *Escherichia coli* indica a necessidade de fortalecer medidas corretivas, manutenção contínua e capacitação técnica dos profissionais e dos Agentes Indígenas de Saneamento (AISAN).

O monitoramento da água, embora já estruturado, precisa ser ampliado para um número maior de aldeias, garantindo cobertura mais ampla e representativa. Atualmente, limitações de

pessoal e distância entre comunidades restringem a realização de análises microbiológicas em tempo hábil, o que compromete a detecção precoce de alterações na qualidade da água. Nesse sentido, a expansão do monitoramento, combinada à otimização da logística de coleta e análise, é essencial para assegurar a universalização do acesso a água segura.

No âmbito do gerenciamento de resíduos sólidos, a persistência da queima em valas ainda representa um desafio ambiental e de saúde pública. Superar essa prática requer ações de conscientização ambiental, implementação de programas de coleta seletiva, tratamento adequado de resíduos e maior participação comunitária. A integração entre infraestrutura adequada, capacitação contínua dos AISAN e respeito às práticas culturais contribui significativamente para a melhoria da saúde ambiental, mas para garantir sustentabilidade e universalização é necessário ampliar o monitoramento, aumentar o número de aldeias atendidas e fortalecer parcerias institucionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. 2002. *Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas*. 2ª ed. Brasília: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.

BRASIL. Ministério da Saúde. 2021. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.* Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 07 maio 2021.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116176

SANEAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RECÔNCAVO NORTE E INHAMBUPE – UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

SANEAMIENTO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE RECÔNCAVO NORTE E INHAMBUPE – UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

SANITATION IN THE RECÔNCAVO NORTE AND INHAMBUPE HYDROGRAPHIC BASIN – A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Marley Oliveira de Souza[1], José Moisés Cruz da Silva[2], Luísa Magalhães Araújo[3] e Janiara Alves Batista[4].

[1]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, marleyoliveiradesouza@gmail.com , 0009-0009-3886-5281;

[2] Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, moises2308cruz@gmail.com, 0009-0006-2015-4957;

[3]Mestra em Meio ambiente, Águas e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, luisaaraujo@uneb.br, 0000-0003-0494-4386;

[4]Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087.

Eixo Temático 10 – Saúde pública e controle de vetores

Indicadores de monitoramento e avaliação de saúde ambiental rural.

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores

Indicadores para el Monitoreo y la Evaluación de la Salud Ambiental Rural.

RESUMO

Há um lapso entre a situação atual de todos os serviços do saneamento na Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe - BHRNI, possíveis prognósticos de políticas públicas, a

visualização e as análises do sucesso de focos de investimentos locais. No entanto, o diagnóstico dessas mudanças ao longo do tempo e a discussão das necessidades socioambientais são pautas reivindicadas pela população. Nesse sentido, este artigo buscou traçar o panorama científico sobre a região desta Bacia Hidrográfica, apontando assuntos tendências, polos de construção do conhecimento e possíveis inferências. A análise bibliométrica foi utilizada nesse processo para obter informações pertinentes ao estudo, utilizando a base de dados Scopus, a partir do rigor sistemático e princípios de transparência semelhantes aos presentes no protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020 (Page et al.,2021). Esta orientação padroniza a coleta, direciona a promoção da triagem, seleção e análise descritiva e analítica sistemática. Contudo, evidenciou-se a carência de construção científica e um certo lapso de dados, principalmente com foco específico na região da BHRNI, sobretudo em áreas rurais e periféricas, quanto aos temas compreendidos pelo saneamento, principalmente, esgotamento sanitário e drenagem. Assim, esta análise bibliométrica traz luz às mudanças no panorama geral do saneamento básico na região, uma vez que os assuntos mais tratados vem mudando. Todavia, o abastecimento de água humano, no geral, e sua qualidade ainda é um foco e indica tanto uma estagnação na sua universalização quanto na melhoria desse serviço. Deste modo, em conjunto ao foco de estudos robustos prioritários em regiões urbanizadas, as mudanças de enfoques temáticos acadêmicos tem-se voltado ao controle ambiental nos últimos anos. Assim, é possível inferir que há uma crescente nas análises situacionais e também promoção da busca por meios de conservar ou reaver a qualidade ambiental e, com isso, dos serviços ecossitêmicos para a população.

Palavras-chave: Saúde pública, Recôncavo Norte e Inhambupe, Saneamento, Bibliometria, Planejamento municipal.

RESÚMEN

Existe una brecha entre el estado actual de todos los servicios de saneamiento en la Cuenca del Recôncavo Norte e Inhambupe (BHRNI), las posibles previsiones de políticas públicas y la visualización y el análisis del éxito de los enfoques de inversión locales. Sin embargo, la población demanda un diagnóstico de estos cambios a lo largo del tiempo y una discusión de las necesidades socioambientales. Por lo tanto, este artículo buscó delinear el panorama científico de esta región de la Cuenca del Río Recôncavo Norte e Inhambupe, destacando temas de actualidad, ejes de desarrollo de conocimiento y posibles inferencias. En este proceso, se utilizó el análisis bibliométrico para obtener información relevante para el estudio, utilizando la base de datos Scopus, con base en principios de rigor sistemático y transparencia similares a los presentes en el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020 (Page et al., 2021). Esta directriz estandariza la recopilación de datos y dirige la promoción del cribado, la selección y el análisis descriptivo y analítico sistemático. Sin embargo, se destacó la falta de investigación científica y cierta brecha de datos, particularmente con un enfoque específico en la región BHRNI, especialmente en áreas rurales y periféricas, con respecto a temas relacionados con el saneamiento, particularmente alcantarillado y drenaje. Por lo tanto, este análisis bibliométrico arroja luz sobre los cambios en el panorama general del saneamiento básico en la región. Sin embargo, los temas más discutidos han estado cambiando. No obstante, el suministro de agua en general sigue siendo un foco, lo que indica tanto un estancamiento en su universalización como en su mejora. Por lo tanto, junto con el enfoque prioritario de estudios robustos en regiones urbanizadas, los cambios en los enfoques temáticos académicos

se han desplazado hacia el control ambiental en los últimos años. Por lo tanto, es posible inferir un número creciente de análisis situacionales y una promoción de la búsqueda de formas de preservar o restaurar la calidad ambiental y, en consecuencia, los servicios ecosistémicos para la población.

Palabras clave: Salud pública, Recôncavo Norte e Inhambupe, Saneamiento, Bibliometría, Planificación municipal.

ABSTRACT

There is a gap between the current status of all sanitation services in the Recôncavo Norte and Inhambupe River Basin (BHRNI), possible public policy forecasts, and the visualization and analysis of the success of local investment focuses. However, the population demands a diagnosis of these changes over time and a discussion of socio-environmental needs. Therefore, this article sought to outline the scientific panorama of this River Basin region, highlighting trending topics, knowledge development hubs, and possible inferences. Bibliometric analysis was used in this process to obtain relevant information for the study, using the Scopus database, based on systematic rigor and transparency principles similar to those present in the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta- Analyses) 2020 protocol (Page et al., 2021). This guideline standardizes data collection and directs the promotion of screening, selection, and systematic descriptive and analytical analysis. However, a lack of scientific research and a certain data gap were highlighted, particularly with a specific focus on the BHRNI region, especially in rural and peripheral areas, regarding topics related to sanitation, particularly sewage and drainage. Thus, this bibliometric analysis sheds light on changes in the general landscape of basic sanitation in the region. However, the most frequently discussed topics have been changing. However, water supply in general remains a focus, indicating both stagnation in its universalization and improvement. Thus, along with the priority focus of robust studies in urbanized regions, changes in academic thematic approaches have shifted toward environmental control in recent years. Thus, it is possible to infer a growing number of situational analyses and a promotion of the search for ways to preserve or restore environmental quality and, consequently, ecosystem services for the population.

Keywords: Public health, Recôncavo Norte and Inhambupe, Sanitation, Bibliometrics, Municipal planning.

INTRODUÇÃO

Bancos de dados federais possuem certa desatualização e lacunas de informação deixadas pelos municípios (Brasil, 2024a; Brasil, 2024b; Brasil, 2019). Desta forma, lapsos sobre a real situação do saneamento na região dificultam possíveis prognósticos de políticas públicas e sucesso de investimentos locais. Portanto, o diagnóstico dessas mudanças ao longo do tempo e a discussão das necessidades socioambientais mais manifestas pela população caracterizam uma brecha importante a ser preenchida pela produção acadêmica, com o intuito de auxiliar a nortear políticas locais preventivas e corretivas.

Nesse contexto, a análise bibliométrica apresenta-se como uma ferramenta estratégica

para compreender o cenário das publicações científicas, permitindo identificar tendências, frequências e áreas ainda pouco exploradas. Estes bancos de dados, como a SciVerse Scopus ou Scopus, englobam métricas como número de citações, fatores de impacto, coautorias, redes de colaboração entre instituições e países, além de identificar tendências e lacunas temáticas em diferentes áreas do conhecimento (Singh et al., 2021; Mongeon and Paul-hus, 2016; Elsevier, 2025).

Considerando que a base oferece grande abrangência de áreas, assuntos e tipos de documentos, pertinentes ao estudo, este artigo buscou traçar o panorama científico sobre a região do Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe - BHRNI, apontando assuntos tendências, polos de construção do conhecimento e possíveis inferências, sublinhando a importância de integrar ciência, gestão territorial e desenvolvimento sustentável em prol da qualidade de vida da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo se caracteriza como análise bibliométrica, de natureza básica, abordagem mista e objetivo descritivo e analítico. O processo para obter os resultados seguiu um rigor sistemático e princípios de transparência semelhantes aos presentes no protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) 2020 (Page et al.,2021), buscando minimizar vieses na seleção dos documentos para análises e discussões posteriores. A fonte de informação utilizada neste estudo foi a SciVerse Scopus, que consiste na maior base de dados com resumos e referências da Elsevier (Elsevier, 2025).

Na interface de busca, foi inserida a *string* dividida em duas barras de pesquisa (com delimitação de "article title, Abstract, Keywords") ligadas pelo operador booleano “AND”. Na primeira barra foi inserido nome de todos os municípios na bacia, separados por “OR”, além de "Bahia", "Agreste Baiano", "North Recôncavo" e "Recôncavo Norte", enquanto na segunda barra foi inserido “("saúde pública" OR "public health") OR ("salubridade ambiental" OR "environmental salubrity" OR "sanitary condition*") OR ("saneamento básico" OR "basic* sanitation*" OR "abastecimento de água" OR "water supply*") OR ("sanitary sewage*" OR "esgotamento sanitário") OR ("drainage" OR "drenagem")”.Dentro dos operadores booleanos, foram utilizados “AND” e “OR” - por conta da necessidade somente de abranger - e o símbolo de asterisco para incluir variações da mesma palavra no plural.

Além disso, os parênteses foram adotados para agrupar sinônimos e conceitos relacionados aos eixos temáticos de busca - no intuito de abarcar todos os possíveis

periódicos compreendidos pelo escopo da análise, nacionais e internacionais - dentro dos critérios de relação direta ou indireta com objetivo geral do tema que está sendo trabalhado no projeto de Iniciação Científica (IC) "Avaliar a qualidade e a cobertura dos serviços de saneamento básico nos municípios localizados na Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe, identificando lacunas, desafios e oportunidades para a melhoria das condições sanitárias e ambientais dessa região". Adicionalmente, também foram aplicados filtros do alcance de anos para os últimos 30 anos, ou seja, entre 1995 e 2025; para as áreas temáticas de "Ciência Ambiental", "Ciências Agrárias e Biológicas", "Ciências da Terra e Planetárias", "Ciências Sociais", "Engenharia" e "profissionais de saúde". Em seguida, foi limitado a pesquisas registradas no país (Brasil).

Por fim, após extração dos metadados em formato CSV (Comma-Separated Values), foi utilizado o Software de Análise Bibliométrica "VOSviewer", com a intenção de criar mapas de redes em nuvem, de coocorrência com, no mínimo, 2 palavras-chave (evitando uma nuvem muito densa e de difícil observação). Ao visualizar o resultado, é possível perceber e discutir as mudanças de foco e intensidade de pesquisa ao longo do tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PRODUÇÃO CIENTÍFICA IDENTIFICADA

Diante do levantamento bibliométrico em busca de materiais correlatos, foram encontrados 346 documentos, sendo 319 artigos, 13 análises, 8 artigos de conferência, 4 capítulos de livro, 1 errata e 1 observação. Após a realização de uma triagem, foram selecionados 30 trabalhos que se enquadravam no escopo da pesquisa para a BHRNI. Esse número reduzido, em relação ao total encontrado, evidencia uma limitação de produções científicas específicas sobre a referida região, o que indica uma lacuna de incentivo e investimentos, restringindo o aprofundamento em estudos locais e possibilidade do conhecimento da situação atual de saneamento do território.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS PUBLICAÇÕES

O levantamento da distribuição espacial das publicações evidencia uma concentração significativa de interesse em municípios de maior porte e, sobretudo, naqueles inseridos na Região Metropolitana de Salvador (RMS). Este destaque em Salvador-BA, capital do estado, com 14 periódicos o incluindo na sua delimitação de estudo, enquanto a maioria só é mencionada ou incluída 2 vezes, reflete seu papel central tanto populacional quanto socioeconômico no estado. Enquanto isso, cidades como Feira de Santana-BA, Alagoinhas-

BA, Candeias-BA, Camaçari-BA e São Sebastião do Passé-BA aparecem como polos secundários de interesse, provavelmente em função de sua relevância econômica, industrial e demográfica. É importante destacar que somente há 9 artigos individualizados em Salvador-BA, 2 individualizados para Feira de Santana-BA e, quanto a Candeias-BA, Alagoinhas-BA, Mata de São João-BA e Camaçari-BA, existem também 1 para cada. Já municípios menores, aparecem em aparições mais pontuais ou de forma esporádica. Esse padrão indica que a produção científica tende a privilegiar áreas mais urbanizadas e economicamente estratégicas, deixando em segundo plano localidades periféricas ou de menor expressão, o que pode influenciar diretamente na visibilidade de seus problemas ambientais e sociais.

TEMÁTICAS MAIS ABORDADAS NO SANEAMENTO BÁSICO

Com relação às temáticas discutidas, dos 30 artigos, quanto ao foco temático, há 18 com o tema focado em água; 5 que tratam sobre saneamento; 2 a respeito de gerenciamento de resíduos sólidos; e o restante trata de outros temas conjuntos com alguma vertente do saneamento. Isso demonstra uma priorização dos problemas diretamente relacionados a saúde pública e doenças de veiculação hídrica, mas também evidencia tanto uma concentração de problemas nestes contextos quanto a subvalorização de outros componentes igualmente relevantes para o saneamento ambiental e para a qualidade de vida das populações. Mediante núvem, gerada pelo "VOSviewer", ilustrada na Figura 1, observa-se que os agrupamentos de semelhança foram representados por cores distintas, sendo que tais associações se formaram porque os termos se conectaram tanto nas próprias abordagens dos documentos analisados como também em suas referências bibliográficas.

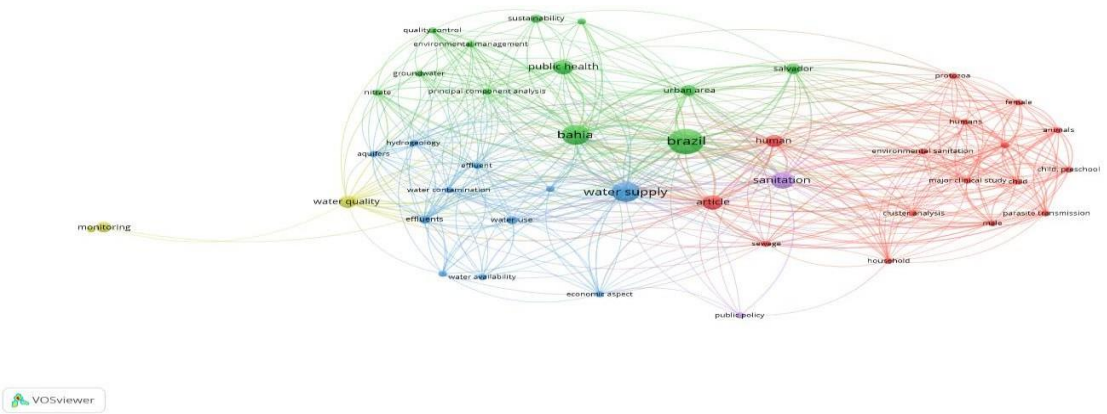


Figura 1. Grupos de Semelhanças por paridade de tema.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em decorrência disso, cada agrupamento pode ser nomeado de acordo com sua base temática e cromática, a saber: o vermelho corresponde ao agrupamento de saúde, parasitos e fatores socioambientais, evidenciando a ênfase em aspectos relacionados à saúde e às condições socioambientais; o azul representa o agrupamento de recursos hídricos e contaminação da água, destacando-se por integrar dimensões técnicas, ambientais e econômicas ligadas ao manejo da água; o roxo identifica o agrupamento de saneamento e políticas públicas, delimitado pela associação direta entre os termos saneamento e políticas públicas, o que reforça o papel das ações institucionais e normativas no enfrentamento das questões de saneamento; o verde caracteriza o agrupamento de gestão ambiental e qualidade da água em contextos urbanos, o que aponta para a integração entre fatores ambientais e urbanos em escala local e nacional; e o amarelo corresponde ao agrupamento de monitoramento e qualidade da água, ressaltando a importância do acompanhamento contínuo da condição dos recursos hídricos.

Assim, observa-se que a representação gráfica sintetiza a convergência dos diferentes eixos temáticos, sendo possível observar que o termo mais recorrente foi “Water supply”, com tradução sendo “abastecimento de água”, o que atesta essa temática como conceito- chave em meio às interações estabelecidas.

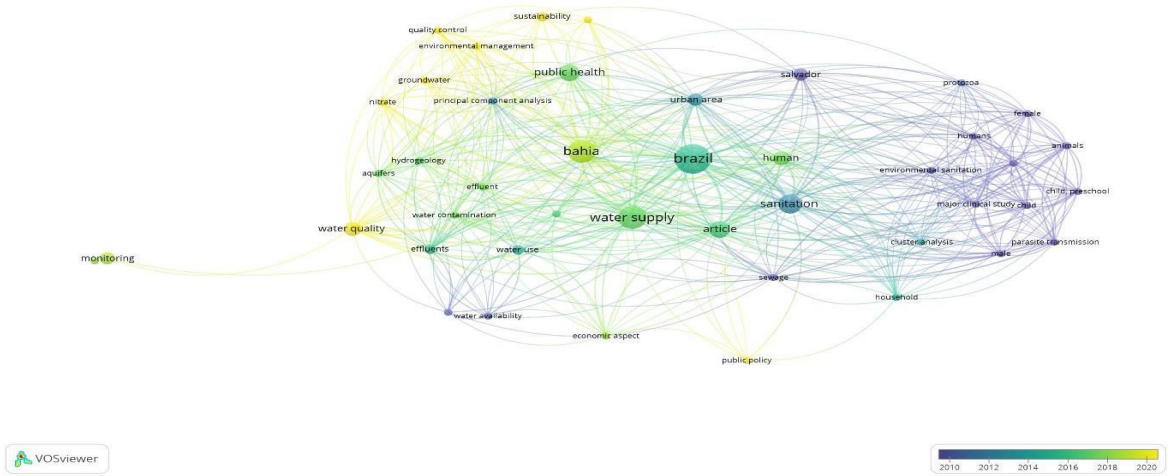


Figura 2. Grupos de Semelhanças por período de publicação.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Quanto as palavras-chave que estão relacionadas diretamente a saneamento, "water supply" teve o número de 11 ocorrências nos 30 selecionados; enquanto "sanitation" teve 7;

"public health" contou com 6 ocorrências; "human" foram 5; "urban area" e "monitoring" foram 4; "effluents", "water use" e "sustainability" teve 3 e todo o restante ficou com, ao menos, 2 ocorrências (número mínimo para aparecer na núvem).

Quanto a mudança de assunto com o tempo, o grupamento de saúde, parasitas e fatores socioambientais, agora roxo na Figura 2, fazem parte dos assuntos mais tratados em meados de 2010 à 2012; o agrupamento de recursos hídricos e contaminação da água (com um ponto roxo e os outros verdes, na Figura 2) fazem parte dos assuntos mais tratados entre meados de 2012 e 2018, incluindo o tema de avaliação de água no roxo; os temas saneamento e políticas públicas, representados por “sanitation” e “public policies”, respectivamente, estão sendo tratados desde meados de 2012 e 2020; adicionalmente, o de gestão ambiental e qualidade da água, em contextos urbanos, vem sendo trabalhados, em sua maioria, mais atualmente (por volta de 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste modo, este tipo de análise bibliométrica pode ajudar a compreender e acompanhar as mudanças no panorama geral do saneamento básico ou outras variáveis de uma região específica. Porém, também é dependente de dados para que haja algum tipo de inferência e compreensão. Assim sendo, de acordo com os resultados obtidos, é possível perceber que o foco de estudo tem mudado ao longo do tempo, mas, ainda assim, a grande preocupação no recorte proposto pelo estudo é que a maior parte das pesquisas discute abastecimento de água humano, no geral, e sua qualidade. Isto indica uma consequência tardia do descuido que existe, historicamente, com os corpos hídricos regionais.

Por fim, é visível que as mudanças de foco tem seguido um caminho de controle ambiental nos últimos anos - visto que a crescente degradação ambiental tem afetado a população de formas diretas e indiretas - então, evitar que haja mais passivo ambiental pode retardar a piora de variáveis saneamento, com a esperança de que mudanças tendam a reaver a qualidade ambiental e, com isso, dos serviços ecossitêmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2024a. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINISA: diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2023. Brasília: Ministério das Cidades. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/saneamento/sinisa. Acesso em: 24 de agosto de 2025.

Brasil. Ministério das Cidades. 2024b. "Municípios da Bahia, Paraíba, Piauí e Maranhão

ainda não atualizaram as informações do Sinisa." Gov.br, Brasília, DF. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/municipios-da-bahia-paraiba-piaui-e-maranhao-ainda-nao-atualizaram-as-informacoes-do-sinisa. Acesso em: 2 de setembro de 2025.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. 2019. Painel de Destinação de Resíduos - SINIR. Brasília, DF. Disponível em: https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/. Acesso em: 24 de agosto de 2025.

Elsevier. 2025. "Scopus: A comprehensive abstract and citation database for impact makers." Disponível em: https://www-elsevier-com.ez86.periodicos.capes.gov.br/products/Scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030. Acesso em: 24 de agosto de 2025.

Mongeon, P., and A. Paul-hus. 2016. "The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis." Scientometrics 106 (1): 213–28.

Page, Matthew J., Joanne E. McKenzie, Patrick M. Bossuyt, et al. 2021. "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews." BMJ 372. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

Singh, V. K., P. Singh, M. Karmakar, J. Leta, and P. Mayr. 2021. "The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis." Scientometrics 126 (6): 5113–42.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116345

IMPACTOS DO CONSUMO DE ÁGUA CONTAMINADA NA SAÚDE INFANTIL: PREVALÊNCIA DE PARASITOSES INTESTINAIS EM CRIANÇAS DE COMUNIDADES RURAIS

IMPACTOS DEL CONSUMO DE AGUA CONTAMINADA EN LA SALUD INFANTIL: PREVALENCIA DE PARASITOSIS INTESTINALES EN NIÑOS DE COMUNIDADES RURALES

IMPACTS OF CONTAMINATED WATER CONSUMPTION ON CHILDREN'S HEALTH: PREVALENCE OF INTESTINAL PARASITOSES IN CHILDREN FROM RURAL COMMUNITIES

Igor Leon da Silva Barreto[1], Girlane Souza da Silva Santos[2], Lílian de Oliveira Coelho Nascimento[3] e Francisco Ramon Alves do Nascimento[4].

[1]Graduando no Bacharelado Interdisciplinar em Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, igorleon@ufba.br, nº de 0009-0009-3332-745X;
[2]Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, girlane.souza@ufba.br, nº de 0000-0001-6747-0152;
[3]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, lilian.coelho@ufba.br email@exemplo.co, 0009-0003-1684-7740;
[4]Doutor em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, francisco.ramon@ufba.br, nº de 0000-0001-8246-7760.

Eixo Temático 10 - Saúde Pública e controle de vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores
Relación entre la calidad del agua y las enfermedades de transmisión hídrica.

RESUMO

Em áreas rurais, as parasitoses intestinais representam um problema relevante de saúde pública, com impactos significativos na saúde infantil devido a uma série de fatores de riscos e abastecimento de água inadequado. Entre os agentes etiológicos dessas infecções estão protozoários, helmintos e vermes, além disso uma das principais formas de transmissão é fecal-oral. Essas infecções estão associadas a quadros de desnutrição, anemia e atrofia do desenvolvimento físico e cognitivo. A alta taxa de prevalência dessas infecções em crianças é atribuída à imaturidade do sistema imunológico, o que as torna mais suscetíveis à infecção. O objetivo deste estudo foi identificar os principais impactos do consumo de água contaminada na ocorrência de parasitoses intestinais em crianças de comunidades rurais, bem como analisar os fatores de risco associados a serviços sanitários deficientes. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura. Foram realizadas buscas em periódicos de duas plataformas científicas, como o Portal Periódicos Capes e a BVS, os dados foram analisados de forma detalhada para identificar os impactos da água contaminada na saúde infantil. Após a aplicação de critérios de inclusão e exclusão, 14 artigos foram selecionados para compor a amostra de estudo. Assim, essa abordagem permitiu uma visão abrangente do

cenário epidemiológico e dos fatores subjacentes às infecções parasitárias em diferentes regiões. Os resultados da análise reforçam a relação direta entre a vulnerabilidade socioeconômica e a maior prevalência de parasitoses intestinais, refletindo as dificuldades enfrentadas por essas famílias no acesso a serviços básicos e essenciais. As condições precárias de saneamento básico, a falta de acesso à água potável, a baixa escolaridade dos pais e hábitos de higiene inadequados são fatores relacionados a essas infecções. Desse modo, constatou-se a necessidade urgente de intervenções em saneamento básico e de estratégias preventivas eficazes como educação em saúde para diminuir a prevalência de parasitoses e melhorar o bem-estar dessa parcela social.

Palavras-chave: Parasitoses intestinais, Saneamento básico, Água Contaminada, Saúde infantil, Áreas rurais

RESÚMEN

En las zonas rurales, las parasitosis intestinales representan un problema de salud pública relevante, con impactos significativos en la salud infantil debido a una serie de factores de riesgo y a un suministro de agua inadecuado. Entre los agentes etiológicos de estas infecciones se encuentran los protozoos, los helmintos y los gusanos; además, una de las principales formas de transmisión es la fecal-oral. Estas infecciones están asociadas a la desnutrición, la anemia y el desarrollo físico y cognitivo atrofiado. La alta tasa de prevalencia de estas infecciones en los niños se atribuye a la inmadurez de su sistema inmunitario, lo que los hace más susceptibles a la infección. El objetivo de este estudio fue identificar los principales impactos del consumo de agua contaminada en la aparición de parasitosis intestinales en niños de comunidades rurales, así como analizar los factores de riesgo asociados a servicios sanitarios deficientes. La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura. Se realizaron búsquedas en revistas de dos plataformas científicas, como el Portal Periódicos Capes y la BVS, y los datos se analizaron en detalle para identificar los impactos del agua contaminada en la salud infantil. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 14 artículos para la muestra del estudio. Así, este enfoque permitió una visión global del escenario epidemiológico y de los factores subyacentes a las infecciones parasitarias en diferentes regiones. Los resultados del análisis refuerzan la relación directa entre la vulnerabilidad socioeconómica y la mayor prevalencia de parasitosis intestinales, lo que refleja las dificultades a las que se enfrentan estas familias para acceder a servicios básicos y esenciales. Las malas condiciones de saneamiento básico, la falta de acceso a agua potable, el bajo nivel educativo de los padres y los hábitos de higiene inadecuados son factores relacionados con estas infecciones. De este modo, se constató la necesidad urgente de intervenciones de saneamiento básico y de estrategias preventivas eficaces, como la educación para la salud, para disminuir la prevalencia de las parasitosis y mejorar el bienestar de este sector social.

Palabras clave: Parasitosis intestinales, Saneamiento básico, Agua contaminada, Salud infantil, Áreas rurales

ABSTRACT

In rural areas, intestinal parasitoses represent a significant public health problem, with major impacts on child health due to a number of risk factors and inadequate water supply. The

etiological agents of these infections include protozoa, helminths, and worms, and one of the main forms of transmission is fecal-oral. These infections are associated with malnutrition, anemia, and stunted physical and cognitive development. The high prevalence rate of these infections in children is attributed to the immaturity of their immune systems, which makes them more susceptible to infection. The objective of this study was to identify the main impacts of contaminated water consumption on the occurrence of intestinal parasitoses in children from rural communities, as well as to analyze the risk factors associated with deficient sanitation services. The methodology consisted of a systematic literature review. Searches were conducted in journals from two scientific platforms, such as the Capes Periodicals Portal and the VHL, and the data were analyzed in detail to identify the impacts of contaminated water on child health. After applying inclusion and exclusion criteria, 14 articles were selected to form the study sample. This approach thus provided a comprehensive view of the epidemiological scenario and the factors underlying parasitic infections in different regions. The results of the analysis reinforce the direct relationship between socioeconomic vulnerability and the higher prevalence of intestinal parasitoses, reflecting the difficulties faced by these families in accessing basic and essential services. Poor basic sanitation conditions, lack of access to safe drinking water, low parental education, and inadequate hygiene habits are factors related to these infections. Thus, the urgent need for basic sanitation interventions and effective preventive strategies, such as health education, was noted to decrease the prevalence of parasitoses and improve the well-being of this social group.

Keywords: Intestinal parasitosis, Basic sanitation, Contaminated water, Child health, Rural areas.

INTRODUÇÃO

Nas sociedades contemporâneas, as parasitoses são infecções que representam um desafio para a promoção da saúde pública. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2017, as parasitoses atingiram cerca de 1,5 bilhão da população global, especialmente em países em desenvolvimento, que carecem de infraestrutura básica como as estruturas de saneamento. Em 2017, 1,7 milhões de crianças morreram por poluição e falta de saneamento, sendo uma das causas associada à parasitose infantil (OMS, 2017). No Brasil, em 2024, apesar de 83,1% da população ser atendida por abastecimento de água, ainda 32 milhões de brasileiros vivem sem acesso à água potável (SINISA, 2024; SNIS, 2022).

As infecções parasitárias são desenvolvidas por meio do desequilíbrio anormal de microrganismos que se localizam na região do intestino, como helmintos, protozoários e vermes (Silva Júnior *et al*., 2020). Nesse sentido, as crianças são as mais afetadas com prevalência de até 55,3% de parasitoses (Troncha *et al.*, 2023). A maior prevalência de parasitoses em crianças no Brasil se dá em decorrência da maturação incompleta do sistema imunológico e de diversas possibilidades de contaminação presentes no ambiente (Lima; Roberto, 2025).

Uma das principais formas de transmissão é fecal-oral, que ocorre quando a água está contaminada por cistos de protozoários ou ovos de helmintos, provenientes das condições inadequadas de saneamento básico (Silva Júnior *et al*., 2020). Além disso, o contato frequente com solo contaminado e práticas inadequadas de higiene tornam as crianças mais suscetíveis a doenças parasitárias que contribuem para sérios problemas no desenvolvimento físico, cognitivo e nutricional (Ignacio *et al.*, 2017).

O consumo de água não potável é um dos principais vetores de transmissão de parasitoses intestinais, especialmente em crianças de comunidades rurais vulnerabilizadas. Dessa forma, os impactos vão além dos sintomas clínicos mais comuns, abrangendo também manifestações como anemia, diarreia e quadros de desnutrição (Lima; Roberto, 2025).

Esse cenário é preocupante, uma vez que, esse problema infere na qualidade de vida infantil que estão em condições vulneráveis socialmente, contribuindo para o agravamento do quadro de saúde por essas infecções, devido à falta de assistência de saúde e atuações públicas. Portanto, o acesso à água potável e ações de educação em saúde são medidas urgentes para interromper a cadeia de transmissão e reduzir a prevalência de doenças parasitárias em crianças (Chaves *et al*. 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é analisar os principais impactos do consumo de água contaminada na ocorrência de parasitoses intestinais em crianças de comunidades rurais. Espera-se que o estudo contribua para a área da saúde pública quanto à análise de impactos da prevalência de parasitoses intestinais em crianças de áreas rurais e da imperatividade das condições de saneamento no contexto de promoção da saúde.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo trata-se de uma revisão sistemática de literatura, que é caracterizada como um tipo de investigação científica que segue protocolos rigorosos na metodologia e tem por objetivo sintetizar, avaliar criticamente e executar uma síntese dos resultados de múltiplos estudos primários (Galvão; Ricarte, 2019). As etapas da pesquisa (Figura 1) foram: I – Identificação de estudos; II – Triagem dos estudos; III – Análise de elegibilidade; e IV – Inclusão dos estudos.

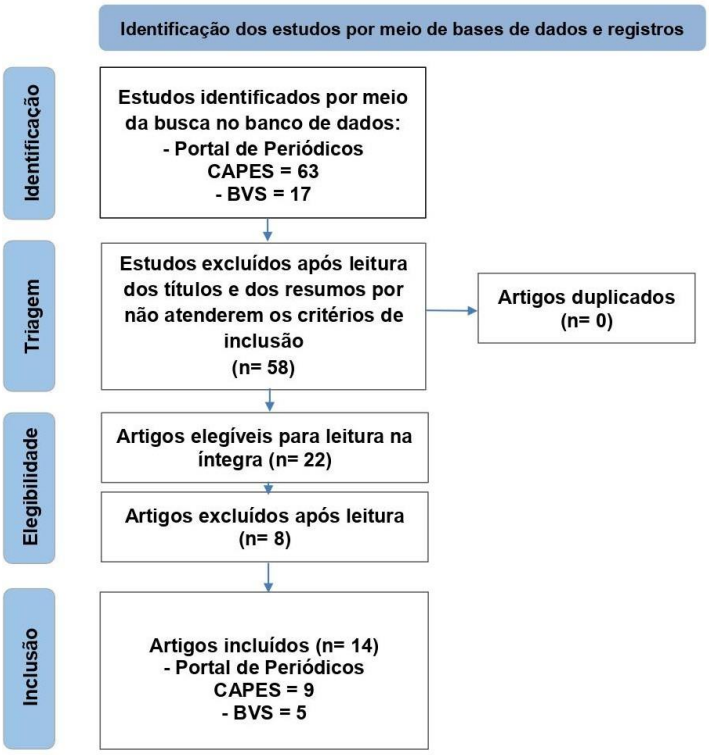


Figura 1. Fluxograma do processo de busca e análise dos trabalhos.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A identificação de estudos (Etapa 1) foi realizada a partir da pesquisa bibliográfica nas bases de dados Periódicos Capes e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). O período entre os anos 2015 e 2025 foi utilizado como critério de busca dos estudos. Para isso, foram utilizados os seguintes descritores: "parasitic diseases", "parasitosis", "children", "untreated water", "contaminated water", "basic sanitation", "rural area", "rural community" e "rural population", com associação aos operadores booleanos “AND” e “OR”.

Quanto a Etapa 2, os critérios de inclusão utilizados na triagem dos estudos foram estudos que abordaram parasitoses intestinais em crianças, estudos em áreas rurais e menos assistidas por políticas públicas, textos completos, artigos publicados em português e inglês no período dos últimos dez anos. Já os critérios de exclusão abrangeram textos que não discutiam parasitoses intestinais em crianças, estudos que não abordassem áreas rurais, assim como publicações incompletas, diferentes dos idiomas propostos e fora do período demarcado.

Quanto a Etapa 3, foi realizada a leitura na íntegra de 22 estudos para a análise de relevância para temática, após a leitura foram excluídos 8 estudos.

Quanto a Etapa 4, foi feita a inclusão apenas dos 14 artigos considerados relevantes para discussão da temática após a leitura na íntegra realizada na etapa 3.

Os dados foram extraídos utilizando um formulário padronizado em formato de planilha, elaborada no software Excel, contendo título, ano de publicação, autoria, local de estudo, resumo e link de acesso ao estudo. No que se refere a análise dos artigos, foi realizada a síntese dos principais impactos do consumo de água contaminada na ocorrência de parasitoses intestinais em crianças de comunidades rurais a partir do levantamento de estudos quanto aos fatores de risco e os impactos associados. Para isso, os fatores de risco foram categorizados em grupos: fatores socioeconômicos, de higiene e comportamento, ambientais e de infraestrutura, e biológicos e demográficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca de dados na plataforma Periódicos Capes resultou em 63 artigos científicos internacionais e nacionais, após a aplicação dos descritores. Com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram considerados 9 artigos para este estudo.

Na base de dados da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) a busca resultou em 17 artigos científicos internacionais e nacionais, após a aplicação dos descritores. Com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão incluíram-se 5 artigos. Desse modo, para a elaboração da revisão foram selecionados um total de 14 artigos.

Fatores de risco para parasitoses intestinais

No Quadro 1 é apresentada a síntese dos fatores de risco associados e identificados nos estudos analisados. A ocorrência de parasitoses intestinais é um problema multifacetado, cuja prevalência em crianças é agravada por uma complexa rede de fatores interligados que vão além do saneamento básico. O Quadro a seguir, apresenta os locais por estudo e os fatores de riscos por categoria em grupos temáticos: 1. Socioeconômicos, que incluem a renda e a escolaridade dos pais; 2. Higiene e comportamento, relacionados a hábitos pessoais e familiares; 3. Ambientais e de infraestrutura, que abordam as condições de saneamento e a presença de animais; 4. Biológicos e demográficos, que consideram características da

população como idade, tamanho da família e o tempo de amamentação em que crianças não amamentadas têm maior probabilidade de contrair infecções.

Quadro 1. Fatores de Risco para Parasitoses Intestinais

Referências	Fatores de Risco para Parasitoses	Local de estudo
Haider *et al*. (2018)	[1]Baixa escolaridade dos pais. [4]Ausência de amamentação. [4]Tamanho da família.	Paquistão
Banhos *et al*., 2017	[1]Renda familiar. [3]Infraestrutura sanitária. [2]Hábitos de higiene.	Pará
Banerjee *et al*., 2020	[1]Baixa escolaridade da mãe. [2]Prática de defecação a céu aberto.	Índia
Marques *et al*., 2021	[1]Pobreza (renda de até um salário mínimo). [3]Criação de animais domésticos sem vermifugação.	Pará
M'bondoukwé *et al*., 2018	[1]Nível de educação. [1]Desemprego. [3]Tipo de casa. [3]Falta do uso de latrinas.	Gabão
Çevik, 2015	[1]Nível socioeconômico e educacional dos pais.	Turquia
Wasihun *et al*., 2020	[1]Educação materna. [3]Presença de animais domésticos. [4]Idade da criança.	Etiópia
Souza *et al*., 2023	[1]Baixa escolaridade e renda dos pais. [2]Hábitos de higiene (andar descalço).	Região Nordeste do Brasil

Fonte: Elaboração própria, 2025.
[1]Fatores socioeconômicos; [2]Higiene e comportamento; [3]Ambientais e de Infraestrutura; [4]Biológicos e Demográficos.

Impactos associados ao consumo de água contaminada

Nos catorze trabalhos, em maioria de caráter quantitativo, foram abordados os diferentes sintomas causados pelas infecções por parasitas, relacionados ao abastecimento de água e as condições de fatores socioeconômicos. Assim, foram avaliadas as informações sobre o ano e local de publicação (Quadro 2), destacando os principais impactos atribuídos à água contaminada por parasitas na saúde de crianças.

Quadro 2. Impactos relacionados a água contaminada na saúde infantil

Referências	Impactos	Local de estudo
Daniels *et al*., 2018	O principal impacto detalhado no artigo é a contribuição desses parasitas para a carga geral de diarreia com ocorrência de até 65,8% em crianças, classificando-os como importantes causas de morbidade infantil, além de desnutrição e retardo no crescimento.	Odisha, Índia.
Chaves *et al*., 2021	O estudo revelou uma frequência de 49,05% de crianças infectadas, O consumo de água não potável aumenta em 3,7 vezes o risco de parasitoses. A água é o principal veículo de transmissão causando anemia, desnutrição, dores abdominais e diarreias.	Maranhão, Brasil.
Hryhorenko *et al*., 2019	A prevalência das doenças se correlacionou com indicadores químicos da água como pH, nitratos e oxidabilidade. A morbidade por doenças parasitárias aumentou de 1,4 a 1,63 vezes.	Dnipro, Ucrânia.
Banhos *et al.*, 2017	A análise dos dados revelou que 81,4% das crianças que bebiam água não potável estavam infectadas. Resultando na desnutrição infantil, déficits no crescimento e anemia.	Pará, Brasil.
M'bondoukwé et al., 2018	A prevalência de 39,6% nas crianças pequenas e 50,0% nas de 5 a 15 anos.O aumento do risco de infecções por helmintos	Gabão

	transmitidos ao beber água não potável causaram deficiência nutricional, má desenvolvimento físico e cognitivo.	
Ignacio *et al.*, 2017	A contaminação da água (indicada por protozoários e helmintos) com uma taxa de 25,4% em crianças contribuiu para a desnutrição, micro-hemorragias e a redução das funções físicas e mentais.	Rio de Janeiro, Brasil.
Ibiapina *et al.*, 2020	Prevalência de enteroparasitoses mais suscetíveis em crianças, com sintomas gastrointestinais, comprometendo o desenvolvimento físico e cognitivo.	Piauí, Brasil
Çevik, 2015	No estudo 56% dos alunos da escola da área rural foram positivos para parasitas. Foram identificados ocorrências de: diarreia, dor abdominal, náusea, vômito e perda de peso. Deficiência de ferro, retardo no crescimento e problemas de saúde mental.	Eskisehir, Turquia.
Banerjee *et al.*, 2020	Com prevalência de 17,0% de parasitoses nas crianças da comunidade colaborou para anemia e desnutrição, assim como sintomas gastrointestinais e manifestações alérgicas.	Bengal, Índia
Marques *et al.*, 2021	Há elevada prevalência em 91,20% de parasitoses intestinais e casos de co-infecção por múltiplas espécies de parasitas. Com ocorrência de sangramentos intestinais, prolapso retal, anemias severas, diarreia, dores abdominais e eliminação de vermes.	Pará, Brasil
Souza *et al.*, 2023	A prevalência de 92,85% das crianças com infecções parasitárias devido à má qualidade da água de beber, contribuiu para os sintomas de diarreia, dor abdominal, vômitos e astenia.	Nordeste do Brasil
Haider *et al.*, 2018	A anemia, desnutrição e crescimento físico e mental atrofiado são resultados de infestações crônicas por parasitoses em crianças. Além de problemas psicossociais, infecções gastrointestinais e respiratórias frequentes.	Peshawar, Paquistão
Wasihun *et al.*, 2020	A alta prevalência com 58% das infecções parasitárias intestinais que geraram anemia, desnutrição e crescimento atrofiado.	Tigray, Etiópia
Gupta *et al.*, 2020	As crianças de escolas rurais mais afetadas com 44,6%, a maioria das infecções 85% por protozoários na água, gerando diarreia, desnutrição, crescimento físico anormal, anemia e dores abdominais	Saptari, Nepal

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Através da análise dos resultados, foi possível observar que 57,1% dos estudos abordaram a desnutrição e as diarreias como prevalentes, 50,0% relataram problemas no crescimento, 42,9% apontaram anemia e sintomas gastrointestinais como um dos impactos das parasitoses intestinais em crianças causadas pelo consumo de água contaminada. Além dessas ocorrências, os estudos apontaram que o consumo de água contaminada provocou: problemas no desenvolvimento físico e/ou cognitivo/mental; vômitos/náusea; deficiência de ferro, infecções respiratórias, astenia e manifestações alérgicas. O meio de transmissão fecal-oral é potencializado em ambientes rurais em que o saneamento básico é inadequado ou inexistente, assim como discutido por Chaves *et al.* (2021) a ausência da água tratada na residência aumenta em 3,7 vezes a possibilidade de uma criança contrair parasitoses, uma vez que a água é reconhecida como o principal veículo para a maioria das parasitoses como mostra o quadro 2. Nesse contexto, todos os estudos analisados relatam a transmissão de parasitas intimamente relacionada a condições ambientais e socioeconômicas, o estudo de Banhos *et al.* (2017) mostra a associação entre a prevalência de parasitas *Entamoeba coli* e *Ascaris lumbricoides devido* a ausência de esgoto e tratamento da água. Em consonância, os trabalhos de Gupta *et al.* (2020) e Haider *et al.* (2018) apontam a contaminação da água potável como um reflexo evidente do saneamento deficiente.

Os estudos mostram impactos causados por parasitoses intestinais, acentuados pela

ingestão de água não potável, que se manifestam de maneira aguda e crônica, prejudicando o bem-estar e o desenvolvimento das crianças em comunidades rurais em situação de vulnerabilidade. Na revisão de literatura, há cenários mais graves, como destacado por Marques *et al*. (2021) em casos de sangramentos intestinais, prolapso retal, eliminação de vermes pela boca em que podem causar obstrução da traqueia e levar ao risco de morte, evidenciando dessa forma, a gravidade dessas infecções. É válido ressaltar que indivíduos de áreas rurais são mais suscetíveis à prevalência de parasitas intestinais devido a água consumida ser advinda de poços artesianos e não tratados, em que foi evidenciado na literatura consultada (Souza *et al.,* 2023).

A compreensão da predominância de protozoários em muitas das pesquisas revelam a vulnerabilidade dessas comunidades a microrganismos que se beneficiam diretamente da falta de higiene e do saneamento precário para se disseminar (Banhos *et al*., 2017). Diante dos resultados, é observado que, para além da deficiência de saneamento e da água contaminada, outros fatores potencializam a ocorrência de parasitoses intestinais, como os apresentados no quadro 1. Essa análise reforça que a vulnerabilidade socioeconômica está estritamente ligada a maior prevalência de parasitoses intestinais, uma vez que reflete nas dificuldades encaradas por essas famílias mais carentes no acesso a serviços de saúde, educação em saúde e saneamento básico adequados como fatores essenciais no combate a essas infecções.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, foi possível observar que a prevalência de parasitoses intestinais em crianças de comunidades rurais, se apresenta como um problema multifacetado, que ultrapassa os fatores de infraestrutura e se revela também como uma questão socioeconômica, educacional e política que evidencia a gravidade desse problema na saúde pública. Nesse sentido, o trabalho evidenciou que a saúde de crianças que vivem em comunidades rurais deve ser tratada a partir da análise de todos os determinantes sociais, considerando todos os aspectos que o cercam a fim de atingir um bem-estar completo, como mostram os resultados do quadro 1. Ademais, ao analisar a revisão de literatura, percebe-se a ligação direta entre o consumo de água contaminada como um dos principais agentes na prevalência das infecções, se evidenciou a necessidade de avaliar tanto a qualidade da água quanto os aspectos voltados às transmissões. Desse modo, torna-se crucial atuações de medidas de educação em saúde e investimentos eficazes em ações estruturais de saneamento básico em que são fundamentais para promoção do bem-estar das crianças, diminuir a prevalência de parasitoses e melhorar as condições de vida dessa parcela social.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os membros do PET ESA que contribuíram para a realização desse trabalho, e também ao FNDE/MEC pela concessão das bolsas ao grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Lima, Fernando, e Eliza Cardoso Roberto. 2025. “Infecções intestinais por parasitas em crianças: Abordagem educativa e prevalência no município de Piranhas - GO.” Revista Eletrônica Interdisciplinar 17, no. 1: 313–26.

Barbosa, Júlia Amaral, Mariana Macedo Alvim, Michele Miguel de Oliveira, Raquel de Aquino Siqueira, e Thais Resende Dias. 2017. "Análise do perfil socioeconômico e da

prevalência de enteroparasitoses em crianças com idade escolar em um município de Minas Gerais." HU Revista 43, no. 3 (dezembro): 391–397.

Banhos, Elissandro Fonseca dos, José Almir Moraes da Rocha, Marlisson Lopes Pimentel, Enid Taiane Miranda Batista, e Luciana Mota Silva. 2017. "Prevalência e fatores de risco para infecções por parasita intestinal em crianças de escolas na cidade de Santarém, estado do Pará, Brasil." ABCS Health Sciences 42, no. 3 (dezembro): 137–142. https://doi.org/10.7322/abcshs.v42i3.932.

Banerjee, Saptarshi, Soumalya Ray, Prabha Shrivastava, and Dilip Kumar Das. 2020. "Prevalence of Intestinal Parasitosis among Under-Five Children in a Rural Community of Purba Bardhaman District, West Bengal." Indian Journal of Community Medicine 45, no. 4 (outubro–dezembro): 425–428. https://doi.org/10.4103/ijem.IJCM_461_19.

Çevik, Zeynep Gökalp. 2015. "Prevalence of Intestinal Parasitic Infection and Its Side Effect in School Aged Children in Our Local Region." Open Access Library Journal (agosto).

Chaves, Jairina Nunes, Gizelia Araújo Cunha, Tharliane Silva Chaves, Anderson Araújo Corrêa, Ewaldo Eder Carvalho Santana, e Rita de Maria Seabra Nogueira. 2021. "Parasitoses intestinais e fatores de risco associados em crianças em um município do Nordeste Brasileiro." Revista de Ciências Médicas e Biológicas 20, no. 2 (maio-agosto): 286–295. https://doi.org/10.9771/cmbio.v20i2.33619.

Da Silva Júnior, Rubenício Izidro et al. 2020. “Ocorrência de enteroparasitoses em crianças cadastradas em uma obra social.” Revista Principia, no. 52: 48–57.

Daniels, Miles E., Woutrina A. Smith, e Marion W. Jenkins. 2018. "Estimating Cryptosporidium and Giardia disease burdens for children drinking untreated groundwater in a rural population in India." PLOS Neglected Tropical Diseases 12, no. 1 (29 de janeiro): e0006231. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006231.

Galvão, Maria Cristiane Barbosa, e Ivan Luiz Marques Ricarte. 2019. "Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação." Logeion: Filosofia da Informação 6, no. 1 (setembro de 2019–fevereiro de 2020): 57–73. https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73.

Gupta, Ranjit, Binod Rayamajhee, Samendra P. Sherchan, Ganesh Rai, Reena Kiran Mukhiya, Binod Khanal, e Shiba Kumar Rai. 2020. "Prevalence of intestinal parasitosis and associated risk factors among school children of Saptari district, Nepal: a cross-sectional study." Tropical Medicine and Health 48, no. 73: 1–9. https://doi.org/10.1186/s41182-020-00261-4.

Haider, Jamila, Nabila Sher Mohammad, Rubina Nazli, Sadia Fatima, e Tasleem Akhtar. 2018. "PREVALENCE OF PARASITIC INFESTATION IN CHILDREN OF A RURAL COMMUNITY OF PESHAWAR." KMUJ 10, no. 1: 14–18.

Hryhorenko, Lubov V., Volodymyr M. Baibakov, Iryna A. Zayats, Mykhailo V. Solomenko, e Oleksandr A. Romanenko. 2019. "DYNAMICS OF INFECTIOUS AND PARASITOGENIC MORBIDITY AT THE CHILDREN POPULATION IN THE RURAL DISTRICTS AND CORELATION WITH WATER FACTOR." Wiadomości

Lekarskie LXXII, no. 5, parte II: 994–998.

Ibiapina, Andressa Barros, Janaina Soares Leal, Pedro Ricardo Alves de Santana, Marcelo Ribeiro Mesquita, Tito Lívio da Cunha Lopes, e Débora Cavalcante Braz. 2020. "Enteroparasitoses em pacientes atendidos pelo serviço público de saúde: epidemiologia e distribuição espacial." Scientia Medica 30, no. 1 (janeiro–dezembro): 1–10. https://doi.org/10.15448/1980-6108.2020.1.34764.

Ignacio, Caroline Ferraz, Carina Martins de Oliveira Espíndola, Maria de Fátima Leal Alencar, Mayra da Costa Lima, Luis Claudio Muniz, Mauricio Carvalho de Vasconcellos, Maria Helena Féres Saad, Martha Macedo de Lima Barata, e Antonio Henrique Almeida de Moraes Neto. 2017. "INTESTINAL PARASITIC INFECTIONS IN A LOW-INCOME URBAN COMMUNITY: PREVALENCE AND KNOWLEDGE, ATTITUDES AND PRACTICES OF INHABITANTS OF PARQUE OSWALDO CRUZ, RIO DE JANEIRO, BRAZIL." Revista de Patologia Tropical 46, no. 1 (janeiro–março): 47–62. https://doi.org/10.5216/rpt.v46i1.46293.

Marques, João Raimundo Alves, Ana Lúcia Nunes-Gutjahr, e Carlos Elias de Souza Braga. 2021. "Prevalência de parasitoses intestinais em crianças e pré-adolescentes no município de Breves, Pará, Brasil." Saúde e Pesquisa 14, no. 3: e8678. https://doi.org/10.17765/2176-9206.2021v14n3e8678.

M'bondoukwé, Noé Patrick, Eric Kendjo, Denise Patricia Mawili-Mboumba, Jeanne Vanessa Koumba Lengongo, Christelle Offouga Mbouoronde, Dieudonné Nkoghe, Fousseyni Touré, e Marielle Karine Bouyou-Akotet. 2018. "Prevalence of and risk factors for malaria, filariasis, and intestinal parasites as single infections or co-infections in different settlements of Gabon, Central Africa." Infectious Diseases of Poverty 7, no. 6 (janeiro): 1–17. https://doi.org/10.1186/s40249-017-0381-4.

Ministério das Cidades. 2025. "Indicadores SINISA 2025." Portal Cidades. Acessado em 20 de agosto de 2025. https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br.

Souza, Paulo Ricardo Pereira de, Sueli de Souza Costa, Francisca Alessandra Guilherme Vicente, Lorena Fontinele Godoi, Antonia Amanda Cortez do Nascimento, Thaisse Gabriele Aquino Mendes, Jhonantan Carlos de Oliveira Sousa, e Vitória Regina Vidal Sabá e Silva. 2023. "Parasitoses intestinais no Nordeste entre 2012 e 2021: uma revisão integrativa de literatura." Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR 27, no. 5: 3433–3448. https://doi.org/10.25110/arqsaude.v27i5.2023-082.

Troncha, Catarina Ribeiro Botelho de Sousa et al. 2023. "Relação de parasitose em crianças e o consumo de água não tratada." Revista Acadêmica de Medicina, no. 1: 1–12.

World Health Organization (WHO)."Soil-transmitted helminth infections"Última modificação em janeiro de 2023. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/soil-transmitted-helminth-infections.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116361

IMPACTOS DO SANEAMENTO INADEQUADO NA INCIDÊNCIA DE DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA EM BELO JARDIM-PE

IMPACTOS DEL SANEAMIENTO INADECUADO EN LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN BELO JARDIM-PE

IMPACTS OF INADEQUATE SANITATION ON THE INCIDENCE OF WATERBORNE DISEASES IN BELO JARDIM-PE

Sabrina Dafyne Soares Araújo[1], Renan Bezerra Rosa[2], Silvanete Severino da Silva[3] e Taiza Karla Alves Souza[4].

[1]Graduanda, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, sabrina.dafyne@ufrpe.br, 0009-0006-8927-0630;
[2]Graduando, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, renan.bezerra@ufrpe.br, 0009-0001-7578-567X;
[3]Docente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;
[4]Docente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Belo Jardim, Brasil, taiza.alvessouza@ufrpe.br, 0000-0001-9298-1173.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

Eje Temático 10 – Salud pública y control de vectores
Relación entre la calidad del agua y las enfermedades transmitidas por el agua.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a relação entre o saneamento inadequado e a incidência de doenças de veiculação hídrica no município de Belo Jardim-PE, com base em pesquisa exploratória e descritiva, de caráter quantitativo e qualitativo, utilizando dados secundários de fontes oficiais como SNIS, DATASUS, IBGE e Atlas Brasil. O objetivo foi integrar informações sobre saneamento básico, qualidade da água e indicadores epidemiológicos, com destaque para Doenças Diarreicas Agudas (DDA) e Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA). Os resultados apontaram um cenário preocupante: embora toda a população tenha acesso ao abastecimento de água, 8,46% das famílias não possuem canalização interna, o que favorece riscos de recontaminação; o esgotamento sanitário é crítico, com apenas 30,69% da população atendida por rede coletora e 0% do esgoto tratado, deixando 55.107 habitantes sem coleta, enquanto a coleta de resíduos sólidos urbanos atinge 100% da população. Soma-se a isso a inexistência de Política e Plano Municipal de Saneamento Básico e a presença de 500 domicílios em áreas de risco de inundação. Os impactos na saúde pública são evidentes: entre 1996 e 2020 registraram-se 288 óbitos por Doenças Relacionadas ao Saneamento Inadequado (DRSAI) e, entre 2007 e 2021, ocorreram 448 internações hospitalares no município; em nível estadual, Pernambuco contabilizou 2.429.675 casos de DDA e 3.482 óbitos entre 2012 e 2021, afetando sobretudo crianças e idosos, além de 1.031 surtos de DTHA que atingiram 17.986 pessoas, resultando em 2.313 hospitalizações e 11 óbitos. A ausência de análises de agrotóxicos no SISAGUA para Belo Jardim limita a avaliação de riscos químicos adicionais. As desigualdades sociais ampliam a vulnerabilidade da população, refletidas em

um IDHM médio de 0,63 e Índice de Gini de 0,51, que indicam maior exposição de grupos de baixa renda a riscos de contaminação. Conclui-se que a deficiência no esgotamento sanitário e a falta de tratamento de efluentes são fatores determinantes para a persistência de doenças de veiculação hídrica em Belo Jardim-PE, e a ausência de planejamento estratégico, com inexistência de Política e Plano Municipal de Saneamento Básico, constitui entrave essencial. O estudo evidencia a urgência de investimentos em infraestrutura de saneamento como medida fundamental para reduzir a morbimortalidade, promover a saúde pública e elevar a qualidade de vida da população, transformando a realidade sanitária do município e garantindo um futuro mais saudável para seus habitantes.

Palavras-chave: Saúde pública, Infraestrutura sanitária, Epidemiologia, Saneamento básico

RESÚMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre el saneamiento inadecuado y la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua en el municipio de Belo Jardim, Pernambuco, con base en una investigación exploratoria y descriptiva, tanto cuantitativa como cualitativa, utilizando datos secundarios de fuentes oficiales como SNIS, DATASUS, IBGE y Atlas Brasil. El objetivo fue integrar información sobre saneamiento básico, calidad del agua e indicadores epidemiológicos, con foco en Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) y Enfermedades Transmitidas por el Agua y los Alimentos (ETA). Los resultados revelaron un escenario preocupante: aunque toda la población tiene acceso a un suministro de agua, el 8,46% de los hogares carece de plomería interna, lo que aumenta el riesgo de recontaminación. El saneamiento es crítico, con solo el 30,69% de la población servida por un sistema de alcantarillado y 0% de aguas residuales tratadas, dejando a 55.107 residentes sin recolección, mientras que la recolección de residuos sólidos urbanos llega al 100% de la población. A esto se suma la falta de una Política y un Plan Municipal de Saneamiento Básico y la presencia de 500 hogares en zonas de riesgo de inundación. Los impactos en la salud pública son evidentes: entre 1996 y 2020, se registraron 288 muertes por Enfermedades Relacionadas con el Saneamiento Inadecuado (DRSAI), y entre 2007 y 2021, se produjeron 448 hospitalizaciones en el municipio. A nivel estatal, Pernambuco registró 2.429.675 casos de DDA y 3.482 muertes entre 2012 y 2021, afectando principalmente a niños y ancianos. También hubo 1.031 brotes de DTHA, que afectaron a 17.986 personas, lo que resultó en 2.313 hospitalizaciones y 11 muertes. La falta de análisis de plaguicidas en SISAGUA para Belo Jardim limita la evaluación de riesgos químicos adicionales. Las desigualdades sociales incrementan la vulnerabilidad de la población, lo que se refleja en un IDH promedio de 0,63 y un índice de Gini de 0,51, lo que indica una mayor exposición de los grupos de bajos ingresos a riesgos de contaminación. La conclusión es que los sistemas de alcantarillado deficientes y la falta de tratamiento de efluentes son factores determinantes en la persistencia de enfermedades transmitidas por el agua en Belo Jardim, Pernambuco. La falta de planificación estratégica, incluyendo la ausencia de una Política y un Plan Municipal de Saneamiento Básico, constituye un obstáculo significativo. El estudio destaca la urgente necesidad de inversiones en infraestructura de saneamiento como medida fundamental para reducir la morbilidad y la mortalidad, promover la salud pública y mejorar la calidad de vida de la población, transformando la situación sanitaria del municipio y garantizando un futuro más saludable para sus residentes.

Palabras clave: Salud pública, Infraestructura de salud, Epidemiología, Saneamiento básico

ABSTRACT

This study aimed to analyze the relationship between inadequate sanitation and the incidence of waterborne diseases in the municipality of Belo Jardim, Pernambuco, based on exploratory and descriptive research, both quantitative and qualitative, using secondary data from official sources such as SNIS, DATASUS, IBGE, and Atlas Brasil. The objective was to integrate information on basic sanitation, water quality, and epidemiological indicators, with a focus on Acute Diarrheal Diseases (ADD) and Waterborne and Foodborne Diseases (WFD). The results revealed a worrying scenario: although the entire population has access to a water supply, 8.46% of households lack indoor plumbing, which increases the risk of recontamination. Sanitation is critical, with only 30.69% of the population served by a sewage system and 0% of treated sewage, leaving 55,107 residents without collection, while urban solid waste collection reaches 100% of the population. Added to this is the lack of a Municipal Basic Sanitation Policy and Plan and the presence of 500 households in flood-risk areas. The impacts on public health are evident: between 1996 and 2020, 288 deaths from Diseases Related to Inadequate Sanitation (DRSAI) were recorded, and between 2007 and 2021, 448 hospitalizations occurred in the municipality. At the state level, Pernambuco recorded 2,429,675 cases of DDA and 3,482 deaths between 2012 and 2021, primarily affecting children and the elderly. There were also 1,031 outbreaks of DTHA, affecting 17,986 people, resulting in 2,313 hospitalizations and 11 deaths. The lack of pesticide analysis in SISAGUA for Belo Jardim limits the assessment of additional chemical risks. Social inequalities increase the population's vulnerability, reflected in an average HDI of 0.63 and a Gini index of 0.51, indicating greater exposure of low-income groups to contamination risks. The conclusion is that deficient sewage systems and the lack of effluent treatment are determining factors in the persistence of waterborne diseases in Belo Jardim, Pernambuco. The lack of strategic planning, including a lack of a Municipal Basic Sanitation Policy and Plan, constitutes a significant obstacle. The study highlights the urgent need for investments in sanitation infrastructure as a fundamental measure to reduce morbidity and mortality, promote public health, and improve the population's quality of life, transforming the municipality's health situation and ensuring a healthier future for its residents.

Keywords: Public health, Health infrastructure, Epidemiology, Basic sanitation

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável e o acesso a serviços de saneamento básico adequados são pilares fundamentais para a saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico de qualquer comunidade. No entanto, em muitas regiões do Brasil, a precariedade desses serviços ainda representa um desafio significativo, resultando em impactos diretos na qualidade de vida da população, especialmente no que tange à proliferação de doenças de veiculação hídrica (WHO 2017).

Em estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (2021), foi registrado que, em 2019, o país contabilizou 273.403 internações por doenças de veiculação hídrica, como diarreia, dengue, leptospirose e esquistossomose, com um custo de R$ 108 milhões ao sistema de saúde.

A região Nordeste concentrou o maior número de internações, totalizando 113.748 casos, o que representa mais de 40% do total nacional. O estado de Pernambuco, especificamente, contabilizou 9.705 internações, com uma taxa de incidência de 10,15 por 10 mil habitantes. Esses números refletem diretamente a precariedade do saneamento básico: apenas 28,4% da população pernambucana tinha acesso à coleta de esgoto, e somente 31,5% do esgoto coletado era tratado.

O município de Belo Jardim, localizado no estado de Pernambuco, insere-se nesse contexto de vulnerabilidade. Apesar de avanços pontuais, dados recentes indicam que a infraestrutura de saneamento na cidade ainda é deficiente, com baixos índices de coleta e tratamento de esgoto (INFOSANBAS 2025). Essa situação cria um ambiente propício para a contaminação da água e, consequentemente, para a ocorrência de doenças transmitidas por ela, como as diarreias agudas, que afetam desproporcionalmente crianças e idosos (Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco 2024).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo analisar a relação entre o saneamento inadequado e a incidência de doenças de veiculação hídrica no município de Belo Jardim-PE. Para tanto, serão explorados dados sobre a cobertura de saneamento básico, indicadores de saúde pública e informações epidemiológicas, buscando identificar os principais desafios e propor reflexões sobre a urgência de intervenções eficazes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste artigo, foi realizada uma pesquisa exploratória e descritiva, com abordagem quantitativa e qualitativa, baseada na coleta e análise de dados secundários provenientes de fontes oficiais e de reconhecida credibilidade. A metodologia empregada buscou integrar informações sobre saneamento básico, qualidade da água e indicadores epidemiológicos de doenças de veiculação hídrica, com foco no município de Belo Jardim-PE.

O período temporal analisado neste estudo compreende os anos de 2010 a 2022. A escolha deste intervalo se justifica pela disponibilidade de dados mais recentes e consistentes nas plataformas do SNIS, DATASUS e IBGE, permitindo uma análise mais acurada da evolução dos indicadores de saneamento e saúde na última década. O ano de 2022 foi definido como marco final por ser o último ano com dados consolidados disponíveis para a maioria dos indicadores no momento da coleta, garantindo a atualidade da análise.

Local de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Belo Jardim, situado no estado de Pernambuco, conforme apresentado na Figura 1. O território municipal integra a Mesorregião do Agreste Pernambucano e a Microrregião do Vale do Ipojuca, estando inserido nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe e Ipojuca, que abrangem aproximadamente 63% e 37% de sua área, respectivamente. Essas bacias apresentam importância estratégica no contexto regional, uma vez que são responsáveis pelo abastecimento hídrico e pelo atendimento às demandas da população, configurando-se como elementos essenciais para a gestão dos recursos naturais e para a promoção da sustentabilidade hídrica local.

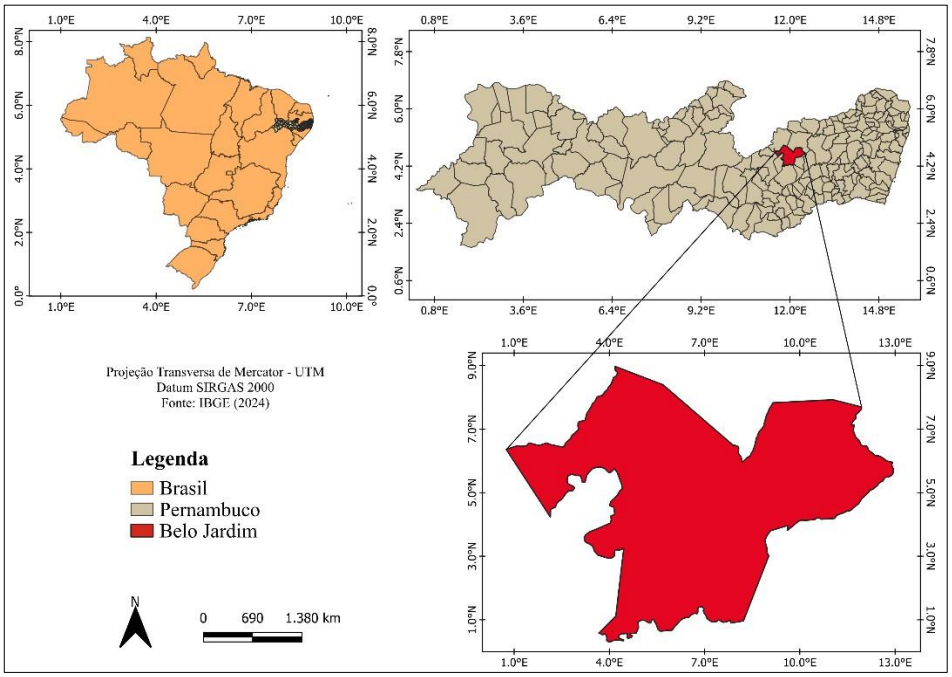


Figura 1. Localização geográfica do município de Belo Jardim, Pernambuco.
Fonte: Autoria própria, 2025.

Segundo dados do IBGE (2022), uma população de 79.507 habitantes em uma área territorial de 647,445 km². O Produto Interno Bruto (PIB) per capita é de R$ 35.942,24, enquanto a densidade demográfica atinge 122,80 hab/km², refletindo a relação entre o número de habitantes e a extensão territorial do município.

Obtenção de dados

As informações sobre saneamento e saúde em Belo Jardim-PE foram sistematizadas a partir de diferentes fontes oficiais. Os dados referentes aos indicadores de abastecimento de

água e esgotamento sanitário foram obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O Instituto Trata Brasil, Instituto Água e Saneamento e o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) contribuíram com levantamentos específicos sobre o município. Dados relativos a doenças, internações hospitalares e mortalidade foram obtidos no Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e no Perfil Epidemiológico da Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco.

As estatísticas populacionais e o arquivo *shapefile*, utilizado para a elaboração do mapa de localização, foram obtidos junto ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), enquanto o Atlas Brasil forneceu indicadores socioeconômicos, como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e o Índice de Gini. A utilização integrada dessas bases possibilitou compreender a articulação entre infraestrutura sanitária e as condições de saúde pública no território municipal.

Coleta e Análise de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de consulta direta às plataformas e documentos mencionados. As informações foram sistematizadas e organizadas para permitir a análise comparativa e a identificação de tendências e correlações. A análise dos dados de saneamento focou nos percentuais de atendimento com água, esgoto e coleta de resíduos sólidos, bem como na existência de planos e políticas municipais de saneamento.

O tratamento dos dados foi realizado de forma a garantir a comparabilidade e a integração das informações das diferentes fontes. Os dados brutos foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos a uma análise estatística descritiva. Foram calculadas médias anuais para os indicadores de internação e mortalidade, taxas de incidência de doenças de veiculação hídrica por 10.000 habitantes e proporções de atendimento por serviços de saneamento. A análise comparativa entre os indicadores de saneamento (cobertura de água, esgoto e coleta de lixo) e os indicadores de saúde (incidência de DDA e DTHA) foi realizada para identificar possíveis correlações e tendências ao longo do período analisado.

Para a análise epidemiológica, foram levantados dados sobre a incidência e mortalidade por doenças de veiculação hídrica, com especial atenção às DDA e DTHA. A correlação entre a precariedade do saneamento e a ocorrência dessas doenças foi investigada a partir da

sobreposição dos dados de infraestrutura e saúde. A ausência de análises de agrotóxicos na água em Belo Jardim, conforme o SISAGUA , também foi considerada como um fator de risco potencial.

As informações socioeconômicas, como IDHM e Índice de Gini, foram utilizadas para contextualizar a realidade do município e compreender como fatores sociais podem influenciar a relação entre saneamento e saúde. A interpretação dos dados buscou identificar lacunas na infraestrutura e nos serviços que possam estar contribuindo para a persistência de doenças relacionadas à qualidade da água.

Limitações do Estudo

Reconhecemos as limitações inerentes ao uso de dados secundários. A subnotificação de casos de doenças de veiculação hídrica é uma realidade no Brasil, o que pode levar a uma subestimação da real magnitude do problema. Além disso, a atualização desigual das bases de dados pode gerar inconsistências temporais na análise. Por exemplo, enquanto os dados do SNIS são atualizados anualmente, os dados epidemiológicos do DATASUS podem apresentar um certo atraso na sua consolidação e divulgação. Tais limitações foram consideradas na interpretação dos resultados, e as conclusões foram pautadas na análise das tendências e padrões observados, mais do que em valores absolutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados revela um cenário complexo em Belo Jardim-PE, marcado por deficiências significativas na infraestrutura de saneamento básico e por impactos diretos na saúde pública. Segundo o SNIS (2020), a população do município é integralmente atendida por abastecimento de água, contudo, 8,46% das famílias ainda não dispõem de canalização de água no domicílio, essa falta de canalização interna em algumas residências pode levar à recontaminação. Ressalta-se que conforme o INFOSANBAS (2025), a solução de abastecimento deve assegurar a canalização interna até a residência ou, ao menos, no peridomicílio (em um raio de até 50 metros em torno do domicílio).

O esgotamento sanitário apresenta situação crítica, pois apenas 30,69% da população é atendida por rede coletora, enquanto 0,00% do esgoto coletado recebe tratamento, o que deixa 55.107 habitantes sem acesso à coleta de esgoto. Em contrapartida, a coleta de resíduos sólidos urbanos alcança 100% da população. A inexistência de Política e de Plano Municipal de Saneamento Básico configura um fator preocupante, somando-se ao fato de que 500 domicílios encontram-se em áreas de risco de inundação (SNIS 2020; Instituto Água e Saneamento 2022).

A precariedade do saneamento reflete-se nos indicadores de saúde. Em Belo Jardim-PE, registraram-se 288 óbitos por Doenças Relacionadas ao Saneamento Inadequado (DRSAI)

entre 1996 e 2020 e 448 internações hospitalares entre 2007 e 2021 (DATASUS 2020; 2022). Em Pernambuco, o Perfil Epidemiológico 2012-2021 registra 2.429.675 casos de Doenças Diarreicas Agudas (DDA) e 3.482 óbitos, afetando principalmente idosos e crianças (Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco 2024). Surtos de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA) também são preocupantes, com 1.031 surtos notificados entre 2012 e 2021, afetando 17.986 pessoas, com 2.313 hospitalizações e 11 óbitos. O aumento de surtos em 2013 e 2014 correlaciona-se com a estiagem severa, evidenciando a vulnerabilidade à contaminação da água (Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco 2024).

O monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano constitui uma responsabilidade essencial de todo município, devendo ser realizado em conformidade com os parâmetros de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde. As análises, consolidadas e disponibilizadas pelo SISAGUA/MS, representam um instrumento fundamental de vigilância em saúde ambiental. Entretanto, segundo os registros do SISAGUA (2020), não foram disponibilizados dados referentes as análises de agrotóxicos para Belo Jardim-PE, o que limita a capacidade de identificar potenciais riscos químicos à saúde da população e compromete a efetividade das ações de controle da qualidade da água no município.

Conforme dados do Atlas Brasil (2010), o município apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) médio de 0,63 e um Índice de Gini de 0,51, evidenciando desigualdades que comprometem o acesso equitativo a serviços essenciais e agravam os impactos do saneamento deficiente. Nessas condições, as populações de baixa renda, sobretudo em áreas com infraestrutura precária, estão mais expostas aos riscos da contaminação ambiental. A persistência da pobreza, associada à falta de moradia adequada e à precariedade dos sistemas de esgoto, contribui para a manutenção de doenças de veiculação hídrica em comunidades vulneráveis.

Os resultados evidenciam que a deficiência no esgotamento sanitário e tratamento de efluentes é um fator determinante para a persistência de doenças de veiculação hídrica em Belo Jardim-PE. A ausência de tratamento de esgoto e a não coleta para parte da população permitem a contaminação de corpos d'água e solo, impactando a qualidade da água para consumo e recreação. A alta incidência de mortes por DRSAI é um indicador alarmante, refletindo um padrão de doenças endêmicas em Pernambuco, especialmente em grupos vulneráveis. Segundo o Atlas de Saneamento: Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (2021), publicado pelo IBGE, a contaminação fecal da água representa a principal via de transmissão de patógenos entéricos, os quais são responsáveis por diversas doenças entéricas, como diarreias, febre tifóide, cólera e infecções causadas por *Escherichia coli* ou *Salmonella*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise aprofundada da relação entre o saneamento inadequado e as doenças de veiculação hídrica no município de Belo Jardim-PE evidencia um cenário que exige atenção e intervenções urgentes. As deficiências na infraestrutura de saneamento básico, sobretudo no que se refere à coleta e ao tratamento de esgoto, configuram-se como fatores determinantes para a elevada incidência de doenças diarreicas agudas e outros agravos associados. A ausência de tratamento de esgoto e a falta de cobertura para uma parcela significativa da população

expõem a comunidade a riscos contínuos de contaminação da água e do solo, perpetuando um ciclo de vulnerabilidade sanitária.

Os dados epidemiológicos, reforçam a gravidade do problema, indicando que as doenças de veiculação hídrica representam uma carga significativa para a saúde pública, com impactos desproporcionais em grupos etários mais sensíveis, como crianças e idosos. A correlação entre a falta de saneamento e a ocorrência dessas enfermidades é inegável, e a situação em Belo Jardim é um reflexo claro dessa dinâmica.

A carência de um planejamento estratégico formal, evidenciada pela ausência de uma Política Municipal de Saneamento Básico e de um Plano Municipal de Saneamento Básico, é um entrave fundamental para o desenvolvimento e a universalização dos serviços. Sem diretrizes claras e metas definidas, a capacidade de investimento e a eficácia das ações de saneamento ficam comprometidas, dificultando a superação dos desafios existentes.

Diante desse quadro, é imperativo que as autoridades municipais e estaduais, em conjunto com a sociedade civil e o setor privado, priorizem investimentos em saneamento básico em Belo Jardim. A universalização do acesso à água tratada, à coleta e ao tratamento de esgoto, e à gestão adequada de resíduos sólidos não são apenas medidas de infraestrutura, mas sim estratégias essenciais para a promoção da saúde, a redução da mortalidade e morbidade por doenças de veiculação hídrica, e a melhoria da qualidade de vida da população. A implementação de políticas públicas robustas, baseadas em dados e com foco na sustentabilidade, é o caminho para transformar a realidade sanitária do município e garantir um futuro mais saudável para seus habitantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas Brasil. 2010. “Indicadores populacionais e socioeconômicos.” Acedido a 24 de agosto de 2025. http://www.atlasbrasil.org.br/perfil.

Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). 2020. "Mortalidade.” Acedido a 24 de agosto de 2025. http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/inf10br.def.

Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). 2022. “Informações Hospitalares.” Acedido a 24 de agosto de 2025. http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/nrbr.def. Acesso em: 24 ago. 2025.

Instituto Água e Saneamento. 2022. "Municípios e Saneamento." Acedido a 24 de agosto de 2025. https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pe/belo-jardim.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2021. "Atlas de Saneamento: Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário." 3. ed. Rio de Janeiro: : IBGE, 2021. Acedido a 21 de agosto de 2025. https://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/livros/liv101885_capa_intro.pdf.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. "Cidades e Estados." Acedido a 24 de agosto de 2025. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html.

Instituto Trata Brasil. 2021. "Saneamento e Doenças de Veiculação Hídrica: DATASUS e SNIS 2019." *Sumário Executivo*. São Paulo: Instituto Trata Brasil. Acedido a 24 agosto de 2025. https://www.tratabrasil.org.br.

Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco. 2024. "Perfil Epidemiológico: Pernambuco 2012–2021." 1. ed. Recife: SES, 2024.

Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA). 2020. "Agrotóxicos na água." Acedido a 24 de agosto de 2025. https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf.

Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (INFOSANBAS). 2025. "Belo Jardim-PE." Acedido a 23 de agosto de 2025. https://infosanbas.org.br/municipio/belo-jardim-pe/#Gest%C3%A3o-do-saneamento-b%C3%A1sico.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). 2020. "Série Histórica." Disponível em: Acedido a 24 de agosto de 2025. https://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/.

United Nations Development Programme. 2022. "PNUD no Brasil." Acedido a 24 de agosto de 2025. https://www.undp.org/pt/brazil/pnud-no-brasil.

World Health Organization (WHO). 2017. "Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum." Geneva: World Health Organization. Acedido a 18 de agosto 2025. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116441

INCIDÊNCIA E PREVALÊNCIA DA TOXOPLASMOSE CONGÊNITA NOS ESTADOS DO CEARÁ, PARAÍBA, PERNAMBUCO E RIO GRANDE DO NORTE ENTRE 2020 E 2025

INCIDENCIA E PREVALENCIA DE LA TOXOPLASMOSIS CONGÉNITA EN LOS ESTADOS DE CEARÁ, PARAÍBA, PERNAMBUCO Y RIO GRANDE DO NORTE ENTRE 2020 Y 2025

INCIDENCE AND PREVALENCE OF CONGENITAL TOXOPLASMOSIS IN THE STATES OF CEARÁ, PARAÍBA, PERNAMBUCO AND RIO GRANDE DO NORTE BETWEEN 2020 AND 2025

Matheus Bassi Soares[1], André Sobral[2]

[1]Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, Brasil, bassi.31.01.06@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-2387-2271;
[2]Doutor em Etnobiologia e Conservação da Natureza, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, Brasil, andre.sobral@professor.ufcg.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-7145-796X.

Eixo Temático X – Saúde Pública e Controle de Vetores
Doenças e epidemiologia, controle de vetores e vigilância sanitária.

Eje Temático X – Salud Pública y Control de Vectores
Enfermedades y epidemiología, control de vectores y vigilancia sanitaria.

RESUMO

A toxoplasmose é uma doença parasitária causada por um protozoário conhecido por *Toxoplasma gondii*, que tem como hospedeiro definitivo os felinos, podendo afetar os animais de sangue quente, incluindo o ser humano. Este estudo analisou as taxas de incidência e prevalência da toxoplasmose congênita nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, bem como os possíveis fatores associados ao aumento no número de casos na região. Os dados sobre os registros de casos foram obtidos do SINAN, e os dados sobre registro de nascidos vivos do Portal de Transparência – Registro Civil. A pesquisa mostrou que há uma tendência de aumento gradual dos casos da doença, com taxas de incidência média que variam entre 10,92 e 28,5 a cada 10mil pessoas, com valor médio regional de 17,64, enquanto que as taxas de prevalência ao nascer oscilam entre 8,41 e 24,5 a cada 10mil nascidos vivos, resultando em uma média de 16,33. Notou-se que o Rio Grande do Norte foi o estado com maior incidência e prevalência da região estudada, variando de 22,6 a 38,2 a cada 10mil pessoas como taxa de incidência, tendo média 28,5, e com uma taxa de prevalência de 24,5 a cada 10mil nascidos vivos. Já o Estado da Paraíba foi o que apresentou a menor taxa de incidência e de prevalência, variando entre 7,7 e 23,8 a cada 10mil pessoas como taxa de incidência, tendo média 10,92, e com uma taxa de prevalência de 8,41 a cada 10mil nascidos vivos. Apesar de apresentar uma grande diferença numérica entre eles, é notório que todos os estados têm tido um aumento gradual em sua taxa de incidência ao longo dos últimos cinco anos. É especulado que a falta de dados precisos relacionados à

doença dificulte a análise estatística e o monitoramento. É preciso discutir soluções para melhorar a capacidade de monitoramento das condições ambientais que propiciam a transmissão dessa zoonose.

Palavras-chave: *Toxoplasma gondii*, incidência, prevalência, Nordeste do Brasil.

RESÚMEN

La toxoplasmosis es una enfermedad parasitaria causada por un protozoo conocido como Toxoplasma gondii, cuyo hospedador definitivo son los felinos, y que puede afectar a animales de sangre caliente, incluyendo a los humanos. Este estudio analizó las tasas de incidencia y prevalencia de la toxoplasmosis congénita en los estados de Ceará, Paraíba, Pernambuco y Rio Grande do Norte, así como los posibles factores asociados al aumento del número de casos en la región. Los datos sobre los registros de casos se obtuvieron del SINAN y los datos sobre los registros de nacidos vivos del Portal de Transparencia - Registro Civil. La investigación mostró una tendencia ascendente gradual en los casos de la enfermedad, con tasas de incidencia promedio que oscilan entre 10,92 y 28,5 por 10.000 personas, con un promedio regional de 17,64, mientras que las tasas de prevalencia al nacimiento oscilan entre 8,41 y 24,5 por 10.000 nacidos vivos, resultando en un promedio de 16,33. Rio Grande do Norte tuvo las tasas de incidencia y prevalencia más altas en la región estudiada, con tasas de incidencia que oscilaron entre 22,6 y 38,2 por 10.000 personas, con un promedio de 28,5, y una tasa de prevalencia de 24,5 por 10.000 nacidos vivos. El estado de Paraíba tuvo las tasas de incidencia y prevalencia más bajas, con tasas de incidencia que oscilaron entre 7,7 y 23,8 por 10.000 personas, con un promedio de 10,92, y una tasa de prevalencia de 8,41 por 10.000 nacidos vivos. A pesar de las diferencias numéricas significativas entre los estados, es evidente que todos los estados han experimentado un aumento gradual de sus tasas de incidencia en los últimos cinco años. Se especula que la falta de datos precisos relacionados con la enfermedad dificulta el análisis estadístico y el seguimiento. Se necesitan soluciones para mejorar la capacidad de seguimiento de las condiciones ambientales que favorecen la transmisión de esta zoonosis.

Palabras clave: *Toxoplasma gondii*, incidencia, prevalencia, Noreste de Brasil.

ABSTRACT

Toxoplasmosis is a parasitic disease caused by a protozoan known as Toxoplasma gondii, whose definitive host is felines, and which can affect warm-blooded animals, including humans. This study analyzed the incidence and prevalence rates of congenital toxoplasmosis in the states of Ceará, Paraíba, Pernambuco, and Rio Grande do Norte, as well as possible factors associated with the increase in the number of cases in the region. Data on case records were obtained from SINAN, and data on live birth records from the Transparency Portal – Civil Registry. The research showed a gradual upward trend in cases of the disease, with average incidence rates ranging from 10.92 to 28.5 per 10,000 people, with a regional average of 17.64, while birth prevalence rates range from 8.41 to 24.5 per 10,000 live births, resulting in an average of 16.33. Rio Grande do Norte had the highest incidence and prevalence rates in the region studied, with incidence rates ranging from 22.6 to 38.2 per 10,000 people, averaging 28.5, and a prevalence rate of 24.5 per 10,000 live births. Paraíba state had the lowest incidence and prevalence rates, with incidence rates ranging from 7.7 to

23.8 per 10,000 people, averaging 10.92, and a prevalence rate of 8.41 per 10,000 live births. Despite the significant numerical differences between the states, it is clear that all states have seen a gradual increase in their incidence rates over the past five years. It is speculated that the lack of accurate data related to the disease hinders statistical analysis and monitoring. Solutions to improve the monitoring capacity of the environmental conditions that favor the transmission of this zoonosis are needed.

Keywords: *Toxoplasma gondii*, incidence, prevalence, Northeast Brasil.

INTRODUÇÃO

A toxoplasmose é uma doença parasitária causada pelo protozoário *Toxoplasma gondii*, que em 2021 se mostrou presente em aproximadamente 30% da população mundial (cerca de 2,443 bilhões de pessoas) (Dubey, 2021). Ela tem como único hospedeiro definitivo os felinos, mas os animais de sangue quente estão propensos a serem hospedeiros intermediários, incluindo aves e o ser humano. A doença é transmitida principalmente através do contato direto, ou indireto, com as fezes de gatos domésticos e pombos, onde se encontram os oocistos do parasita (Galván Ramírez et. al., 1999). Vias indiretas comuns são solos e águas contaminadas por oocistos de *T. gondii*, ingestão de carne crua ou mal cozida infectada pelo protozoário, e ingestão de alimentos orgânicos contaminados e mal lavados, ou lavados com água contaminada. Além disso, a doença pode ser contraída por via congênita. A toxoplasmose congênita é o tipo mais agressivo da doença, podendo causar sequelas gravíssimas como: coriorretinite bilateral, hidrocefalia e calcificação intracraniana; e, portanto, requer mais cuidado ao lidar (Coutinho de Melo et. al., 2024).

No Brasil, a taxa de incidência da toxoplasmose como um todo vem aumentando significativamente. O Sudeste brasileiro é a região com maior taxa de incidência da doença com 12800 casos registrados entre 2019 e 2022, sendo o Nordeste a segunda região, com 11561 casos registrados, no entanto, em 2022 o Nordeste ultrapassou os demais Estados brasileiros em casos registrados com um total de 3855 casos (Prata et. al., 2023).

Com essas informações, o presente estudo tem como objetivo investigar a real situação da doença nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, através da análise de incidência e prevalência, assim como entender as possíveis causas associadas ao aumento do número de casos na região estudada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se uma análise das taxas de incidência e prevalência dos casos de toxoplasmose congênita nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, e bem como uma revisão da literatura sobre a doença toxoplasmose e o seu agente etiológico, o protozoário *T. gondii*.

Para a busca de artigos que compuseram a revisão de literatura utilizou-se o banco de dados SciELO Brasil (https://www.scielo.br/). Para a seleção dos artigos foram utilizadas as seguintes combinações de palavras-chaves: "*Toxoplasma gondii*", "toxoplasmose congênita", "toxoplasmose", "carne", "gatos" e "solo", e seus equivalentes na língua inglesa. A análise das taxas de incidência e prevalência dos casos de toxoplasmose congênita notificados, foi realizada com base nos dados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) do Ministério da Saúde. Além disso, foram consultados dados sobre nascidos vivos no Portal da Transparência – Registro Civil.

(https://datasus.saude.gov.br/acesso-a-informacao/doencas-e-agravos-de-notificacao-de-2007-em-diante-sinan/; https://transparencia.registrocivil.org.br/registros)

As informações extraídas dos artigos de referência foram organizadas em fichamento, levando em consideração a revista em que foram publicadas, o objetivo do estudo, o método e os principais resultados. Foram selecionados os artigos que tinham como objetivo a identificação e avaliação do parasita *T. gondii*, e que utilizavam como método a extração e examinação do soro dos indivíduos investigados. Foram descartados os artigos que não seguiam como objetivo a identificação e avaliação do parasita *T. gondii*.

Os casos notificados foram extraídos do banco de dados do SINAN e referem-se aos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A população em risco, bem como a quantidade de nascidos vivos foram extraídos do banco de dados do Portal de Transparência – Registro Civil. Foram considerados os casos de toxoplasmose congênita notificados entre os anos de 2020 e 2025. Foram calculadas a média individual (de cada Estado), bem como a média total dos quatro Estados considerados.

Para o cálculo da incidência, usou-se:

$$I = \frac{casosnovos}{popula\,çã\,oemrisco} \times 10000$$

onde

I = taxa de incidência

Para o cálculo da prevalência ao nascer média, usou-se:

$$P = \frac{\sum casos entre\ 2020\ e\ 2025}{\sum nascidos vivos entre\ 2020\ e\ 2025} \times 10000$$

onde

P = taxa de prevalência ao nascer média

Com as informações obtidas, foram criadas tabelas e gráficos com o auxílio do software Microsoft Excel. A partir dos resultados obtidos e dos artigos selecionados, foi feita uma análise a fim de associar os fatores que contribuem para o aumento de casos da doença.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o Estado da Paraíba entre os anos de 2020 e 2025, temos as seguintes taxas de incidência: 7,7 (2020), 6,7 (2021), 7,8 (2022), 7,5 (2023), 12 (2024) e 23,8 (Jan-Mar, 2025). Resultando em uma média de 10,92 – a menor entre os Estados estudados. Com uma taxa de prevalência ao nascer média de 8,41.

Em relação ao Estado do Rio Grande do Norte, temos as seguintes taxas de incidência: 24,5 (2020), 22,6 (2021), 26,9 (2022), 33,2 (2023), 38,2 (2024) e 25,6 (Jan-Mar, 2025). Resultando em uma média de 28,5 – a maior entre os Estados estudados. Com uma taxa de prevalência ao nascer média de 24,5.

Para o Estado de Pernambuco, temos as seguintes taxas de incidência: 7 (2020), 14,8 (2021), 13,2 (2022), 30 (2023), 25,2 (2024), 30 (Jan-Mar, 2025). Resultando em uma média de 15,03. Com uma taxa de prevalência ao nascer média de 17,13.

E por fim, o Estado do Ceará, com as taxas de incidência: 10,6 (2020), 14,5 (2021), 15,3 (2022), 25,7 (2023), 17,6 (2024), 13,1 (Jan-Mar, 2025). Resultando em uma média de 16,13. Com uma taxa de prevalência ao nascer média de 17,13.

Verificando a média por estado em ordem decrescente de incidência, temos: Rio Grande do Norte (28,5 a cada 10mil), Ceará (16,13 a cada 10mil), Pernambuco (15,03 a cada 10mil) e Paraíba (10,92 a cada 10mil), resultando numa média total de incidência de 17,64.

Para as taxas de prevalência, também em ordem decrescente, temos: Rio Grande do

Norte (24,5 a cada 10mil), Pernambuco (17,13 a cada 10mil), Ceará (15,3 a cada 10mil) e

Paraíba (8,41 a cada 10mil), resultando em uma média de 16,33 as cada 10mil.

As informações podem ser simplificadas conforme as tabelas e gráficos abaixo:

Tabela 1. Taxa de prevalência (a cada 10mil nascidos vivos) da toxoplasmose congênita em PB, CE, RN e PE (2025)

Estado	Paraíba	Pernambuco	Ceará	Rio Grande do Norte	Média
Taxa de Prevalência	8,41	17,13	15,3	24,5	16,33

Fonte: Elaboração própria, 2025. Dados para criação da tabela foram retirados do SINAN; Porta de Transparência – Registro Civil.

Tabela 2. Taxa de incidência (a cada 10mil pessoas) da toxoplasmose congênita em PB, RN, CE e PE (2020-2025)

	Paraíba	Ceará	Pernambuco	Rio Grande do Norte	Média Total
2020	7,7	10,6	7	24,5	12,45
2021	6,7	14,5	14,8	22,6	14,65
2022	7,8	15,3	13,2	26,9	15,8
2023	7,5	25,7	30	33,2	24,1
2024	12	17,6	25,2	38,2	20,17
2025 (entre Janeiro e Março)	23,8	13,1	30	25,6	23,12
Média por Estado	10,92	16,13	15,03	28,5	17,64

Fonte: Elaboração própria, 2025. Dados para criação da tabela foram retirados do SINAN; Porta de Transparência – Registro Civil.

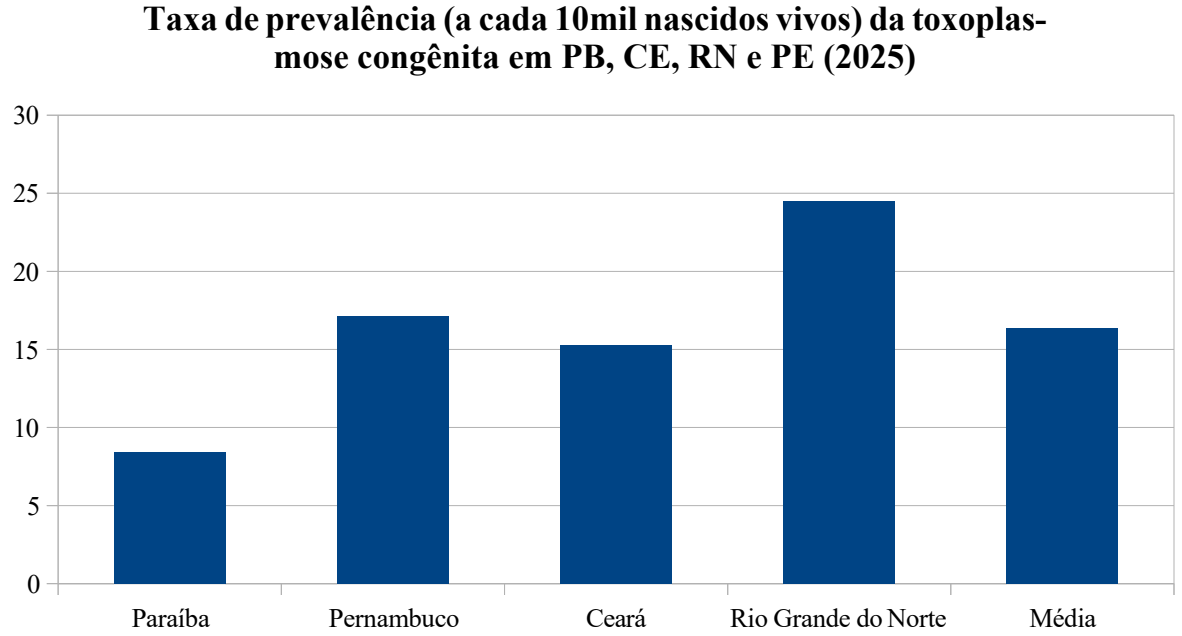


Figura 1. Taxa de Prevalência (a cada 10mil nascidos vivos) da Toxoplasmose Congênita em PB, RN, CE e PE (2025)

Fonte: Elaboração própria, 2025. Dados para elaboração do gráfico foram retirados do SINAN; Porta de Transparência – Registro Civil.

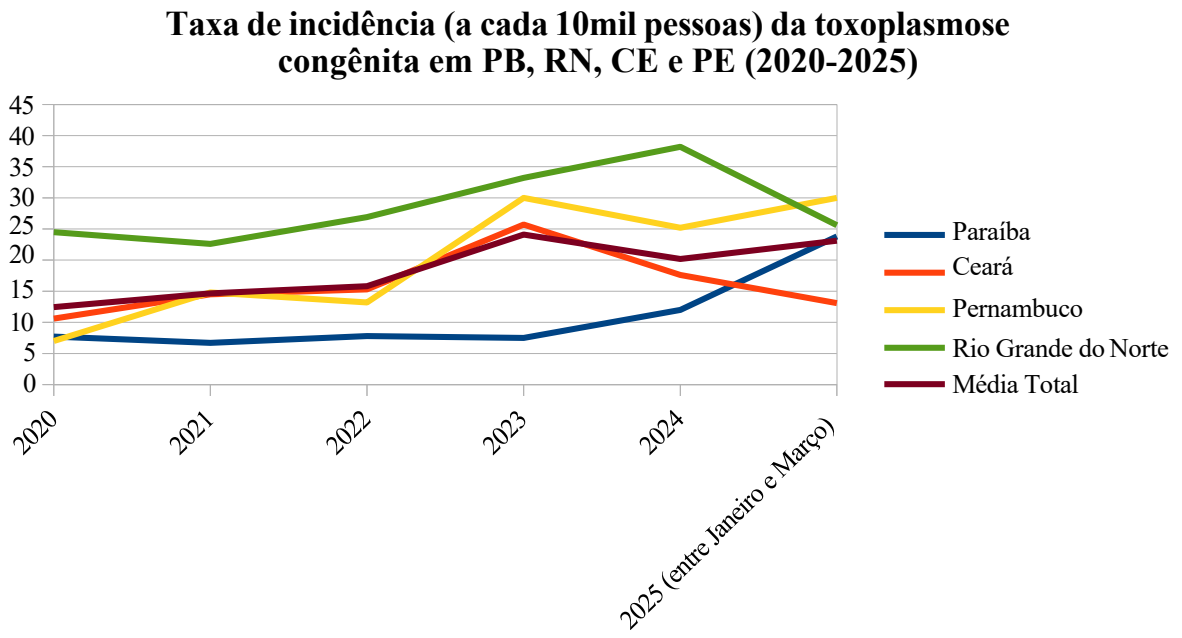


Figura 2. Taxa de Incidência (a cada 10mil indivíduos) da Toxoplasmose Congênita em PB, RN, CE e PE (2020-2025).

Fonte: Elaboração própria, 2025. Dados para criação do gráfico foram retirados do SINAN; Porta de Transparência – Registro Civil.

Percebe-se que a toxoplasmose, nos últimos cinco anos, tem apresentado uma tendência de crescimento no Estado da Paraíba e nos Estados vizinhos. Métodos de monitoramento do parasita *T. gondii* se fazem necessários para uma melhor análise estatística e uma correlação mais precisa. Atualmente, o sistema carece de dados sobre a doença, além de ser uma doença muitas vezes assintomática ou mal notificada. "*(...) falta de informações mais precisas a respeito do mapeamento de casos de TC no Nordeste brasileiro, ausência de rastreio da patologia em microrregiões do Nordeste.*" ; "*(...) diversos casos podem passar via subnotificação pelos serviços de saúde, pois a maioria dos casos se manifestam com sinais e sintomas inespecíficos para a enfermidade ou os pacientes apresentam quadros assintomáticos.*" (Coutinho de Melo et. al., 2024).

A partir desse estudo, percebemos que a toxoplasmose é uma doença bastante presente na região, em média, 16 a cada 10mil crianças nascem com toxoplasmose, de acordo

com os dados notificados. Não se tem acesso à quantidade de pessoas que sobreviveram à doença e vivem com sequela, novamente demonstrando uma falta de monitoramento da doença, o que dificulta sabermos com precisão o real impacto da doença na região estudada. Nos resta especular possíveis fatores relacionados ao aumento gradual dos casos nas regiões estudadas.

Fatores comumente associados ao parasita são:

-Má gestão das fezes felinas: um estudo feito em Guadalajara, México, apontou que 64,4% dos humanos que conviviam diariamente com gatos testaram soropositivos para anticorpos IgG anti-*toxoplasma* (Galván Ramírez et. al., 1999).

-Consumo de alimentos advindos de hortas orgânicas e mal lavados: um estudo feito no estado do Paraná, Brasil, apontou que 12,9% das amostras (água, solo e vegetais) coletadas em hortas orgânicas estavam contaminadas por *T. gondii*, e que em todas as hortas havia presença de pássaros selvagens e animais domésticos e em 23,8% das propriedades, estes tinham acesso direto à horta. (Ferreira et. al., 2018).

-O consumo de carne crua ou mal cozida contaminada: um estudo feito no estado do Rio de Janeiro mostrou que 21,2% dos frangos de abate e galinhas poedeiras das propriedades estudadas testaram positivo para *toxoplasma gondii*. (Millar et. al., 2012). Outro estudo feito no estado de Pernambuco sugere que "*... a toxoplasmose bovina é endêmica na área em estudo.*" (Guerra et. al., 2014), a pesquisa apontou que a taxa de prevalência da doença era de 16,63%.

Analisando os artigos selecionados, ficou clara a associação entre a contaminação por toxoplasmose e variáveis como convivência com felinos domésticos, ingestão de carnes cruas ou mal cozidas e ingestão de vegetais provenientes de hortas orgânicas e mal lavados. Ao associar esses fatores ao que vemos nos gráficos, temos que os números de casos aumentam à medida que esses fatores, ou ao menos algum deles, aumentam.

Além dos fatores de risco, é importante destacar o impacto da toxoplasmose congênita na saúde pública, já que pode causar sequelas neurológicas e oculares graves que exigem acompanhamento contínuo (Coutinho de Melo et al., 2024). No Nordeste, condições como saneamento precário e baixa cobertura de rastreamento pré-natal favorecem a manutenção da doença e contribuem para a subnotificação (Ferreira et al., 2018; Dubey, 2021). O aumento gradual das taxas observado neste estudo segue tendência apontada em pesquisas anteriores

(Prata et al., 2023), reforçando a necessidade de fortalecer a vigilância epidemiológica e a triagem sorológica em gestantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos cinco anos o número de casos notificados de toxoplasmose congênita vem crescendo de maneira gradual, porém a falta de dados disponíveis e de monitoramento do parasita, torna difícil e inviável uma análise de correlação estatística que represente a realidade epidemiológica da doença.

Monitorar regularmente a população de felinos domésticos, os produtos cultivados em hortas orgânicas, a qualidade da água de irrigação e realizar testes de identificação de parasitas em bovinos de abate, são ações que, em conjunto, tem o potencial para se obter dados mais precisos sobre a real situação da doença, bem como criar estratégias de combate ao parasita.

Conclui-se que a toxoplasmose congênita apresenta crescimento gradual nos estados analisados, o que confirma a relevância epidemiológica já apontada em outros estudos (Prata et al., 2023; Coutinho de Melo et al., 2024). A ausência de monitoramento adequado e a subnotificação decorrente da limitação de exames dificultam a avaliação real do problema (Dubey, 2021). Torna-se, portanto, essencial ampliar estratégias de vigilância epidemiológica e fortalecer o rastreamento pré-natal, especialmente em regiões com saneamento básico precário e maior vulnerabilidade social (Ferreira et al., 2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dubey, J. P. 2021. "Outbreaks of Clinical Toxoplasmosis in Humans: Five Decades of Personal Experience, Perspectives and Lessons Learned." *Parasites & Vectors* 14: 263. Recebido 13 Março 2021; aceito 3 Maio 2021; publicado 19 Maio 2021. https://doi.org/10.1186/s13071-021-04769-4.

Prata, Bruna de Jesus; Stefany Lima Prado; Geisy Menezes Nascimento; Gustavo Henrique de Santana Fontes; Ana Carla Ferreira Silva dos Santos; Letícia Maria de Araújo Ferreira; e Izabela Oliveira Araújo. 2023. "Análise da Incidência Epidemiológica de Toxoplasmose Congênita nas Regiões Brasileiras Durante os Anos de 2019 a 2022." *The Brazilian Journal of Infectious Diseases* 27 (2): 103498-8. https://doi.org/10.1016/j.bjid.2023.103498.

Coutinho de Melo, Lídia Eleticia Santos; Ingrid Letícia Torres Fabrício; Iury Lucas Bonifacio; João Emanoel Barros de Lima; Mateus Raian Ferreira Freire Fontes; Sabrina Pinheiro de Carvalho; e Deborah de Melo Magalhães Padilha. 2024. "Estudo epidemiológico de toxoplasmose congênita no Nordeste brasileiro." *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences* 6, no. 5: 876–86. https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n5p876-886.

Ferreira, Fernanda Pinto, Eloiza Teles Caldart, Roberta Lemos Freire, Regina Mitsuka-Breganó, Felipe Machado de Freitas, Ana Carolina Miura, Marcelle Mareze, Felippe Danyel Cardoso Martins, Mariana Ragassi Urbano, Adilson Luiz Seifert, e Italmar Teodorico Navarro. "The Effect of Water Source and Soil Supplementation on Parasite Contamination in Organic Vegetable Gardens." *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 27, no. 3 (2018): 423–31. https://doi.org/10.1590/S1984-296120180050.

Galván Ramírez, María de la Luz, Guillermo Sánchez Vargas, Marcos Vielma Sandoval, e Juan Luis Soto Mancilla. "Presence of Anti-Toxoplasma Antibodies in Humans and Their Cats in the Urban Zone of Guadalajara." *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 32, no. 5 (1999): 489–93. https://doi.org/10.1590/S0037-86821999000500003.

Guerra, Neurisvan Ramos, Bruno Henrique Leal e Silva Alves, Márcia Paula Oliveira Farias, Rinaldo Aparecido Mota, e Leucio Câmara Alves. "Frequency of *Toxoplasma gondii* Antibodies in Bovines in the State of Pernambuco, Brazil." *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 23, no. 1 (2014): 98–100. https://doi.org/10.1590/S1984-29612014001.

Millar, Patricia R., Fernanda M. X. Alves, Vinicius Q. Teixeira, Regiane T. Vicente, Eline M. Menezes, Leila G. Sobreiro, Virginia L. de Almeida Pereira, e Maria R. R. Amendoeira. "Occurrence of Infection with *Toxoplasma gondii* and Factors Associated with Transmission in Broiler Chickens and Laying Hens in Different Raising Systems." *Pesquisa Veterinária Brasileira* 32, no. 3 (2012): 231–36. https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012000300003.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116454

QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO NORDESTE BRASILEIRO: REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL NORDESTE DE BRASIL: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA INTEGRADORA

WATER QUALITY FOR HUMAN CONSUMPTION IN NORTHEAST BRAZIL: AN INTEGRATIVE LITERATURE REVIEW

Denilson Gualberto de Sousa[1]; Eryck Allan Alves Fernandes[2]; Sanara de Soua Ribeiro[3]; Lucelia Fernandes Diniz[4];

1. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: denilson16gualberto@gmail.com
2. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: eryckallan21@gmail.com
3. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: luceliafdiniz@gmail.com
4. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: souzasan72@gmail.com

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

Eje temático 10 – Salud pública y control de vectores
Relación entre la calidad del agua y las enfermedades transmitidas por el agua.

RESUMO

A água é um recurso essencial para as atividades humanas e o desenvolvimento dos seres vivos. O Nordeste brasileiro, e em particular o Semiárido, enfrenta desafios específicos relacionados à escassez hídrica e à qualidade da água. Essa região é caracterizada por um clima semiárido, com chuvas irregulares e uma alta taxa de evapotranspiração, o que dificulta a regularidade e a qualidade do abastecimento de água. Este estudo objetiva revisar bibliométricamente a literatura sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano na região Nordeste do Brasil. Os critérios de inclusão estabelecidos foram os artigos cuja conteúdo respondesse à pergunta norteadora: "Como a qualidade da água para consumo humano tem sido avaliada na região Nordeste do Brasil, e em que medida esses estudos seguem os padrões legais?", publicados entre 2020 e 2025, que estivessem disponíveis na íntegra. Foram utilizados termos de busca combinados nas bases CAPES, SciELO e PubMed, totalizando 16 artigos, após a seleção dos artigos, os seguintes dados bibliométricos foram extraídos de cada estudo: título, ano de publicação, Estado, objetivos, metodologias, parâmetros analisados, principais resultados e conclusão/limitações. Os estados com mais publicações foram Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. As fontes hídricas analisadas incluem poços artesianos, açudes, rios e alternativas como cisternas e chafarizes. Durante a análise dos artigos foram verificados os que apresentavam conformidade dos resultados de qualidade da água de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação vigente, os estudos abordaram, principalmente, parâmetros microbiológicos, físico-químicos e, em menor escala, organolépticos, dentre os 16 artigos sete estudos apresentaram resultados conformes com os padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, enquanto nove identificaram não conformidades em ao menos um parâmetro avaliado, evidenciando uma heterogeneidade preocupante nos serviços de abastecimento e monitoramento da água potável. Observa-se uma crescente atenção à temática, mas destaca-se a necessidade de pesquisas mais amplas, com metodologias padronizadas e foco na relação entre qualidade da água e vulnerabilidade social.

Palavras-chave: Fontes de Água Potável; Abastecimento de água; Sustentabilidade.

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para las actividades humanas y el desarrollo de los seres vivos. El Nordeste brasileño, y en particular la región Semiárida, enfrenta desafíos específicos relacionados con la escasez y la calidad del agua. Esta región se caracteriza por un clima semiárido, con precipitaciones irregulares y una alta tasa de evapotranspiración, lo que dificulta la regularidad y la calidad del suministro de agua. Este estudio busca realizar una revisión bibliométrica de la literatura sobre la calidad del agua destinada al consumo humano en la región Nordeste de Brasil. Los criterios de inclusión fueron artículos cuyo contenido respondiera a la pregunta guía: "¿Cómo se ha evaluado la calidad del agua para consumo humano en la región Nordeste de Brasil y en qué medida estos estudios cumplen con los estándares legales?", publicados entre 2020 y 2025, y disponibles en su totalidad. Se utilizaron términos de búsqueda combinados en las bases de datos CAPES, SciELO y PubMed, con un total de 16 artículos. Tras la selección de los artículos, se extrajeron los siguientes datos bibliométricos de cada estudio: título, año de publicación, estado, objetivos, metodologías, parámetros analizados, principales resultados y conclusiones/limitaciones. Los estados con más publicaciones fueron Ceará, Paraíba y Rio Grande do Norte. Las fuentes de agua analizadas incluyen pozos artesianos, presas, ríos y fuentes alternativas como cisternas y fuentes. Durante el análisis de los artículos, verificamos aquellos que presentaban resultados de calidad del agua de acuerdo con los estándares establecidos por la legislación vigente. Los estudios abordaron principalmente parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y, en menor medida, organolépticos. De los 16 artículos, siete estudios presentaron resultados de acuerdo con los estándares establecidos por la Ordenanza GM/MS n.º 888/2021, mientras que nueve identificaron no conformidades en al menos un parámetro evaluado, lo que destaca una preocupante heterogeneidad en los servicios de abastecimiento y monitoreo de agua potable. Existe una creciente atención al tema, pero se destaca la necesidad de una investigación más amplia con metodologías estandarizadas y un enfoque en la relación entre la calidad del agua y la vulnerabilidad social.

Palabras clave: Fuentes de agua potable; Suministrar; Sostenibilidad.

ABSTRACT

Water is an essential resource for human activities and the development of living beings. The Brazilian Northeast, and particularly the Semiarid region, faces specific challenges related to water scarcity and water quality. This region is characterized by a semiarid climate, with irregular rainfall and a high rate of evapotranspiration, which hinders the regularity and quality of the water supply. This study aims to conduct a bibliometric review of the literature on the quality of water intended for human consumption in the Northeast region of Brazil. The inclusion criteria were articles whose content answered the guiding question: "How has the quality of water for human consumption been assessed in the Northeast region of Brazil, and to what extent do these studies comply with legal standards?", published between 2020 and 2025, and available in full. Combined search terms were used in the CAPES, SciELO, and PubMed databases, totaling 16 articles. After article selection, the following bibliometric data were extracted from each study: title, year of publication, state, objectives, methodologies, parameters analyzed, main results, and conclusions/limitations. The states with the most publications were Ceará, Paraíba, and Rio Grande do Norte. The water sources analyzed include artesian wells, dams, rivers, and alternative sources such as cisterns and fountains. During the analysis of the articles, we verified those that presented water quality results in accordance with the standards established by current legislation. The studies primarily

addressed microbiological, physicochemical, and, to a lesser extent, organoleptic parameters. Of the 16 articles, seven studies presented results in accordance with the standards established by Ordinance GM/MS No. 888/2021, while nine identified nonconformities in at least one parameter evaluated, highlighting a worrying heterogeneity in drinking water supply and monitoring services. There is growing attention to the topic, but the need for broader research with standardized methodologies and a focus on the relationship between water quality and social vulnerability is highlighted.

Keywords: Drinking Water; Water Supply; Sustainability.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso necessário para as atividades humanas e desempenha um papel crucial no desenvolvimento de todos os seres vivos. Suas funções são diversas, incluindo o consumo, transporte, higiene, energia, lasers, bens de consumo, funcionamento de ecossistemas, agricultura e industrias (Santos; et al, 2022). Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) no mundo 97,5% são de águas salgadas sendo inadequadas para o uso direto, e 2,5% são de águas doces, sendo dividida entre geleiras (69%), águas subterrâneas (30%) e rios (1%). O Brasil possui cerca de 12% da água doce do mundo, além de ser caracterizado como um dos países com grande disponibilidade hídrica (Instituto Trata Brasil., 2018).

O Nordeste brasileiro, e em particular o Semiárido, enfrenta desafios específicos relacionados à escassez hídrica e à qualidade da água. Essa região é caracterizada por um clima semiárido, com chuvas irregulares e uma alta taxa de evapotranspiração, o que dificulta a regularidade e a qualidade do abastecimento de água (ANA, 2021). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), uma parcela significativa da população rural nordestina não tem acesso a sistemas públicos de abastecimento, sendo dependente de fontes alternativas, como cisternas e poços.

O acesso à água de boa qualidade ainda é um problema em muitas regiões do Brasil, principalmente na região Nordeste, onde fatores como a escassez hídrica, infraestrutura limitada e a desigualdade social influenciam diretamente a segurança hídrica da população gerando impactos negativos. Com isso, compreender como a qualidade da água tem sido avaliada na literatura científica é fundamental para identificar as fragilidades e avanços nas estratégias de monitoramento e controle. Neste contexto, o objetivo do presente estudo é revisar bibliométricamente a literatura sobre a qualidade da água de consumo na região Nordeste do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura. Foi realizada uma busca bibliográfica para construir a revisão bibliométrica combinando os termos de busca e consultando as bases de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), SciELO - Scientific Electronic Library Online e a PubMED. Os termos de busca foram combinados usando o operador booleano “AND” da seguinte forma: “qualidade da água” AND “consumo humano”.

Os critérios de inclusão estabelecidos foram os artigos cuja conteúdo respondesse à pergunta norteadora: “Como a qualidade da água para consumo humano tem sido avaliada na região Nordeste do Brasil, e em que medida esses estudos seguem os padrões legais?”, publicados entre 2020 e 2025, que estivessem disponíveis na íntegra, não havendo filtragem por idioma. O que resultou em 118 artigos na CAPES, 15 na SciELO e um na PubMED, recuperados em 06 de maio de 2025. Procedeu-se à seleção preliminar a partir da leitura dos títulos e/ou resumos, com aplicação dos critérios de seleção elencados, que totalizou 30 artigos para leitura completa, sendo esta etapa concluída por três revisores e resultou em um total de 16 artigos selecionados.

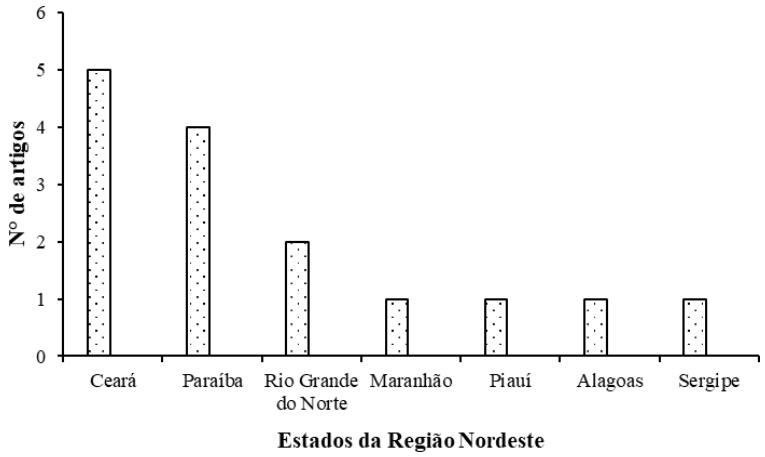
Após a seleção dos artigos, os seguintes dados bibliométricos foram extraídos de cada

estudo: título, ano de publicação, Estado, objetivos, parâmetros analisados, principais resultados e conclusão/limitações. Estes dados servirão de subsídio para a construção dos resultados da revisão, apresentados posteriormente de forma descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo realizou uma análise abrangente de 16 artigos científicos publicados entre os anos de 2020 e 2024. A distribuição das publicações evidencia uma concentração significativa em alguns estados, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição dos artigos científicos publicados entre os anos de 2020 e 2024 por estados da região Nordeste do Brasil.



Fonte: Autores da pesquisa, 2025.

Essa distribuição desigual revela uma tendência de concentração dos esforços científicos em áreas historicamente afetadas pela escassez hídrica e por vulnerabilidades socioambientais, como ocorre em diversas regiões semiáridas do Ceará e da Paraíba. A qualidade da água assume papel central não apenas para o abastecimento humano, mas também para a manutenção das atividades agrícolas e pecuárias que sustentam as economias locais. Alguns dos estudos analisados abordaram a contaminação por nitratos e coliformes fecais em poços utilizados para consumo doméstico, enquanto outros avaliaram os impactos do uso de agrotóxicos e efluentes urbanos sobre mananciais superficiais. Os artigos selecionados foram sistematicamente organizados e sintetizados em tabela e figuras apresentadas nas seções subsequentes, de modo a facilitar a visualização comparativa dos principais parâmetros e resultados obtidos por cada pesquisa.

Tabela 1- Caracterização dos estudos analisados quanto aos parâmetros analisados e ano de publicação.

Código	Título do artigo	Parâmetros	Ano
1	Microbiologia ambiental: monitoramento bacteriológico da água de um poço artesiano localizado no "sítio Bagaceira" em Areia-PB	coliformes totais, coliformes termotolerantes, E.coli e bactérias heterotróficas.	2020
2	Avaliação da qualidade microbiológica de água subterrânea proveniente de poços da região metropolitana de Fortaleza, Ceará.	coliformes termotolerantes	2020

3	Análise microbiológica da água bebida pela comunidade duas cachoeiras, Povoado Vila Real, Barra do Corda-Maranhão.	pH, *E. coli, E. cloacae* e Coliforme totais	2020
4	Características físico-químicas e microbiológicas da água transportada ao longo do canal do sertão alagoano.	cor, cloretos, nitrato, amônia, DBO e coliformes termotolerantes.	2020
5	Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio, Piauí	Oxigênio dissolvido, Temperatura, termoto lerantes, pH, DBO, Nitrogênio total, Fósforo total, Turbidez e Resíduo total.	2020
6	Qualidade microbiológica de águas de fontes alternativas de abastecimento do Seridó (RN)	Presença de coliformes totais, termotolerantes e E.coli (EC)	2020
7	Qualidade da água consumida por uma comunidade rural na região do Sertão Central, Ceará	Odor, Cor, Ferro total e dissolvido, Sulfato, amônia, Turbidez, pH, Condutividade, Sólidos totais dissolvidos, Sódio, Potássio, Alcalinidade, Cloretos, Dureza total, cálcica e magnesiana.	2021
8	Caracterização físico-química e microbiológica da água de abastecimento das escolas públicas municipais de nossa senhora da glória – SE	pH, turbidez, Cloro Residual Livre, coliformes totais, coliformes termotolerantes e E. Coli.	2021
9	Avaliação da qualidade da água para abastecimento humano do Assentamento 10 de abril, Crato (CE) e sistema integrado de Saneamento Rural da Bacia do Salgado	Turbidez, Cor, pH, Dureza, Condutividade, Cloretos, Nitrito, Amônia, Alumínio, Fluoreto, Manganês, Ferro total e E. Coli.	2021
10	Caracterização físico-química da água de poços artesianos no município de Patos/PB	pH, Turbidez, Condutividade e alcalinidade.	2021
11	Qualidade da água de abastecimento e fatores de risco à saúde na comunidade de Maria Jape em Ilhéus, Bahia.	Cor, pH, Dureza, Turbidez, Ferro, Cloretos, Nitrato, Nitrito, Sulfato e Amônia.	2022
12	Análise da qualidade da água nos aquíferos aluviais da bacia Riacho do Tigre – PB.	pH, condutividade, temperatura, sólidos totais dissolvidos e salinidade.	2023

13	Caracterização qualitativa da água subterrânea da microbacia hidrográfica do Rio Saco Lobo.	Turbidez, OD, nitrogênio, amoniacal, fósforo, DBO e Condutividade Elétrica.	2023
14	Avaliação da qualidade da água do Sistema de Abastecimento de um município cearense.	Coliformes Totais (CT), Escherichia coli e turbidez.	2023
15	Qualidade físico-química entre sistema de tratamento de água e áreas de vulnerabilidade	pH, condutividade, dureza total, cálcio, magnésio, cloreto, salinidade, sódio e potássio.	2024
16	Mapeamento físico-químico das águas subterrâneas: um estudo no município de Montadas - Paraíba.	pH, condutividade elétrica, turbidez, dureza, cloreto, ferro, nitrato, sólidos totais dissolvidos (STD) e E. coli.	2024

Fonte: Autores da pesquisa, 2025.

Dentre os parâmetros microbiológicos avaliados nos estudos, os mais frequentemente relatados foram coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, identificados em 12 dos 16 trabalhos revisados (75%). Esses microrganismos são amplamente utilizados como indicadores de contaminação fecal e da eficiência dos processos de tratamento ou proteção das fontes hídricas, refletindo diretamente a qualidade sanitária da água destinada ao consumo humano. A presença desses indicadores demonstra uma preocupação constante de pesquisadores e órgãos de vigilância em assegurar a potabilidade da água, uma vez que sua detecção pode sinalizar a existência de patógenos capazes de causar surtos de doenças de veiculação hídrica. De acordo com as diretrizes do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental (Brasil, 2018), a água considerada segura deve estar livre de microrganismos patogênicos e de substâncias químicas em concentrações que representem risco à saúde pública.

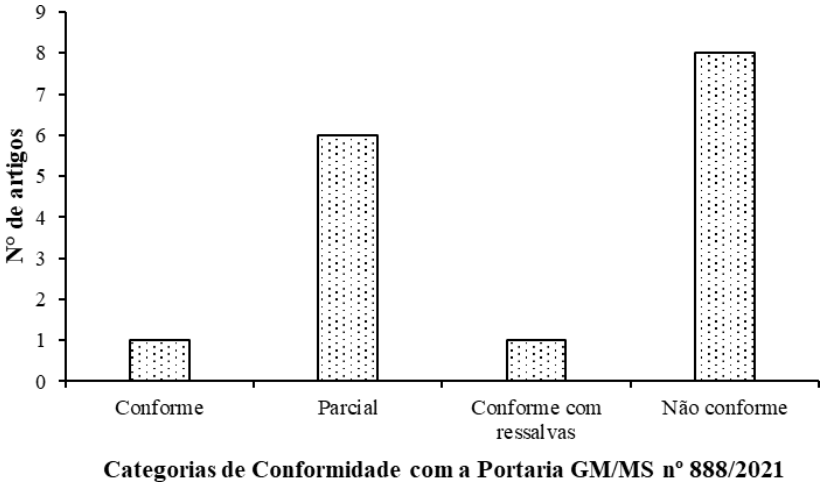
A análise integrada dos estudos indica que a qualidade microbiológica da água subterrânea e de poços artesianos em áreas rurais e semiáridas do Nordeste brasileiro apresenta grande variabilidade, frequentemente inferior aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, o que evidencia deficiências nas práticas de manejo e proteção dessas fontes. Além disso, os resultados físico-químicos revelaram desvios em parâmetros como turbidez, cor e pH, os quais, embora em alguns locais permaneçam dentro dos limites aceitáveis, em outros sugerem contaminação por matéria orgânica e interferências ambientais significativas. Em regiões com forte influência antrópica, caracterizadas pela presença de lixões, ausência de sistemas de esgotamento sanitário adequados e descarte irregular de resíduos sólidos, observou-se um aumento da condutividade elétrica e dos sólidos dissolvidos totais, indicando possível infiltração de efluentes domésticos e agrícolas nos aquíferos. Esse cenário reforça a necessidade de monitoramento contínuo e adoção de políticas públicas de saneamento básico voltadas à proteção das águas subterrâneas, especialmente em comunidades vulneráveis (SILVA et al., 2022; LIRA; SOARES, 2021).

Dos 16 estudos avaliados, apenas um apresentou resultados totalmente conformes com os limites estabelecidos pela referida portaria. Em contrapartida, oito estudos identificaram não conformidades em pelo menos um dos parâmetros analisados, enquanto outros seis apresentaram conformidade parcial, revelando variações significativas na adequação dos indicadores de qualidade. Um dos estudos foi considerado conforme, porém com ressalvas, sugerindo a necessidade de atenção a determinados aspectos específicos. Esses resultados evidenciam uma heterogeneidade preocupante nos serviços de abastecimento e monitoramento

da água potável, indicando que, embora existam avanços, ainda há inconsistências que podem comprometer a segurança hídrica e a saúde pública.

A Figura 2 destaca os padrões observados, sendo classificados como conformes, parcial, conformes com ressalvas e não conformes seguindo as recomendações da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Figura 2: Categoria de conformidades



Fonte: autores da pesquisa, 2025.

Portanto, o estudo apresentou divergências entre as categorias analisadas, apontando possíveis inconsistências metodológicas ou variações sazonais que podem ter influenciado os resultados. Essa diversidade de achados evidencia uma heterogeneidade preocupante na qualidade dos serviços de abastecimento e monitoramento da água potável no país, sugerindo a necessidade de políticas públicas mais eficazes e de uma fiscalização contínua para garantir a segurança hídrica da população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, embora que os estudos revelem uma atenção crescente à qualidade da água em áreas rurais e periféricas, permanecem lacunas importantes, como a escassez de investigações longitudinais, a ausência de correlação com indicadores epidemiológicos de saúde pública e a limitação na avaliação de contaminantes emergentes. A comparação entre os estudos evidencia um cenário de desigualdade estrutural no acesso à água potável de qualidade. Enquanto algumas regiões conseguem manter os parâmetros dentro do exigido, outras enfrentam desafios complexos que comprometem o direito humano à água segura. Recomenda-se, portanto, o desenvolvimento de estudos mais abrangentes, com metodologias padronizadas e foco na relação entre qualidade da água e vulnerabilidade social.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. Panorama do Saneamento no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/saneamento-basico-no-brasil/panorama-do-saneamento-no-brasil-1>. Acesso em: 24 de abril de 2025.

BARBOSA, Elizabeth Feliciano; SILVEIRA, Pedro Lucas Nunes da; SILVA FILHO, Edmilson Dantas da; SILVA, Aldeni Barbosa da; GONZAGA, Francisco de Assis da Silveira; GUERRA, Avaetê de Lunetta e Rodrigues;

DANTAS, Geraldo da Mota; BERTOLDO, Gislayne Sabrina de Lira. Mapeamento físico-químico das águas subterrâneas: um estudo no município de Montadas - Paraíba. Revista Di@logus, Cruz Alta, v. 13, n. 2, p. 119-136, maio/ago. 2024. DOI: https://doi.org/10.33053/dialogus.v13i2.1264.

BEZERRA, Antonia Diana Alves; ARAUJO, Raianna de Oliveira; ARAÚJO, Francisco Gabriel Dias Mota; NOGUEIRA, Elcivania Rodrigues; BRANDÃO, Maíra Gadelha Alves; PANTOJA, Lydia Dayanne Maia. Avaliação da qualidade microbiológica de água subterrânea proveniente de poços da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. Conexões – Ciência e Tecnologia, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 80–85, abr. 2020. DOI: https://doi.org/10.21439/conexoes.v14i2.1288.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Qualidade da água para consumo humano: cartilha para promoção e proteção da saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/qualidade_agua_promocao_protecao_saude.pdf. Acesso em: 06 de maio 2025.

COSTA, Celme Torres Ferreira da; LOPES, Maísa de Calda; VIEIRA, Vanessa Coelho; MORGADO, Luiz Gustavo Menezes; TAVARES, Paulo Roberto Lacerda. Caracterização qualitativa da água subterrânea da microbacia hidrográfica do Rio Saco Lobo através do índice relativo de qualidade (IRQ). Revista Observatorio de la Economia Latinoamericana, Curitiba, v. 21, n. 10, p. 16079-16093, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n10-085.

LOIOLA, Nilson dos Santos; COSTA SOBRINHO, Mayara Letícia. Análise microbiológica da água bebida pela comunidade Duas Cachoeiras, Povoado Vila Real, Barra do Corda-Maranhão. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 4, p. 441–449, jun./jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0037.

LUSTOSA, Rômulo Vargas; IWATA, Bruna de Freitas; BEMBEM, Anaian Antunes; LIMA, Temístocles Pacheco; SOUZA, Ítalo Rômulo Mendes de; SALOMÃO, Leandro Caixeta. Qualidade de água para consumo humano em Riacho Frio, Piauí. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 5, p. 600–611, ago./set. 2020. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0054.

MACIEL, Jéssica Bezerra; COSTA, Hudson Pimentel; COSTA, Danielle Rabelo; MATTOS, Sérgio Horta; FERREIRA, Francisco Glauber Peixoto; PINTO, Olienaide Ribeiro de Oliveira; RIBEIRO, Lívia Paulia Dias; ALCÓCER, Juan Carlos Alvarado. Qualidade da água consumida por uma comunidade rural na região do Sertão Central, Ceará. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 2, p. 317–327, fev. 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0029.

MEDEIROS, Isandra de França; COELHO, Raquel Macedo Dantas; FÉLIX, Isângela Adrielly de Medeiros; LEITE, Antônio Iranaldo Nunes; VIEIRA, Francisca Jussandra Alves; ARAÚJO, Ana Luiza Silva de. Qualidade microbiológica de

águas de fontes alternativas de abastecimento do Seridó (RN). Revista Brasileira de Gestão Ambiental, Pombal, PB, v. 14, n. 1, p. 139–142, jan./mar. 2020. ISSN 2317-3122.

REIS, Fabio Antônio da Silva; AMADO, Franco Dani Rico; BENVENUTI, Tatiane. Qualidade da água de abastecimento e fatores de risco à saúde na comunidade de Maria Jape em Ilhéus, Bahia. Revista Principia, João Pessoa, v. 60, n. 1, p. 326-347, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6213.

SANTOS, G. S.; PAES, T. A. S. V.; PESSOA, T. B. A. Qualidade da água de consumo de comunidades rurais do Vale do Jiquiriçá (Bahia): análise microbiológica e percepção dos indivíduos. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 11, n. 2, 2023.

SILVA, Iris Pedrosa; VASCONCELOS, Marina Pereira de; COSTA, Tereza Emanuelle da Silva. Avaliação da qualidade da água do sistema de abastecimento de um município cearense. Cadernos ESP, Fortaleza, v. 17, p. e1705, 2023. DOI: https://doi.org/10.1808-7329.cadesp.v17i1.1705.

SOUSA, Raissa Menezes de; SILVA, Giselly Ramalho da; SILVA, Brenda Kirsia de Sousa; SANTOS, Laercio Leal dos; SILVA JÚNIOR, Valdeci Mestre da. Caracterização físico-química da água de poços artesianos no município de Patos/PB. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 8, p. 82116- 82122, ago. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116479

QUALIDADE E COBERTURA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ALAGOINHAS/BA: IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE PÚBLICA

CALIDAD Y COBERTURA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ALAGOINHAS/BA: IMPLICACIONES PARA LA SALUD PÚBLICA

QUALITY AND COVERAGE OF WATER SUPPLY IN ALAGOINHAS/BA: IMPLICATIONS FOR PUBLIC HEALTH

Elisiane Dantas[1], Natiele Souza[2], Luísa Magalhães[3]

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Alagoinhas/BA, Brasil, elisianedantas@gmail.com, nº de ORCID 0009-0009-9307-4511;
2Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Alagoinhas/BA, Brasil, natiele_ass@hotmail.com, nº de ORCID 0009-0009-1498-9861;
3Mestra em Meio Ambiente, Águas e Saneamento – UFBA, Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Alagoinhas/BA, Brasil, luisaaraujo@uneb.br, nº de ORCID 0000-0003-0494-4386.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e controle de vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica

RESUMO

O abastecimento de água é fundamental para a promoção da saúde pública e para a garantia da qualidade de vida, sendo considerado um direito humano essencial. No município de Alagoinhas, situado no Leste da Bahia, essa questão se torna ainda mais relevante em virtude da localização sobre um aquífero estratégico que, historicamente, sustenta a região. O presente estudo tem como objetivo avaliar a cobertura e a qualidade do abastecimento de água, associando esses aspectos a indicadores de saúde pública. Para tanto, foram utilizados dados provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde nos anos de referência de 2016 a 2021 e uso de referências bibliográficas especializadas. Os resultados apontam que, apesar de o município apresentar índices de cobertura superiores à média nacional, ainda persistem desigualdades no acesso, principalmente em áreas rurais e periféricas, onde a população recorre a fontes alternativas como poços e nascentes. Esses fatores, aliados à ocorrência de doenças de veiculação hídrica, reforçam a necessidade de políticas públicas integradas entre saneamento e saúde. Conclui-se que, embora Alagoinhas disponha de infraestrutura consolidada, os desafios relacionados à equidade no fornecimento e à continuidade do serviço permanecem. Dessa forma, este trabalho busca contribuir para o fortalecimento do debate técnico e acadêmico sobre a importância da universalização do acesso à água potável como elemento central para a saúde coletiva e para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Saneamento básico, Políticas públicas, Saúde pública, Abastecimento de

água

RESÚMEN

El abastecimiento de agua es fundamental para la promoción de la salud pública y para garantizar la calidad de vida, siendo considerado un derecho humano esencial. En el municipio de Alagoinhas, ubicado en el este de Bahía, esta cuestión adquiere mayor relevancia debido a su localización sobre un acuífero estratégico que históricamente ha sustentado la región. El presente estudio tiene como objetivo evaluar la cobertura y la calidad del abastecimiento de agua, relacionando estos aspectos con indicadores de salud pública. Para ello, se utilizaron datos del Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento (SNIS), del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), del Departamento de Informática del Sistema Único de Salud (DATASUS) y de bibliografía especializada. Los resultados señalan que, aunque el municipio presenta índices de cobertura superiores al promedio nacional, persisten desigualdades en el acceso, especialmente en áreas rurales y periféricas, donde la población depende de fuentes alternativas como pozos y manantiales. Estos factores, sumados a la ocurrencia de enfermedades de transmisión hídrica, refuerzan la necesidad de políticas públicas integradas entre saneamiento y salud. Se concluye que, a pesar de que Alagoinhas dispone de una infraestructura consolidada, los desafíos relacionados con la equidad en el suministro y la continuidad del servicio permanecen. De este modo, este trabajo busca contribuir al fortalecimiento del debate técnico y académico sobre la importancia de la universalización del acceso al agua potable como elemento central para la salud colectiva y el desarrollo sostenible.

Palabras clave: Saneamiento básico, Políticas públicas, Salud pública, Abastecimiento de agua

ABSTRACT

Water supply is essential for promoting public health and ensuring quality of life, being recognized as a fundamental human right. In the municipality of Alagoinhas, located in eastern Bahia, this issue becomes even more relevant due to its location over a strategic aquifer that has historically sustained the region. This study aims to evaluate the coverage and quality of water supply, relating these aspects to public health indicators. For this purpose, data were collected from the National Sanitation Information System (SNIS), the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the Department of Informatics of the Unified Health System (DATASUS), as well as specialized literature. The results indicate that, although the municipality presents coverage rates above the national average, inequalities in access still persist, especially in rural and peripheral areas where the population relies on alternative sources such as wells and springs. These factors, combined with the occurrence of waterborne diseases, highlight the need for integrated public policies between sanitation and health sectors. It is concluded that, although Alagoinhas has a consolidated infrastructure, challenges related to equity in supply and service continuity remain. Thus, this study seeks to contribute to strengthening the technical and academic debate on the importance of universalizing access to safe drinking water as a central element for collective health and sustainable development.

Keywords: Basic sanitation, Public policies, Public health, Water supply

INTRODUÇÃO

A água possui papel crucial para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento da sociedade (Pereira 2024). Segundo Heller (2010) e Bárta (2021), o acesso à água potável, segura e suficiente para consumo, cocção e higiene pessoal constitui um direito humano fundamental. No entanto, esse direito ainda não é universal: a Organização Mundial da Saúde e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (OMS/UNICEF) estimam que 2,1 bilhões de pessoas no mundo carecem de serviços de água potável, e cerca de 4,2 bilhões não dispõem de serviços de esgotamento sanitário gerenciados de forma segura (WHO/UNICEF 2018). Essa situação é ainda mais crítica em comunidades rurais e em condições de vulnerabilidade social (Figueiredo, 2016).

De acordo com a legislação brasileira, o abastecimento de água é reconhecido como um serviço essencial à vida e compõe o saneamento básico (Brasil 2020). De acordo com a Lei n° 11.445/2007, atualizada pela Lei n° 14.026/2020, o abastecimento de água potável compreende as atividades, a disponibilização e a manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao fornecimento público, desde a captação até as ligações prediais e instrumentos de medição (Brasil 2007).

O objetivo deste trabalho é avaliar a cobertura e a qualidade do abastecimento de água, associando esses aspectos a indicadores de saúde pública. O principal resultado desse trabalho foi a estudar dois importantes indicadores e verificar se estão acompanhando o crescimento populacional. Assim, seria possível gerar alertas em relação a saúde pública: o baixo atendimento da rede abastecimento em áreas rurais e a morbidade por água inadequada para consumo.

Este trabalho buscou trazer contribuições, à luz da sociedade, no sentido de observar a necessidade de avaliações mais focadas nas regiões de baixo atendimento do sistema de abastecimento de água municipal, bem como chamar atenção ao cuidado com o fornecimento da água subterrânea.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram utilizadas bases de dados provenientes de órgãos oficiais e institucionais de abrangência nacional. As informações referentes à cobertura do abastecimento de água foram obtidas no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

(SNIS), coordenado pelo Ministério das Cidades, o qual constitui o principal repositório público de indicadores de saneamento básico no Brasil (SNIS 2023).

Os dados populacionais, socioeconômicos e de distribuição territorial do município foram extraídos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que fornece estatísticas atualizadas de demografia e infraestrutura urbana. Para a análise da interface entre saneamento e saúde pública, foram utilizados registros do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), que disponibiliza indicadores de morbidade e internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica e relacionadas à deficiência de serviços de saneamento (DATASUS 2023).

Complementarmente, realizou-se uma revisão em artigos científicos e materiais acadêmicos disponíveis em periódicos nacionais e internacionais, de forma a contextualizar os impactos do abastecimento de água e das doenças de veiculação hídrica em áreas urbanas e semiurbanas do Brasil, permitindo a correlação com a realidade de Alagoinhas. Esse procedimento buscou fundamentar a discussão com referenciais metodológicos prévios, assegurando consistência às análises realizadas (Guedes 2023; Silva 2019).

A metodologia consistiu na compilação, organização e análise estatística dos dados, correlacionando índices de cobertura do abastecimento, doenças de veiculação hídrica registradas pelo DATASUS e variáveis demográficas do IBGE. As informações foram estruturadas em planilhas comparativas referentes aos anos de 2016 a 2021, abrangendo o período de expansão territorial do município e a pandemia de Covid-19. Por fim, realizou-se a interpretação crítica dos resultados, destacando avanços e desafios na gestão do abastecimento de água em Alagoinhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área em estudo corresponde ao município de Alagoinhas, localizado no Leste da Bahia, com área de 734 km², população estimada em 160.662 habitantes (IBGE 2024), é reconhecido pela disponibilidade de água subterrânea de alta qualidade, proveniente de um aquífero estratégico, que historicamente sustenta o abastecimento local e regional (Tourinho 2010; Nunes 2018).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Alagoinhas/BA.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Nesta seção apresentamos os resultados principais das medições realizadas. A análise demográfica do município de Alagoinhas (Figura 2) demonstra relativa estabilidade populacional entre 2016 e 2021, variando de 150.832 a 155.979 habitantes. Essa oscilação, embora discreta, tem impactos diretos na pressão sobre os serviços de abastecimento de água, exigindo constante monitoramento e expansão da rede para atender adequadamente à população em crescimento.

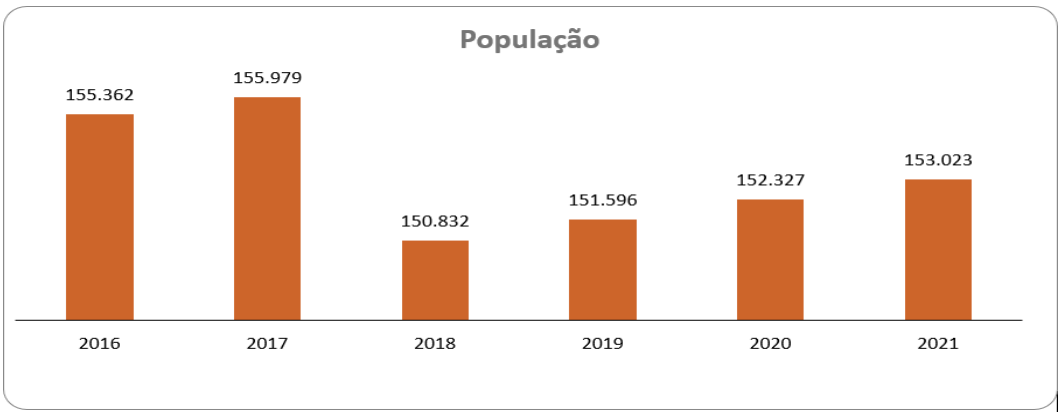


Figura 2. Análise demográfica do município de Alagoinhas/BA.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do IBGE (2022).

Observa-se que não foram encontrados dados de todos os anos de referência para análise de atendimento do sistema de água, o que indica irregularidade na alimentação do banco de dados do SNIS. Nota-se que a população atendida apresentou ligeira redução no período,

com destaque para a queda registrada em 2020 (Figura 3), o que pode estar associado tanto a fatores operacionais quanto à vulnerabilidade de determinados grupos sociais em áreas periféricas com fatores como a pandemia de *Covid-19*.

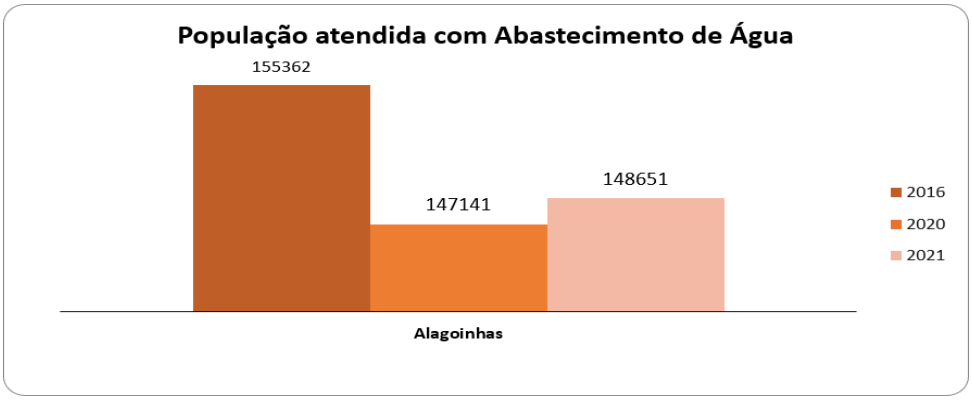


Figura 3. População atendida com abastecimento de água.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados obtidos no SNIS (2022).

No que tange ao perfil de morbidade hospitalar (Figura 4), é notório o aumento expressivo das internações por doenças infecciosas e parasitárias a partir de 2019, atingindo 743 registros em 2021. Tal indicador sugere a existência de fragilidades na relação entre oferta, qualidade da água e condições de saneamento. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 80% das doenças nos países em desenvolvimento estão associadas ao consumo de água contaminada e à precariedade de sistemas de esgotamento sanitário, reforçando o nexo entre saúde e gestão hídrica (WHO 2019).

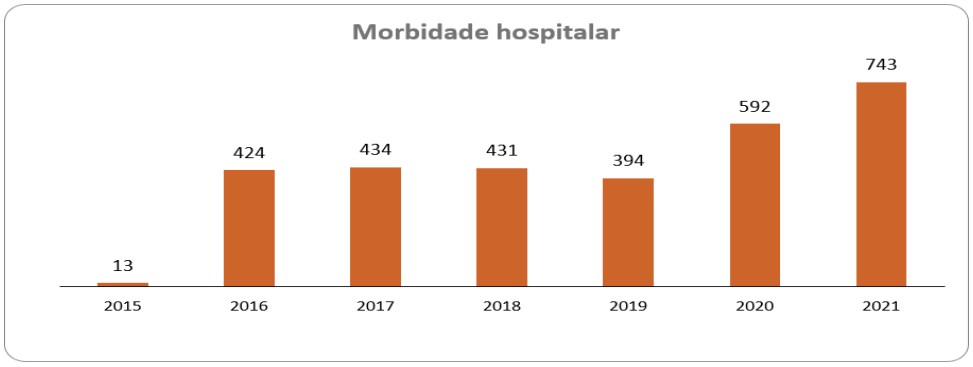


Figura 4 – Dados de morbidade hospitalar no município de Alagoinhas/BA.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados obtidos no DATASUS (2022).

A distribuição dos tipos de abastecimento de água em Alagoinhas (Figura 5) revela a predominância da rede geral, serviço prestado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), que atendia, em 2021, 91,64% dos domicílios. Contudo, a parcela que depende de

soluções alternativas, como poços, nascentes e carros-pipa (cerca de 8,3%), representa um contingente significativo de exposição a riscos, sobretudo em regiões periféricas ou rurais, onde a fiscalização e o monitoramento da qualidade da água são menos efetivos. Estudos apontam que a utilização de fontes alternativas sem tratamento adequado aumenta a incidência de doenças de veiculação hídrica, como diarreia, hepatite A e parasitoses intestinais (Silva 2021).

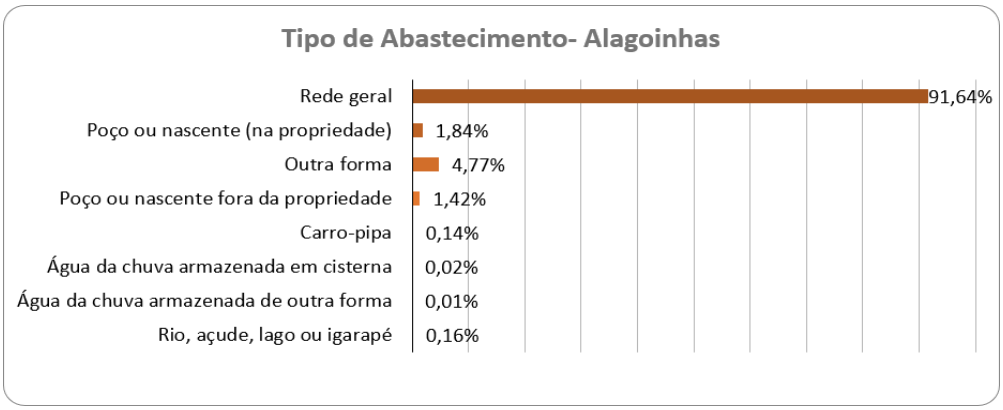


Figura 5. Tipos de abastecimento no município de Alagoinhas/BA.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados obtidos no SNIS (2022).

O município de Alagoinhas utiliza como fonte de abastecimento de água, manancial subterrâneo. Assim, o SAAE, capta a água e adota tecnologias consolidadas para seu tratamento, como desinfecção por cloro e ozônio, correção de pH com cal e adição de flúor. Ademais, para garantir segurança no consumo da água distribuída, são realizadas análises laboratoriais diárias, conforme preconiza a Portaria n°888/2021 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Portaria GM/MS nº 888/2021).

Todavia, os dados de morbidade hospitalar indicam que os desafios não se restringem à qualidade da água distribuída, mas também à cobertura e à equidade do acesso. O descompasso entre a elevada cobertura da rede e a persistência de agravos relacionados à água pode estar associado a perdas na distribuição, irregularidades no fornecimento e à vulnerabilidade de comunidades que ainda recorrem a fontes alternativas (Silva 2022).

Assim, é possível afirmar que, embora o município disponha de infraestrutura robusta e de reconhecida qualidade da água subterrânea, a garantia plena da saúde pública depende de políticas integradas que fortaleçam a universalização do abastecimento, o monitoramento contínuo da qualidade da água em diferentes pontos da rede e o investimento em educação

sanitária para a população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do abastecimento de água em Alagoinhas–BA mostra que, apesar de mais de 90% dos domicílios serem atendidos pela rede pública com tratamento assegurado, persistem desafios de equidade no acesso, sobretudo em áreas rurais e periféricas dependentes de fontes alternativas. Os dados de morbidade hospitalar confirmam essa vulnerabilidade, com aumento de internações por doenças infecciosas e parasitárias, evidenciando que a qualidade da água não depende apenas do tratamento, mas também da cobertura e continuidade do serviço. O estudo reforça a importância de integrar políticas de abastecimento e monitoramento epidemiológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bárta, Renata Linassi, José Antônio Gozalez da Silva, Carla Regina Daronco, Carolina Pretto, Eniva Miladi Fernandes Stumm, e Christiane de Fátima Colet. 2021. "Qualidade da água para consumo humano no Brasil: revisão integrativa da literatura." *Vigilância Sanitária em Debate* 9 (4): 74–85. https://doi.org/10.22239/2317-269X.01822.

Brasil. 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília: Brasil. 2007. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.* Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm.

Brasil. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Altera o marco legal do saneamento básico e dispõe sobre serviços públicos de saneamento.* Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm.

Brasil. Ministério da Saúde. 2021. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.* Brasília: Diário Oficial da União. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html.

Departamento de Informática do SUS (DATASUS). s.d. *Informações de Saúde.* Accessed September 2025. https://datasus.saude.gov.br.

Guedes, Walef Pena, Cibele Roberta Sugahara, Denise Helena Lombardo Ferreira, e Bruna Angela Branchi. 2023. "*Indicadores de saneamento básico: uma aplicação da Análise*

Fatorial para os municípios das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.” Interações (Campo Grande) 24 (1): 261-179. https://doi.org/10.20435/inter.v24i1.3722.

Heller, Léo, and Valter Lúcio de Pádua, orgs. 2010. *Abastecimento de água para consumo humano.* 2. ed. rev. e atualizada, vol. 2. Belo Horizonte: Editora UFMG. https://archive.org/details/heller-epa-dua-abastecimento-de-agua-para-consumo-humano-volume-2.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022 *Cidades e Estados: Alagoinhas.* Accessed September 2025. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/alagoinhas.html.

Nunes, Elizabete Almeida, Élvia Fadul, e Lucas Santos Cerqueira. 2018. “Governança das águas na Bahia: uma avaliação da participação social no Comitê de Bacia do Recôncavo Norte e Inhambupe.” *Revista de Desenvolvimento Econômico* 1 (39). https://doi.org/10.21452/rde.v2i40.5440.

ONU News. 2010. "Assembleia Geral aprova acesso à água como direito humano." https://news.un.org/pt/story/2010/07/1350671.

Silva, R. T., A. C. Ferreira, e J. P. Oliveira. 2021. “Doenças de veiculação hídrica no Brasil: desafios para o saneamento e a saúde pública.” *Revista Brasileira de Epidemiologia* 24 (1): 1–12. https://doi.org/10.1590/1980-549720210001.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). s.d. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos.* Accessed September 2025. http://www.snis.gov.br.

Tourinho, A. de O., e Magda Beretta. 2010. “Investigação da qualidade da água subterrânea utilizando as fontes naturais da cidade de Salvador.” *Águas Subterrâneas* 24 (1). https://doi.org/10.14295/ras.v24i1.19565.

Vieira, José Manuel Pereira. 2018. *Água e Saúde Pública.* Lisboa: Edições Sílabo. https://static.fnac-static.com/multimedia/PT/pdf/9789726189695.pdf.

World Health Organization (WHO). 2019. *Drinking Water.* Geneva: World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water.

WHO/UNICEF. 2018. *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2000–2017: Special Focus on Inequalities.* https://washdata.org/sites/default/files/documents/reports/2018-01/JMP-2017-report-final.pdf

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116534

RELAÇÃO ENTRE A DEFICIÊNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO E À SAÚDE PÚBLICA EM BELO JARDIM-PE

RELACIÓN ENTRE LA DEFICIENCIA DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y LA SALUD PÚBLICA EN BELO JARDIM-PE

RELATION BETWEEN SEWAGE SYSTEM DEFICIENCY AND PUBLIC HEALTH IN BELO JARDIM-PE

Thaise de Souza Santos[1], Thamires Carolayne Cavalcanti Moura [2], Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves[3] e Anderson Luiz Ribeiro de Paiva[4].

[1]Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, thaise.santos@ufpe.br, 0009-0004-4009-8249;
[2]Doutoranda, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, thamires.cavalcanti@ufpe.br, 0000-0003-4762-3849;
[3]Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, elizabeth.goncalve@ufpe.br, 0000-0003-1586-1375;
[4]Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br, 0000-0003-3475-1454.

Eixo Temático 10 – Saúde pública e controle de vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

Eje temático 10 – Salud pública y control de vectores
Relación entre la calidad del agua y las enfermedades transmitidas por el agua

Thematic Axis 10 – Public Health and Vector Control
Relationship between Water Quality and Waterborne Diseases

RESUMO

O saneamento básico é um dos pilares da saúde pública e da sustentabilidade ambiental, abrangendo abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Apesar do marco regulatório estabelecido pelas Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020, o Brasil ainda enfrenta desigualdades significativas na universalização desses serviços, sobretudo em municípios de médio e pequeno porte. Nesse contexto, este estudo analisou a situação do saneamento, da qualidade da água e da saúde pública em Belo Jardim – PE, buscando identificar correlações entre infraestrutura sanitária deficiente, contaminação hídrica e doenças de veiculação hídrica. A pesquisa adotou abordagem descritiva e exploratória, utilizando dados secundários de fontes oficiais. As informações sobre abastecimento e esgotamento sanitário foram obtidas no SNIS (2023) e no IBGE (2024). Os indicadores epidemiológicos derivaram do DATASUS (2023), enquanto os parâmetros de qualidade da água foram coletados na estação de monitoramento 39339950 do rio Bitury, disponibilizados pela ANA, referentes a 2012, 2013 e 2019. Foram analisados dados de cobertura de serviços, taxa de internações e óbitos, a densidade de *Escherichia coli* e valores do Índice de Qualidade da Água (IQA). Os resultados mostraram que, embora a universalização do abastecimento de água tenha sido alcançada (80.308 habitantes atendidos), apenas 66% da população dispunham de coleta de esgoto, deixando mais de 25 mil pessoas expostas a ambientes insalubres. Em 2023, registraram-se 23 internações por doenças relacionadas à falta de saneamento (2,82/10 mil hab.) e taxa de mortalidade de 0,49/10 mil hab., com predominância de doenças gastrointestinais infecciosas e leptospirose. No monitoramento da água, observou-se aumento expressivo da concentração de *E. coli*, de 42 NMP/100 mL em

2012 para 4.475,75 NMP/100 mL em 2019, ultrapassando o limite legal da Resolução CONAMA nº 357/2005, ainda que o IQA tenha permanecido classificado como "Boa". Conclui-se que a deficiência na coleta e tratamento de esgoto compromete tanto a saúde coletiva quanto a qualidade ambiental de Belo Jardim. Reforça-se a necessidade de ampliar a infraestrutura sanitária, adotar parâmetros mais sensíveis de monitoramento microbiológico e integrar políticas de saneamento, saúde e educação ambiental, visando à redução de riscos e à promoção da sustentabilidade.

Palavras-chave: Saneamento básico, Qualidade de água, Doenças de veículação hídrica, Saúde Pública

RESÚMEN

El saneamiento básico constituye uno de los pilares de la salud pública y de la sostenibilidad ambiental, abarcando el suministro de agua potable, la recolección y el tratamiento de aguas residuales, la gestión de residuos sólidos y el drenaje urbano. A pesar del marco regulatorio establecido por las Leyes nº 11.445/2007 y nº 14.026/2020, Brasil aún enfrenta desigualdades significativas en la universalización de estos servicios, especialmente en municipios de mediano y pequeño porte. En este contexto, el presente estudio analizó la situación del saneamiento, de la calidad del agua y de la salud pública en Belo Jardim – PE, con el objetivo de identificar correlaciones entre infraestructura sanitaria deficiente, contaminación hídrica y enfermedades de transmisión hídrica. La investigación adoptó un enfoque descriptivo y exploratorio, utilizando datos secundarios de fuentes oficiales. La información sobre abastecimiento de agua y recolección de aguas residuales se obtuvo del SNIS (2023) y del IBGE (2024). Los indicadores epidemiológicos se extrajeron del DATASUS (2023), mientras que los parámetros de calidad del agua fueron recopilados en la estación de monitoreo 39339950 del río Bitury, disponible en la ANA, correspondientes a los años 2012, 2013 y 2019. Se analizaron datos de cobertura de servicios, tasas de hospitalización y mortalidad, así como concentraciones de *Escherichia coli* y valores del Índice de Calidad del Agua (IQA). Los resultados mostraron que, aunque se alcanzó la universalización del acceso al agua tratada (80.308 habitantes atendidos), solo el 66% de la población contaba con recolección de aguas residuales, dejando a más de 25.000 personas expuestas a condiciones insalubres. En 2023, se registraron 23 hospitalizaciones por enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento (2,82/10.000 hab.) y una tasa de mortalidad de 0,49/10.000 hab., con predominio de enfermedades gastrointestinales infecciosas y leptospirosis. El monitoreo del agua reveló un aumento significativo en las concentraciones de *E. coli*, de 42 NMP/100 mL en 2012 a 4.475,75 NMP/100 mL en 2019, superando el límite legal establecido por la Resolución CONAMA nº 357/2005, aunque el IQA se mantuvo clasificado como "Bueno." Se concluye que la deficiencia en la recolección y el tratamiento de aguas residuales compromete tanto la salud colectiva como la calidad ambiental de Belo Jardim. Se refuerza la necesidad de ampliar la infraestructura de saneamiento, adoptar parámetros más sensibles de monitoreo microbiológico e integrar políticas de saneamiento, salud y educación ambiental, con el fin de reducir riesgos y promover la sostenibilidad.

Palabras clave: Saneamiento básico, Calidad del agua, Enfermedades de transmisión hídrica, Salud pública

ABSTRACT

Basic sanitation is one of the pillars of public health and environmental sustainability, encompassing the supply of drinking water, sewage collection and treatment, solid waste management, and urban drainage. Despite the regulatory framework established by Laws No. 11,445/2007 and No. 14,026/2020, Brazil still faces significant inequalities in the universalization of these services, especially in medium and small municipalities. In this context, this study analyzed the situation of sanitation, water quality, and public health in Belo Jardim – PE, seeking to identify correlations between deficient sanitation infrastructure, water contamination, and waterborne diseases. The research adopted a descriptive and exploratory approach, using secondary data from official sources. Information on water supply and sewage collection was obtained from SNIS (2023) and IBGE (2024). Epidemiological indicators were extracted from DATASUS (2023), while water quality parameters were collected at monitoring station 39339950 of the Bitury river, made available by ANA, for the years 2012, 2013, and 2019. Data analyzed included service coverage, hospitalization and mortality rates, as well as *Escherichia coli* concentrations and Water Quality Index (IQA) values. The results showed that, although universal access to treated water has been achieved (80,308 inhabitants served), only 66% of the population had sewage collection, leaving over 25,000 people exposed to unsanitary conditions. In 2023, there were 23 hospitalizations for sanitation-related diseases (2.82/10,000 inhab.) and a mortality rate of 0.49/10,000 inhab., with a predominance of infectious gastrointestinal diseases and leptospirosis. Water monitoring revealed a sharp increase in *E. coli* concentrations, from 42 MPN/100 mL in 2012 to 4,475.75 MPN/100 mL in 2019, exceeding the legal limit established by CONAMA Resolution No. 357/2005, even though the IQA remained classified as "Good". It is concluded that the deficiency in sewage collection and treatment compromises both collective health and the environmental quality of Belo Jardim. It is necessary to expand sanitation infrastructure, adopt more sensitive microbiological monitoring parameters, and integrate sanitation, health, and environmental education policies to reduce risks and promote sustainability.

Keywords: Basic sanitation, Water quality, Waterborne diseases, Public health

INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei nº 11.445/2007, atualizada pelo novo marco legal do saneamento (Lei nº 14.026/2020), o conjunto de serviços de saneamento básico abrange o abastecimento de água potável, a coleta e o tratamento de esgoto sanitário, a drenagem urbana e a gestão de resíduos sólidos (Brasil, 2020). A oferta adequada e universal desses serviços está diretamente relacionada à melhoria da qualidade de vida da população, influenciando o desenvolvimento ou o declínio de civilizações (Vitor *et al*., 2021).

Contudo, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos para a universalização, sobretudo em regiões historicamente negligenciadas por políticas públicas estruturantes.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), milhões de brasileiros vivem sem acesso à coleta e ao tratamento de esgoto, perpetuando ciclos de pobreza e favorecendo a disseminação de doenças de veiculação hídrica, como diarreias, hepatites virais e leptospirose (Ministério das Cidades, 2023; Oliveira *et al*., 2025; WHO, 2023).

Ambientes com esgoto a céu aberto, águas contaminadas e descarte inadequado de resíduos favorecem a disseminação de agentes patogênicos e elevam os riscos de surtos e endemias (WHO, 2023). A ausência de políticas efetivas de controle ambiental e o monitoramento deficiente da qualidade da água agravam ainda mais esse cenário, especialmente em municípios de médio e pequeno porte, onde muitas vezes há carência de recursos técnicos, financeiros e humanos para implementar ações preventivas e corretivas (Vitor *et al*., 2021).

Rios, lagos e mananciais frequentemente sofrem com o lançamento irregular de esgotos domésticos e efluentes industriais, resultando na degradação dos ecossistemas aquáticos e na perda de serviços ambientais. O monitoramento de parâmetros microbiológicos, como a presença de *Escherichia coli*, e de índices compostos como o Índice de Qualidade da Água (IQA), fornece subsídios técnicos importantes para a análise de riscos ambientais e para a formulação de políticas públicas sustentáveis (CETESB, 2017; Hadam, 2024).

Nesse contexto, compreender a situação dos serviços de saneamento e seus impactos na saúde e no ambiente urbano é fundamental. Abordagens integradas entre infraestrutura, indicadores epidemiológicos e monitoramento ambiental permitem identificar vulnerabilidades e orientar ações de planejamento, recursos e políticas de saneamento e saúde ambiental (Amaral; Gomes, 2023).

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a situação do esgotamento, da qualidade da água e da saúde pública em Belo Jardim – PE, buscando compreender as correlações entre deficiência no esgotamento sanitário, contaminação hídrica e doenças de veiculação hídrica. Com base em dados secundários de fontes oficiais, propõe-se uma discussão crítica sobre os impactos do saneamento na saúde coletiva e na sustentabilidade ambiental local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo adotou uma abordagem descritiva e exploratória, com foco na análise

integrada de dados secundários sobre saneamento básico, saúde pública e qualidade da água no município de Belo Jardim – PE. A metodologia foi estruturada em três eixos temáticos: infraestrutura sanitária, indicadores epidemiológicos e parâmetros de qualidade ambiental da água.

As informações sobre acesso à água tratada, coleta e tratamento de esgoto foram obtidas a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), referentes ao ano de 2023 (Ministério das Cidades, 2023). Os dados populacionais foram extraídos das estimativas populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2024 (IBGE, 2024). Para contextualização socioeconômica, foi utilizado o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), fornecido pelo Atlas Brasil (PNUD; IPEA; FJP, 2010).

Os dados epidemiológicos foram extraídos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), especificamente das bases de dados do Sistema de Informações Hospitalares (SIH/SUS) e do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) (Ministério da Saúde, 2023). Foram analisadas a taxa de internações e óbitos por doenças de veiculação hídrica em 2023, bem como os tipos mais frequentes de doenças relacionadas ao saneamento inadequado.

Foram utilizados dados históricos da estação de monitoramento 39339950, localizada no Rio Bitury, em Belo Jardim, disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) através da plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA, 2025). Foram analisadas as médias anuais de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*), o Índice de Qualidade da Água (IQA) e sua respectiva classificação. Os anos disponíveis com dados completos foram 2012, 2013 e 2019. Os resultados foram discutidos com base em indicadores oficiais e nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que define as classes e usos dos corpos d'água (CONAMA, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar do avanço observado na universalização do abastecimento de água tratada — com 80.308 pessoas atendidas em 2023, conforme dados do SNIS (Tabela 1), a cobertura da coleta de esgoto ainda é limitada, atingindo apenas 66% da população. Isso implica que mais de 25 mil habitantes permanecem sem acesso adequado ao serviço, sendo potencialmente expostos a ambientes insalubres e à contaminação fecal. Diversas cidades brasileiras de

pequeno porte passam por isso, 65,7% dos municípios brasileiros indicaram a existência de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), mas, apenas 40,7% tiveram seus respectivos planos localizados (Amaral; Gomes, 2023).

Tabela 1. Dados populacionais e de esgotamento sanitário no município de Belo Jardim – PE.

Indicador	Dados	Fonte	Data
População total	83.647 pessoas	IBGE	Estimativa de 2024
População total que mora em domicílios com acesso à água tratada	80.308 pessoas	SNIS	2023
População total que mora em domicílios sem acesso à água tratada	0	SNIS	2023
População total que mora em domicílios com acesso ao serviço de coleta de esgoto	55.100 pessoas	SNIS	2023
Tratamento do Esgoto Coletado	800.000 m³	SNIS	2023
População total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto	25.208 pessoas	SNIS	2023
IDH-M do Município	0,629	Atlas Brasil	2010

Fonte: IBGE (2024); Ministério das Cidades (2023); PNUD, IPEA, FJP (2013).

A insuficiência no sistema de esgotamento sanitário repercute diretamente na saúde pública local (Jiménez-Rodríguez *et al*., 2022; Salvo *et al*., 2022; Kubota; Orfão, 2023). Segundo dados do Ministério da Saúde (2023) (Tabela 2), em 2023 foram registradas 23 internações por doenças associadas à falta de saneamento, com uma taxa de incidência de 2,82 internações por 10 mil habitantes. Destacam-se, entre as enfermidades predominantes, as doenças gastrointestinais infecciosas e a leptospirose, ambas com etiologia relacionada ao contato com água ou solo contaminados por fezes humanas ou animais (Casanovas-Massana *et al*., 2018; Lanrewaju *et al*., 2022). Além disso, a taxa de óbitos por doenças gastrointestinais alcançou 0,49 por 10 mil habitantes, o que, embora relativamente baixo, reforça a gravidade das exposições ambientais contínuas.

Complementarmente, os dados de qualidade da água coletados no rio Bitury (Tabela 3) fornecidos pela ANA (2025), na estação 39339950, demonstram uma deterioração progressiva no parâmetro microbiológico ao longo do tempo. A média de *E. coli* foi de 42

NMP/100 mL em 2012, elevando-se para 364,33 NMP/100 mL em 2013 e alcançando o valor crítico de 4.475,75 NMP/100 mL em 2019. Esses níveis de contaminação excedem largamente os padrões recomendados para usos múltiplos da água, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece o limite de 1.000 NMP/100 mL para corpos d'água Classe 2. Embora o IQA tenha se mantido na faixa "Boa" em 2013 e 2019, principalmente pelo ponto de monitoramento ser a montante da barragem Eng. Severino Guerra, relativamente longe do centro urbano. Devido ao índice ser um somatório de parâmetros e seus respectivos pesos, direcionando pesos mais altos para oxigênio dissolvido, pH e a presença de coliformes termotolerantes, é possível que os parametros citados podem ter aumentado o valor do índice e não ser suficientemente sensível para captar a real ameaça microbiológica à saúde.

Tabela 2. Dados de saúde pública em 2023 no município de Belo Jardim – PE.

Indicador	Dados
Taxa de incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento (Internações por 10 mil habitantes)	2,82
Internações por doenças associadas à falta de saneamento (Número de internações)	23
Taxa de óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas na população total (Óbitos por 10 mil habitantes)	0,49
Doenças de Veiculação Hídrica mais frequentes	gastrointestinais infecciosas e leptospirose

Fonte: Ministério da Saúde (2023).

Tabela 3. Dados de *E. Coli*. e IQA entre os anos de 2001 e 2020 da estação 39339950 no Rio Bitury, Belo Jardim – PE.

Ano	Nº de amostras coletadas	Entidade	Média de *E. Coli.* (NMP/100 mL)	Média IQA	Classificação IQA
2012	9	CPRH	42,00	84,76	Ótima
2013			364,33	66,86	Boa
2019			4475,75	63,37	Boa

Fonte: ANA (2025).

Essa contaminação hídrica pode estar associada, de forma direta, à baixa cobertura da rede de esgotamento sanitário, à disposição inadequada de efluentes domésticos e à ausência de controle de fontes difusas de poluição. O cruzamento dos dados sugere uma correlação entre o agravamento da qualidade microbiológica da água e a incidência de doenças de veiculação hídrica no município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou que, embora Belo Jardim – PE tenha alcançado a universalização do abastecimento de água tratada, a coleta de esgoto ainda atende apenas dois terços da população, deixando mais de 25 mil habitantes expostos a condições precárias. Essa realidade é refletida na saúde coletiva, com registros de internações e óbitos por doenças de veiculação hídrica em 2023, sobretudo gastrointestinais infecciosas e leptospirose. Paralelamente, os dados do Rio Bitury revelaram aumento expressivo das concentrações de *Escherichia coli* entre 2012 e 2019, superando os limites legais estabelecidos para corpos d'água de Classe 2, ainda que o IQA tenha permanecido classificado como "Boa".

Essas observações confirmam a correlação entre a deficiência do esgotamento sanitário, a contaminação hídrica e os agravos à saúde, mas também levantam questionamentos sobre a eficácia do uso exclusivo do IQA como indicador de risco microbiológico para referenciar todo um rio. Intervenções prioritárias incluem a ampliação da rede de coleta e tratamento de esgoto, o fortalecimento da vigilância da qualidade da água em diversos pontos do corpo hídrico, principalmente, em possíveis locais de contato direto da população com a água.

Como continuidade, recomenda-se aprofundar análises estatísticas para explorar a relação entre indicadores ambientais e epidemiológicos, além de ampliar o monitoramento temporal da qualidade da água no município. Tais esforços podem subsidiar políticas públicas mais eficazes, alinhadas à necessidade de integrar saúde, saneamento e sustentabilidade ambiental no território de Belo Jardim – PE.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo á Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de mestrado à primeira autora (processo 1141-3.01/24) e

doutorado à segunda autora (processo 1900-3.01/24). Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2025. Dados de Qualidade da Água – Estação 39339950: Rio Bitury, Belo Jardim – PE. Brasília: ANA. https://www.snirh.gov.br/hidroweb/

Amaral, Bruna Elói do, e Uende Aparecida Figueiredo Gomes. 2023. "The Panorama of Municipal Basic Sanitation Plans in Brazil." Engenharia Sanitária e Ambiental 28: e20230037. https://doi.org/10.1590/S1413-415220230037

Brasil. 2020. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020: Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984/2000, entre outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020. https://www.in.gov.br/

Casanovas-Massana, Alessandro, Sebastian Andrada, Eder C. B. Santos, Andrea Ribeiro, Flavia M. Costa, e Antonio I. Ko. 2018. "Spatial and Temporal Dynamics of Pathogenic Leptospira in Surface Waters from the Urban Slum Environment." Water Research 130: 176–84.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). 2017. Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas. In Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, novembro 2017. https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. https://www.in.gov.br/

Hadam, Natasha Berendonk, R. B. da Silva, Elvira Carvajal, e Adriana Sotero-Martins. 2024. "A Decay of Pathogens (Indicator of Escherichia coli and Salmonella spp.) in Soil Due to the Application of Reuse Water." Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science 19: 1–12.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. Estimativas da População Residente no Brasil e Unidades da Federação em 1º de Julho de 2024. Rio de Janeiro: IBGE. https://www.ibge.gov.br/

Jiménez-Rodríguez, María G., Eduardo Gutiérrez-Casado, José S. Valdés-García, e Francisco Rodríguez-Ruiz. 2022. "Biosensors for the Detection of Disease Outbreaks through Wastewater-Based Epidemiology." TrAC Trends in Analytical Chemistry 155: 1–13.

Kubota, Luma Akemi de Azevedo, e Nathalia Halax Orfão. 2023. "Doenças de Veiculação

Hídrica: Uma Análise do Perfil a partir da Literatura." Research, Society and Development 12 (11): e105121143756. https://doi.org/10.33448/rsd-v12i11.43756

Lanrewaju, Adedayo Ayodeji, Abimbola Motunrayo Enitan-Folami, Saheed Sabiu, Joshua Nosa Edokpayi, e Feroz Mahomed Swalaha. 2022. "Global Public Health Implications of Human Exposure to Viral Contaminated Water." Frontiers in Microbiology 13: 981896. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.981896

Ministério das Cidades (Brasil). 2023. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (SNIS). Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento. https://www.gov.br/cidades/snis/

Ministério da Saúde (Brasil). 2023. Departamento de Informática do SUS – DATASUS. Brasília: Ministério da Saúde. http://www.datasus.gov.br/

Oliveira, Ana Carolina Donda, Ana Paula Fontana, Antônio Pires Freire, Daiany de Almeida Araújo, Gislaine Leão Parreira, Hellane Lima dos Santos, Lara Cândida de Sousa Machado, et al. 2025. "Doenças de veiculação hídrica e qualidade da água: evidências para a integração entre políticas públicas e vigilância." Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana 23 (6): 1–21. https://doi.org/10.55905/oelv23n6-080

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), e Fundação João Pinheiro (FJP). 2013. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Brasília. http://www.atlasbrasil.org.br/

Salvo, Marco, Roberto La Rosa, Laura Suffredini, e Giorgio Donia. 2022. "One-Year Surveillance of SARS-CoV-2 and Rotavirus in Water Matrices from a Hot Spring Area." Food and Environmental Virology 14 (4): 401–9.

World Health Organization. 2023. "Drinking-water." Fact sheet, WHO News Room, September 13, 2023. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

Vitor, Gabriel Alves, Giorge André Lando, Carolina de Albuquerque Lima Duarte, Daniela de Araújo Viana Marques, e Isabele Bandeira de Moraes D'Angelo. 2021. "Saúde e saneamento no Brasil: Uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com as doenças de veiculação hídrica." Research, Society and Development 10 (15): e521101522913. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22913

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116542

RESISTÊNCIA EM TRIATOMÍNEOS VETORES DA DOENÇA DE CHAGAS: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA

RESISTENCIA EN TRIATOMINOS VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS: ANÁLISIS CIENCIOMÉTRICO

RESISTANCE IN TRIATOMINE VECTORS OF CHAGAS DISEASE: SCIENTIOMETRIC ANALYSIS

Marianna Silva de Moura[1], Ingrid Lima[2], Giovanna Almeida Cardoso[3] e Gabryela Nascimento[4].

[1]Estudante de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina–PE, Brasil, marianna.moura@discente.univasf.edu.br, <https://orcid.org/0009-0003-0179-1035>;
[2]Estudante de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina–PE, Brasil, ingrid.o@discente.univasf.edu.br;
[3]Estudante de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina–PE, Brasil, giovanna.cardoso@discente.univasf.edu.br, <https://orcid.org/0009-0005-8211-7492>;
[4]Estudante de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina–PE, Brasil, gabryela.nascimento@discente.univasf.edu.br;

Eixo Temático 10 – Saúde pública e Controle de vetores

Eje Temático 10 – Salud pública y Control de vectores

RESUMO

A Doença de Chagas foi descoberta em 1909 e afeta populações vulneráveis até hoje, especialmente na América latina, sendo uma Doença Tropical Negligenciada (DTN) com 6 a 7 milhões de casos estimados no mundo. O controle de seus vetores triatomíneos enfrenta o desafio da resistência, em especial aos inseticidas piretróides, que são usados desde os anos 1980. Foi feita uma busca em 3 bases de dados para analisar as tendências de pesquisa sobre populações resistentes de triatomíneos. Após realizar uma seleção sistemática de artigos para identificar as publicações relevantes ao tema, o programa VOSviewer foi usado para criação de gráficos correlacionando palavras-chave e autores. As base de dados com maior número de resultados foi ScienceDirect (79), seguida de PubMed (66). A base SciELO obteve resultados relevantes apesar do menor número. A frequência de palavras-chave revelou um padrão de temas comuns na literatura, com destaque para o inseticida piretroide deltametrina, mencionado em 27 artigos e a região do Gran Chaco. Além disso, os grupos de termos mencionados juntos em artigos revelaram alguns temas, como o estudo dos mecanismos de resistência de triatomíneos através da identificação de mutações e monitoramento de enzimas esterases. Outros temas foram os desafios de infestação por Triatoma infestans no Gran Chaco e as análises de susceptibilidade de diferentes populações triatomíneas a inseticidas e sua relação com seu estágio de desenvolvimento. Já a análise de coautoria revelou agrupamentos de coautores através do tempo, destacando-se a afiliação argentina dos autores mais proeminentes (com maior número de publicações), o que foi relacionado à importância da Doença de Chagas no país. No geral, a análise revelou regiões (como o Brasil e o Gran Chaco), espécies (Triatoma infestans), substâncias (esterases e deltametrina) e técnicas (análise genética molecular) presentes na pesquisa sobre a resistência de triatomíneos, além

de destacar os autores mais prolíficos no tema.

Palavras-chave: Trypanossoma cruzi, Inseticidas, Tendências científicas, Triatoma, Piretroides

RESÚMEN

La enfermedad de Chagas fue descubierta en 1909 y sigue afectando a poblaciones vulnerables hasta hoy, especialmente en América Latina. Está clasificada como una Enfermedad Tropical Desatendida (ETD), con un estimado de 6 a 7 millones de casos en el mundo. El control de sus vectores, los triatominos, enfrenta el desafío de la resistencia, en particular a los insecticidas piretroides, que se utilizan desde la década de 1980. Se realizó una búsqueda en tres bases de datos para analizar las tendencias de investigación sobre poblaciones resistentes de triatominos. Tras una selección sistemática de artículos para identificar las publicaciones relevantes al tema, se utilizó el software VOSviewer para la elaboración de gráficos que correlacionan palabras clave y autores. La base de datos con mayor número de resultados fue ScienceDirect (79), seguida por PubMed (66). Aunque SciELO presentó un menor número de resultados, estos fueron relevantes. El análisis de frecuencia de palabras clave reveló un patrón de temas comunes en la literatura científica, destacándose el insecticida piretroide deltametrina, mencionado en 27 artículos, y la región del Gran Chaco. Asimismo, los grupos de términos mencionados conjuntamente en los artículos revelaron algunos ejes temáticos, como el estudio de los mecanismos de resistencia en triatominos mediante la identificación de mutaciones y el monitoreo de enzimas esterasas. Otros temas identificados fueron los desafíos de infestación por Triatoma infestans en el Gran Chaco y los análisis de susceptibilidad de diferentes poblaciones de triatominos a los insecticidas, en relación con su estadio de desarrollo. El análisis de coautoría reveló agrupamientos de autores a lo largo del tiempo, destacándose la afiliación argentina de los autores más prominentes (con mayor número de publicaciones), lo cual se relaciona con la importancia de la enfermedad de Chagas en ese país. En general, el análisis evidenció regiones (como Brasil y el Gran Chaco), especies (Triatoma infestans), sustancias (esterasas y deltametrina) y técnicas (análisis genético molecular) presentes en la investigación sobre la resistencia de los triatominos, además de identificar a los autores más prolíficos en este campo.

Palabras clave: Trypanosoma cruzi, Insecticidas, Tendencias científicas, Triatoma, Piretroides

ABSTRACT

Chagas Disease was discovered in 1909 and continues to affect vulnerable populations today, especially in Latin America. It is classified as a Neglected Tropical Disease (NTD), with an estimated 6 to 7 million cases worldwide. The control of its triatomine vectors faces the challenge of resistance, particularly to pyrethroid insecticides, which have been in use since the 1980s. A search was conducted across three databases to analyze research trends related to resistant triatomine populations. After performing a systematic selection of articles to identify publications relevant to the topic, the software VOSviewer was used to create

visualizations correlating keywords and authors. The database with the highest number of results was ScienceDirect (79), followed by PubMed (66). Although SciELO yielded fewer results, they were still relevant. Keyword frequency analysis revealed common thematic patterns in the literature, notably the pyrethroid insecticide deltamethrin, mentioned in 27 articles, and the Gran Chaco region. Additionally, clusters of terms frequently mentioned together in the articles highlighted several research themes, such as the study of resistance mechanisms in triatomines through the identification of mutations and monitoring of esterase enzymes. Other prominent topics included the challenges of Triatoma infestans infestation in the Gran Chaco and susceptibility analyses of different triatomine populations to insecticides in relation to their developmental stages. Co-authorship analysis revealed author clusters over time, with a clear predominance of argentine affiliations among the most prolific researchers, which reflects the significance of Chagas disease in that country. Overall, the analysis highlighted key research foci such as geographic regions (Brazil and Gran Chaco), vector species (Triatoma infestans), substances (esterases and deltamethrin), and techniques (molecular genetic analysis), in addition to identifying the most active authors in the field of triatomine resistance.

Keywords: Trypanosoma cruzi, Insecticides, Scientific trends, Triatoma, Pyrethroids

INTRODUÇÃO

A Doença de Chagas, descrita por Carlos Chagas em 1909 com a identificação do *Trypanosoma cruzi* e dos vetores da família Reduviidae (Chagas 1909), permanece uma Doença Tropical Negligenciada que afeta desproporcionalmente populações vulneráveis (Bodimeade, Marks & Mabey 2019). Estima-se que aproximadamente 75 milhões de pessoas vivam em áreas de risco e, em 2019, havia 6–7 milhões de infectados, com o Brasil apresentando a maior estimativa (~2 milhões), embora casos também tenham sido relatados fora da América Latina (WHO 2021; Gómez-Ochoa et al. 2022). Os triatomíneos são os vetores naturais principais de *Trypanosoma cruzi* (Cruz-López et al. 2001) e, apesar do uso de piretroides desde os anos 1980, há registros de resistência desde a década de 1990 que comprometem o controle vetorial (Sonoda et al. 2009; Pessoa et al. 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

A busca foi feita em três bases (ScienceDirect, PubMed e SciELO) usando combinações de palavras-chave em inglês para captar estudos sobre triatomíneos e resistência; palavras-chave em português não trouxeram resultados. Filtrou-se por artigos dos últimos 10 anos (2015–2025) e, no ScienceDirect, por “Research Articles”, excluindo revisões. Obtiveram-se 153 registros iniciais (todas buscas em inglês). Os resultados foram organizados em planilha para gerar gráficos de proporção e

tendência temporal e exportados em TXT (PubMed) e RIS (ScienceDirect, SciELO) para upload no Rayyan, onde foram eliminadas duplicatas e feita a triagem por título/resumo.

Foram definidos critérios de inclusão — um artigo era elegível se cumprisse ao menos um: tratar resistência em populações domiciliares/peridomiciliares; relatar ocorrência/distribuição de triatomíneos resistentes; comparar triatomíneos resistentes vs. suscetíveis; ou testar susceptibilidade a inseticidas convencionais. Após a seleção, 55 artigos permaneceram e foram submetidos a análises no VOSviewer: co-ocorrência de palavras-chave e redes de coautoria, para mapear focos de pesquisa e tendências, além da análise de características populacionais (por ex., distribuição de vetores resistentes).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de resultados bruto obtido por pesquisa nas bases de dados foi bem distribuído entre PubMed (66 resultados) e ScienceDirect (79 resultados), com a última sendo responsável pela maioria (52%) de resultados brutos. Com apenas 8 resultados brutos (5%), SciELO foi a base de dados menos contributiva, porém adicionou alguns artigos únicos que demonstraram relevância ao tema (Figura 1).

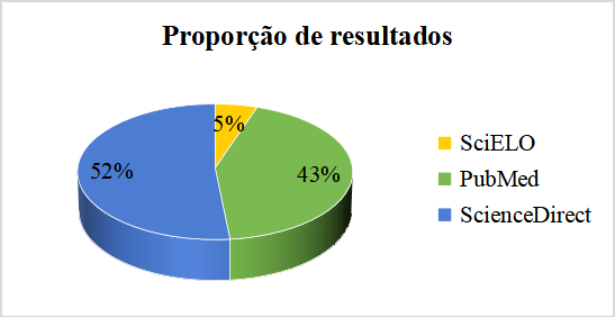


Figura 1. Gráfico mostrando a proporção de resultados em cada base de dados
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A contribuição de PubMed não foi surpreendente, sendo um tema relacionado à saúde, mas esta não foi a única base de dados relevante, demonstrando que há um ponto cego para cada buscador que pode ser preenchido por outro. Apesar de menor em número, a relevância temática dos artigos encontrados na SciELO demonstra a importância de sua inclusão em levantamentos de pesquisa internacional.

Além da frequência de palavras-chave analisadas no modo de visualização

"densidade" no VOSviewer (Figura 2), foram analisadas as conexões entre essas palavras, ou seja, a co-ocorrência. Assim, o gráfico (Figura 3) agrupa as palavras que ocorrem juntas em grupos, indicados pelas cores e demonstra as interconexões de cada termo por meio de linhas.

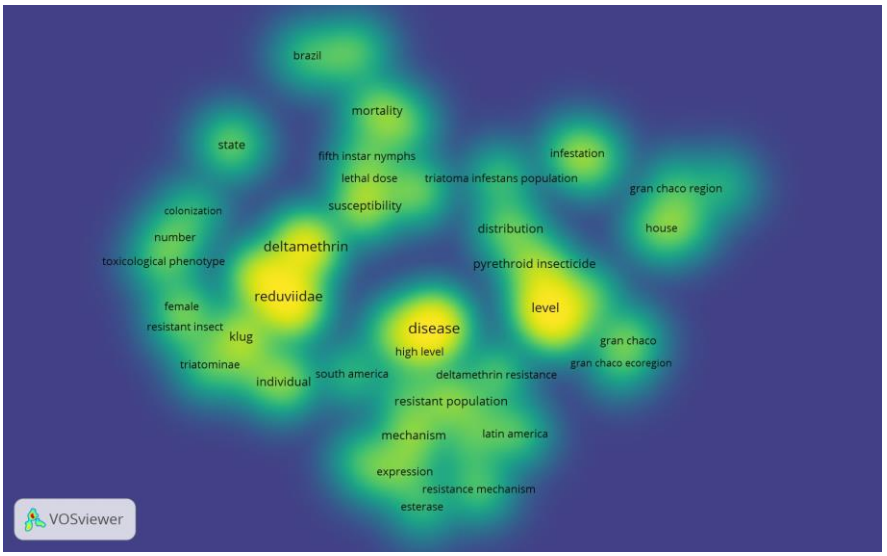


Figura 2. Gráfico de frequência de palavras-chave no VOSviewer, indicando a frequência de termos por sua opacidade e cor amarela ao fundo
Fonte: Elaboração própria, 2025

O gráfico de termos indica que, no corpus analisado, a Doença de Chagas é focalizada principalmente pela tríade: ecologia dos vetores (Triatominae/Reduviidae), distribuição geográfica na América Latina (com destaque para Brasil e região do Gran Chaco) e resistência a inseticidas piretroides (ex.: deltametrina - 27 ocorrências) (Fronza, Mougabure-Cueto & Picollo 2019). Observa-se ainda a relevância de termos como suscetibilidade (14), Triatoma infestans population (7), América Latina (8), infestação (9) e Brasil (6); o termo Gran Chaco aparece 9 vezes, totalizando 27 ocorrências quando consideradas todas as variações (Gómez et al. 2016). Estudos mencionados relacionam estágios e características biológicas dos triatomíneos à capacidade de colonização domiciliar e aos níveis de infestação, enquanto ensaios de suscetibilidade e investigações sobre mecanismos bioquímicos (ex.: atividade de esterases, expressão gênica) evidenciam populações resistentes (Mougabure-Cueto & Vassena 2015) (Gürtler et al. 2023). Esses achados implicam risco de manutenção ou retomada da transmissão, onde o controle químico perde eficácia, exigindo vigilância entomológica contínua, coordenação transnacional e diversificação das medidas de controle (manejo ambiental, melhorias habitacionais, rotacionamento/alternância de princípios ativos e ações comunitárias) (Picollo et al. 2005)

(Pessoa et al. 2015).

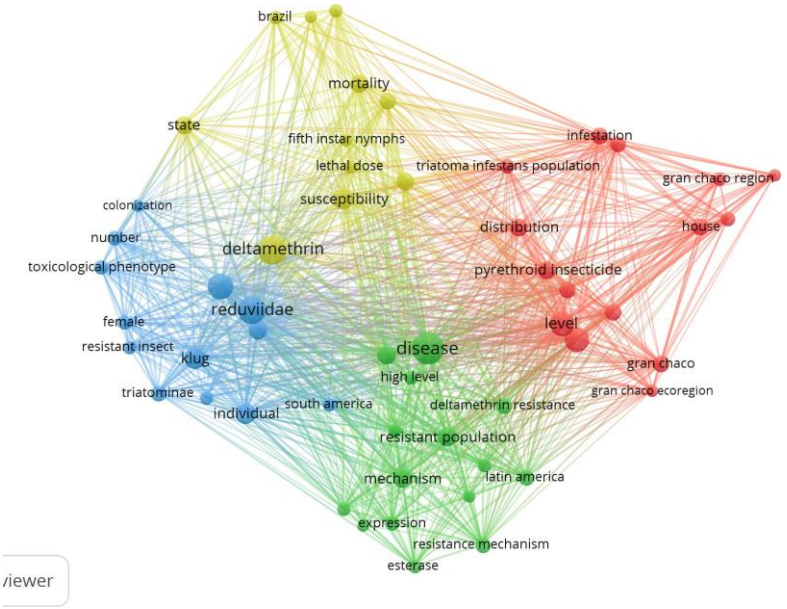


Figura 3. Gráfico de correlação de palavras-chave no VOSviewer, indicando agrupamentos por cores
Fonte: Elaboração própria, 2025.

A análise por clusters do VOSviewer revelou três focos principais interligados:

- Grupo 2 — mecanismos genéticos e bioquímicos (verde): concentra termos como "população resistente", "expressão", "mecanismo de resistência" e "esterase", indicando estudos sobre resistência mediada por expressão gênica e mutações. Mutações nos canais de sódio (L1014F e L925I) são associadas à resistência a piretroides — a L925I foi descrita apenas em hemípteros (Capriotti et al. 2014; Fronza et al. 2020). A detoxificação enzimática por esterases também é relatada como mecanismo, embora possivelmente secundário (Fronza et al. 2020); há relato de produção de esterases em populações resistentes portadoras da mutação L1014F (Roca-Acevedo et al. 2015).
- Grupo 1 — distribuição e infestação no Gran Chaco (vermelho): reúne termos como "Infestação", "Gran Chaco" e "População Triatoma infestans", refletindo forte concentração de estudos nessa região (Argentina, Bolívia, Paraguai). O Gran Chaco é uma área de alta persistência de *T. infestans* devido a fatores ambientais e sociais, com reinfestações frequentes e variação nos

níveis de resistência apesar do uso de inseticidas (Gómez-Ochoa et al. 2022; Capriotti et al. 2014; Fronza et al. 2019; Roca-Acevedo et al. 2015). A resistência ao deltametrina é uma tendência relatada em vários estudos do Gran Chaco (Echeverria et al. 2018; Dadé et al. 2020).

- Grupo 4 — testes de suscetibilidade e estágios ninfais (amarelo): agrupa "susceptibilidade – mortalidade – ninfas de 5º ínstar", evidenciando que bioensaios de suscetibilidade (exposição a concentrações variadas de piretroides) usam mortalidade de ninfas como indicador-chave. As ninfas de 5º ínstar são frequentemente destacadas por combinarem resistência e maior tamanho, sendo úteis para avaliação antes da fase adulta (Caldas et al. 2015; Dadé et al. 2020).

Conexão geral: os grupos mostram que os mecanismos laboratoriais de resistência (verde) estão associados à dinâmica espacial e re-infestações (vermelho) e são avaliados por bioensaios com ninfas (amarelo) — evidenciando que a resistência é um fenômeno com implicações diretas na epidemiologia e no controle vetorial, especialmente em áreas críticas como o Gran Chaco.

Rede de coautoria: o VOSviewer identificou autores com ≥2 publicações; o número de artigos por autor variou de 2 a 14, com a maioria publicando entre 2 e 4 trabalhos (Figura 4).

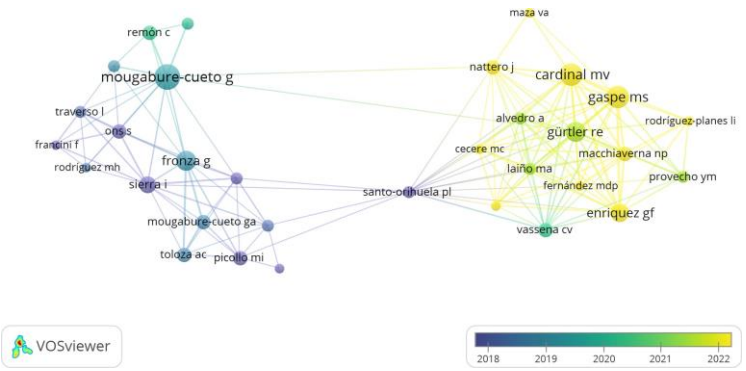


Figura 4. Gráfico de coautoria no VOSviewer, indicando anos médios de publicação
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os autores mais prolíficos foram Mougabure-cueto (14 publicações), Cardinal (8), Gaspe (8), Fronza(7) e Gurtler (7). Cardinal e Gaspe possuem uma média de publicações

mais recente (2022), enquanto Fronza e Mougabure-cueto possuem publicações mais antigas, sendo correlacionados a autores com publicação média de 2016 a 2018. Nota-se que todos os principais autores mencionados possuem afiliação argentina, demonstrando uma produção científica substancial nesse país. Essa produção científica condiz com o contexto da Doença de Chagas na Argentina, que respondia por 22,3% dos casos mundiais em 1990 e reduziu sua prevalência em 54%, passando de 1.622.896,4 casos em 1990 para 735.490,88 em 2019 (Gómez-Ochoa et al. 2022). O incentivo a esse tipo de pesquisa neste país pode ser atribuído a um interesse governamental, considerando que a lei argentina trata a prevenção da Doença de Chagas como prioridade nacional (Balestrini et al. 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento mostrou que a integração de diferentes bases de dados foi essencial para ampliar os resultados e evitar lacunas, já que cada plataforma apresentou suas próprias limitações e contribuições. Os resultados evidenciaram que a resistência em triatomíneos está ligada tanto a mecanismos moleculares, quanto a fatores populacionais e geográficos, com destaque para o Gran Chaco. A resistência ao uso de piretroides representa um desafio real para o controle químico, favorecendo reinfestações e reduzindo a eficácia das campanhas. A produção científica, concentrada principalmente na Argentina, reflete a importância da doença no país e mostra como o contexto epidemiológico influencia diretamente o direcionamento das pesquisas.

De modo geral, fica evidente a necessidade de estratégias de controle mais diversificadas, associando vigilância entomológica contínua, manejo ambiental e alternância de princípios ativos, além de maior integração entre países endêmicos. Esses pontos são fundamentais para avançar no controle da Doença de Chagas diante do cenário de resistência observado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balestrini, Alberto, Juan J. B. Pampuro, Enrique Hidalgo, and Juan H. Estrada. 2007. Ley 26.281. https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26281-131904/texto.

Bodimeade, Christopher, Michael Marks, and David Mabey. 2019. "Neglected Tropical Diseases: Elimination and Eradication." *Clinical Medicine* 19 (2): 157–60. https://doi.org/10.7861/clinmedicine.19-2-157.

Caldas, Grasielle, Aline Cristine, Letícia Cavalari, Geraldo, Bernardino, and Liléia Diotaiuti. 2015. "Susceptibility of Triatoma Sordida Stal, 1859 (Hemiptera: Reduviidae) to Alpha-Cypermethrin under Natural Climatic Conditions." *Revista Da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 48 (4): 422–26. https://doi.org/10.1590/0037-8682-0097-2015.

Capriotti, Natalia, Gastón Mougabure-Cueto, Rolando Rivera-Pomar, and Sheila Ons. 2014. "L925I Mutation in the Para-Type Sodium Channel Is Associated with Pyrethroid Resistance in Triatoma Infestans from the Gran Chaco Region." Edited by Pattamaporn Kittayapong. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 8 (1): e2659. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002659.

Chagas, Carlos. 1909. "Nova Tripanozomiaze Humana: Estudos Sobre a Morfolojia E O Ciclo Evolutivo Do Schizotrypanum Cruzi N. Gen., N. Sp., Ajente Etiolojico de Nova Entidade Morbida Do Homem." *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz* 1 (2): 159–218. https://doi.org/10.1590/s0074-02761909000200008.

Cruz-López, L., E. A. Malo, J. C. Rojas, and E. D. Morgan. 2001. "Chemical Ecology of Triatomine Bugs: Vectors of Chagas Disease." *Medical and Veterinary Entomology* 15 (4): 351–57. https://doi.org/10.1046/j.0269-283x.2001.00340.x.

Dadé, M.M., M.R. Daniele, M. Machicote, J.O. Errecalde, and R.I. Rodriguez-Vivas. 2020. "First Report of the Lethal Activity and Synergism between Deltamethrin, Amitraz and Piperonyl Butoxide against Susceptible and Pyrethroid-Resistant Nymphs of Triatoma Infestans." *Experimental Parasitology* 218 (November): 107986. https://doi.org/10.1016/j.exppara.2020.107986.

Fronza, G., Mougabure-Cueto, G., & Picollo, M. I. (2019). "Modelling the association between deltamethrin resistance in Triatoma infestans populations of the Argentinian Gran Chaco region and environmental factors". *Acta Tropica*, 194, 53–61. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.03.017.

Fronza, Georgina, Gonzalo Roca-Acevedo, Gaston A Mougabure-Cueto, Ivana Sierra, Natalia Capriotti, and Ariel C Toloza. 2020. "Insecticide Resistance Mechanisms in Triatoma Infestans (Reduviidae: Triatominae): The Putative Role of Enhanced Detoxification and Knockdown Resistance (Kdr) Allele in a Resistant Hotspot from the Argentine Chaco." *Journal of Medical Entomology* 57 (3): 837–44. https://doi.org/10.1093/jme/tjz249.

Gómez, M. B., Paulone, I., Marco, V., Picollo, M. I., & Vassena, C. V. (2016). "Distribution of pyrethroid-resistant populations of Triatoma infestans and their association with control failures in the Gran Chaco region". *Parasites & Vectors*, 9, 51. https://doi.org/10.1186/s13071-016-1335-3.

Gómez-Ochoa, Sergio Alejandro, Lyda Z. Rojas, Luis E. Echeverría, Taulant Muka, and Oscar H. Franco. 2022. "Global, Regional, and National Trends of Chagas Disease

from 1990 to 2019: Comprehensive Analysis of the Global Burden of Disease Study." *Global Heart* 17 (1): 59. https://doi.org/10.5334/gh.1150.

Gürtler, R. E., et al. (2023). "The Pampa del Indio project: District-wide quasi-experimental evaluation of vector control interventions against Triatoma infestans". *Parasites & Vectors*, 16, 135. https://doi.org/10.1186/s13071-023-05861-2.

Mougabure-Cueto, G., & Vassena, C. (2015). "Insecticide resistance in triatomines: Evolution, mechanisms and implications for control". *Acta Tropica*, 149, 70–85. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.05.014.

Pessoa, Grasielle Caldas Dávila, Pedro Albajar Vinãs, Aline Cristine Luiz Rosa, and Liléia Diotaiuti. 2015. "History of Insecticide Resistance of Triatominae Vectors." *Revista Da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 48: 380–89. https://doi.org/10.1590/0037-8682-0081-2015.

Picollo, M. I., Vassena, C., Santo Orihuela, P., Barrios, S., Zaidemberg, M., & Zerba, E. (2005). "High resistance to pyrethroid insecticides associated with ineffective field treatments in Triatoma infestans from northern Argentina". *Journal of Medical Entomology*, 42(4), 637–642. https://doi.org/10.1603/0022-2585(2005)042[0637:HRTPIO]2.0.CO;2.

Roca-Acevedo, G., M. I. Picollo, N. Capriotti, I. Sierra, and P. L. Santo-Orihuela. 2015. "Examining Mechanisms of Pyrethroid Resistance in Eggs of Two Populations of the Chagas' Disease VectorTriatoma Infestans(Hemiptera: Reduviidae)." *Journal of Medical Entomology* 52 (5): 987–92. https://doi.org/10.1093/jme/tjv078 .

Sonoda, Ivan Vieira, Grasiele Caldas D'Ávila Pessoa, Mirko Rojas Cortez, João Carlos Pinto Dias, Alvaro José Romanha, and Liléia Diotaiuti. 2009. "Susceptibility of Triatoma Infestans to Deltamethrin in Rio Grande Do Sul, Brazil." *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz* 104 (4): 668–70. https://doi.org/10.1590/s0074-02762009000400025.

World Health Organization. 2021. Ending the Neglect to Attain the Sustainable Development Goals. World Health Organization.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116566

REVISÃO INTEGRATIVA: PERSPECTIVA DO USO DO ASPERGILLUS NA DEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

REVISIÓN INTEGRATIVA: PERSPECTIVA SOBRE EL USO DE ASPERGILLUS EN LA DEGRADACIÓN DE TINTES TEXTILE

INTEGRATIVE REVIEW: PERSPECTIVE ON THE USE OF ASPERGILLUS IN THE DEGRADATION OF TEXTILE DYES

Renan de Sousa Araujo[1], Maria Lucilene Queiroz da Silva[2], Raí de Sousa Araujo[3] e Francisco Clark Nogueira Barros[4].

[1]Mestrando em Meio Ambiente, Instituto Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, renansousa1229@gmail.com, 0009-0000-6866-4821;
[2]Dra. em Química Biológica, Instituto Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, marialucilene@ifce.edu.br, 0000-0002-4040-2288;
[3]Mestrando em Administração, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Brasil, raisousa2222@gmail.com, 0009-0006-0731-0775;
[4]Doutor em Bioquímica, Instituto Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, clark@ifce.edu.br, 0000-0002-9516-1258.

EIXO 10 – Saúde pública e controle de vetores
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores
Relación entre la calidad del agua y las enfermedades de transmisión hídrica.

Thematic Axis 10 – Public Health and Vector Control
Relationship between water quality and waterborne diseases.

RESUMO

A degradação de recursos naturais no mundo vem se intensificando cada vez mais, devido às atividades antrópicas. A indústria têxtil é importante para o setor econômico, mas em contrapartida tem causado impactos negativos na vida aquática e nos humanos. Para famílias rurais, a água, além de possuir importância doméstica, relaciona-se fortemente às possibilidades produtivas, à obtenção de renda e à diversidade alimentar, as quais estão diretamente relacionadas ao uso de águas de mananciais. A qualidade deste recurso natural pode ser comprometida por efluentes contaminados por corantes usados em processos da indústria têxtil. A presente pesquisa teve por objetivo avaliar o uso do gênero fúngico *Aspergillus* na degradação de corantes têxteis por meio de revisão integrativa da literatura. A busca compilou 309 artigos, que após a triagem e seleção com base nos critérios de elegibilidade, resultou em 8 artigos como amostra final. Na grande maioria dos estudos observados verificou-se que o uso do *Aspergillus* possui grande potencial degradador (70 - >90%), sendo um candidato em potencial para processos de biorremediação *in situ* e *ex situ*.

Palavras-chave: Efluentes, *Aspergillus*, Corantes, Indústria têxtil

RESÚMEN

La degradación de los recursos naturales a nivel mundial se ha intensificado cada vez más debido a las actividades humanas. La industria textil es importante para la economía, pero a su vez, ha tenido impactos negativos en la vida acuática y los humanos. Para las familias rurales, el agua, además de ser importante para el hogar, está fuertemente vinculada a las posibilidades de producción, la generación de ingresos y la diversidad dietética, todo lo cual está directamente relacionado con el uso del agua de manantial. La calidad de este recurso natural puede verse comprometida por efluentes contaminados con tintes utilizados en los procesos de la industria textil. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el uso del género fúngico Aspergillus en la degradación de tintes textiles a través de una revisión bibliográfica integradora. La búsqueda compiló 309 artículos, que, después de la selección basada en criterios de elegibilidad, resultaron en ocho artículos como muestra final. La gran mayoría de los estudios observados encontraron que el uso de Aspergillus tiene un potencial degradante significativo, lo que lo convierte en un candidato potencial para procesos de biorremediación in situ y ex situ.

Palabras clave: Efluentes, Aspergillus, Colorantes, Industria Textil

ABSTRACT

The degradation of natural resources worldwide has been increasingly intensified due to human activities. The textile industry is important for the economy, but in turn, it has had negative impacts on aquatic life and humans. For rural families, water, in addition to being domestically important, is strongly linked to production possibilities, income generation, and dietary diversity, all of which are directly related to the use of spring water. The quality of this natural resource can be compromised by effluents contaminated by dyes used in textile industry processes. This research aimed to evaluate the use of the fungal genus Aspergillus in the degradation of textile dyes through an integrative literature review. The search compiled 309 articles, which, after screening and selection based on eligibility criteria, resulted in eight articles as the final sample. The vast majority of the studies observed found that the use of Aspergillus has significant degrading potential, making it a potential candidate for in situ and ex situ bioremediation processes.

Keywords: Effluents, Aspergillus, Dyes, Textile Industry

INTRODUÇÃO

A água, é um recurso natural essencial para o setor econômico mundial, assim como, é necessário para a existência dos seres vivos. Em contrapartida, constata-se que, tal recurso está sendo comprometido devido a poluição e degradação ambiental, decorrentes de intervenções humanas que desencadeiam contaminações provenientes do lançamento de resíduos domésticos, agrícolas e industriais em corpos hídricos, o que acaba impactando diretamente na qualidade de vida humana e na vida aquática (Haseena *et al*. 2017; Rios,

Batista, Crystello, 2024).

Para famílias rurais, a água, além de possuir importância doméstica, relaciona-se fortemente às possibilidades produtivas, à obtenção de renda e à diversidade de pauta alimentar. Dessa forma, é necessário ter disponibilidade de água com qualidade para beber, produzir e para criações (Galizoni *et al*. 2017).

A degradação dos recursos naturais no mundo tem se intensificado cada vez mais devido às atividades antrópicas, reflexo de produções em larga escala, fato esse que visa suprir o consumo da população mundial, assim tendo como umas das consequências a contaminação e o esgotamento dos recursos hídricos (Sannino *et al*. 2023). A indústria têxtil, por exemplo, gera efluentes que possuem grandes quantidades de compostos perigosos e persistentes, incluindo corantes, produtos químicos, compostos aromáticos, formaldeído e fluorcarbonos, substâncias essas causadoras de impactos prejudiciais tanto ao meio ambiente, quanto a saúde humana, bem como em organismos aquáticos (Periyasamy 2024).

O setor têxtil possui um papel fundamental no desenvolvimento econômico de qualquer país, sendo responsável por mais da metade do consumo global de corantes sintéticos, considerado um dos setores mais poluentes, sendo seus efluentes caracterizados pela presença de sais orgânicos e inorgânicos, corantes e metais pesados (Mia *et al*. 2019; Rafique *et al*. 2022).

O uso de métodos convencionais para o tratamento de efluentes com tais contaminantes, tem se mostrado ineficientes, tendo alto custo (energia elétrica e requisitos químicos) e possuindo baixa eficiência, que acabam resultando em grandes volumes de lodo, ineficiência na remoção de corantes e toxicidade dos efluentes tratados (Singh, Arora 2011). Assim, a contaminação de rios por efluentes não tratados lançados pela indústria é responsável pelo desaparecimento de inúmeras espécies animais, vegetais, pela "anorexia" da água e a inutilização para fins de dessedentação, agricultura e outras finalidades. O que acaba comprometendo a existência de comunidades ribeirinhas e rurais (Garcia *et al*. 2008).

Neste contexto, as abordagens biotecnológicas, aliadas a métodos físicos e químicos, apresentam melhorias na descoloração de corantes, sendo alternativas promissoras e acessíveis para remoção de diferentes classes de corantes (Costa *et al*. 2025). O uso da biotecnologia por meio da utilização da espécie fúngica *Aspergillus* tem se mostrado promissor na degradação de corantes têxteis (Amanda 2023). Dessa forma, a presente

pesquisa tem por objetivo fomentar a discussão acerca de estudos que tratam sobre o potencial degradador de espécies fúngicas de *Aspergillus*.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa se deu a partir de revisão sistemática de literatura por meio de etapas do método PRISMA (Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análise), sendo: (1) formulação da pergunta norteadora; (2) localização e seleção dos estudos; (3) avaliação crítica dos estudos; (4) coleta de dados; (5) análise dos dados; (6) síntese e apresentação dos dados; (7) redação e publicação dos resultados (Galvão *et al*. 2015).

Inicialmente foi elaborado o questionamento norteador: Qual o cenário da literatura científica a respeito da biodegradação de corantes da indústria têxtil por meio do fungo da espécie *Aspergillus Niger*?. Dessa forma, foram definidos os descritores que melhor se adequassem ao objetivo de pesquisa, sendo: (1) *textile effluent*; (2) *Aspergillus niger* AN 400; (3) *Aspergillus niger*, no qual foram inseridos em três bancos de dados: *Sciencedirect*; *Scopus*; *Web of science*, que posteriormente foram combinadas da seguinte forma: 1 *AND* 2; 1 *AND* 3, onde foram pesquisados no idioma inglês para melhor abrangência.

A análise exploratória de dados ocorreu pelo uso do critério de exclusão e inclusão, prezando por estudos de acesso livre, com textos completos e nos idiomas português e inglês, que foram publicados entre os anos de 2014 a 2024. A escolha dos artigos foi feita por meio da leitura de título e resumo, seguindo critérios de elegibilidade de acordo com o questionamento norteador. Em seguida, os artigos foram analisados por leitura completa, de maneira a validar a inclusão no critério.

Ao decorrer das análises, foram incluídos trabalhos que utilizassem a espécie fúngica, *Aspergillus Niger*, porém, visto a baixa quantidade, ampliou-se para o gênero *Aspergillus*. No critério de exclusão prezou-se por artigos que tinham apenas disponíveis resumos, artigos que não pertenciam ao assunto principal da pesquisa e trabalhos onde o objetivo dos estudos foram apresentados em artigos científicos e artigos duplicados ou inconclusivos.

A coleta dos dados ocorreu entre os meses de março e abril de 2025 e a abordagem analítica empregada consistiu na elaboração de um quadro-síntese com os principais achados, distinguindo informações sobre as técnicas e programas empregados nos artigos revisados.

Os itens extraídos dos trabalhos foram relacionados às seguintes informações: autor, ano de publicação, espécie/cepa, tipo do corante, eficiência e tempo de degradação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Triagem dos artigos

A busca geral resultou em 390 artigos, tendo maior percentual na base de dados *ScienseDirect* (90,61%). A combinação que mais teve retorno de publicações foi: 1 *AND* 2 (99,00%), (Tabela 1).

Tabela 01: Quantitativo de estudos prospectados nos bancos de dados visitados

	Combinações			
Banco de dados	**1 AND 2**	**1 AND 2 AND 3**	**Total**	**%**
Web of science	1	10	11	3,56
Scopus	1	17	18	5,83
Sciencedirect	1	279	280	90,61
Total	3	306	309	100
%	1	99	100	100

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Após a triagem, feita por meio da aplicação dos critérios de elegibilidade e seleção dos estudos com base no fluxograma amostral do PRISMA, obteve-se 10 artigos duplicados, 8 artigos excluídos na etapa de pré-seleção e 272 excluídos na etapa de leitura na íntegra, devido não estarem em consonância com o objetivo geral desta pesquisa. Por fim, a amostra final foi constituída em 8 artigos (Figura 1).

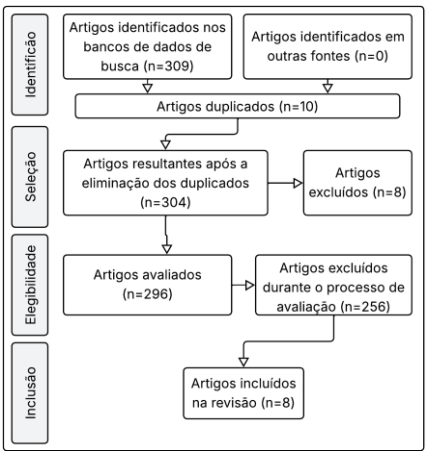


Figura 1. Fluxograma de amostragem dos estudos incluídos para síntese qualitativa
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os anos de 2014, 2019 e 2021 compreenderam o maior número de publicações sendo 75% do valor, seguido dos anos 2015 e 2020 com quantitativos menores (25%). Não foram

identificados estudos sobre o uso do fungo durante o ano de 2016, 2017, 2018, 2022, 2023 e 2024, nenhum padrão foi identificado para justificar esse fato. Indicando aumento na relevância sobre o uso de *Aspergillus* em processos complexos de tratamentos de efluentes nos últimos anos. Observou-se ainda, que de forma preponderante, os artigos são publicados no idioma inglês, indicando o potencial de internacionalização, porém, mostrando a carência de produções representativas em outros idiomas.

Foram identificadas 13 cepas fúngicas distintas pertencentes ao gênero *Aspergillus*. Destes, as espécies *A. niger* e *A. salinarus*, foram considerados com maior potencial para uso na degradação de corantes utilizados na indústria têxtil (Tabela 02).

Tabela 2. Eficiência de espécies de *Aspergillus* na degradação de corantes têxteis

AUTOR/ANO	ESPÉCIE / CEPA	CORANTE	DEGRADAÇÃO (%)
BIRUNTHA et al., 2021	*A. niger* (MH299977)	Vermelho ácido	98,00
SHEAM et al., 2021	*A. salinarus* (isolado TEF-3)	Vermelho reativo HE7B	97,41
	A. salinarus (isolado TEF-4)	Vermelho reativo HE7B	93,12
	A. salinarus (isolado TEF-5)	Vermelho reativo HE7B	82,89
SINGH; KUMAR, 2020	*A. niger* MTCC 1344	Efluente de corante Saree	78,02
SALEM et al., 2019	*A. niger* D2-1	Amarelo reativo (4GL)	89,50
		Vermelho reativo (4BL)	84,41
ROHINI, A.; RAJA, V. U.; RAJA, A., 2019	*A. flavus*	Vermelho reativo	72,00
	A. flavus	Turquesa	68,00
	A. flavus	Amarelo reativo	59,00
	A. fumigatus	*Viscose* Laranja-A	88,70
AYDOGAN; ARSLAN, 2015	*A. flavipes* MA-25	Preto reativo 5	100,00
ALMEIDA; CORSO, 2014	*A. terreus* (CCT 2679)	*Procion* vermelho MX-5B (CAS 17804-49-8)	98,00
TEHRANI; ASSADI; RASHEDI, 2014	*A. niger* (marinho)	Efluente têxtil	95,84
	A. niger (terrestre)	Pigmento Amarelo 74 (PY-74)	98,00
	A. niger (terrestre)	Azul reativo	98,00

	38 (RB-38

Fonte: Elaboração própria, 2025.

O uso de fungos na degradação de poluentes se destaca por sua eficiência de recursos, redução de resíduos e viabilidade económica, contribuindo com objetivos de sustentabilidade a longo prazo de modo a beneficiar a indústria têxtil e os ecossistemas, assim, a micorremediação reduz e degrada adequadamente os poluentes, compreendendo corantes têxteis e produtos químicos nocivos, de forma ambientalmente responsável (Pundir *et al*. 2024). Em seus estudos, Dullius (2004), observou que espécies pertencentes ao gênero *Aspergillus* possuem alta capacidade para o processo de degradação de corantes presentes em efluentes.

O percentual de remoção de corantes está atrelada a necessidade de condições ótimas, para melhor eficiência do microrganismo. Como visto em estudo feito por Hamad e Saied (2021), a alta obtenção de degradação do corante vermelho Congo por *Aspergillus niger* (98,80%), se deu devido ao favorecimento de melhores condições, como: Ph e temperatura.

Em estudo feito por Santos et al. (2015), foi constatado que a presença de glicose em alguns ciclos de seus experimentos proporcionaram melhoria na eficiência da degradação do corante objeto de estudo. A adição de glicose, sacarose, frutose, amido e glicerol servem como fontes primárias de carbono, influenciando positivamente na melhoria da eficiência da degradação de corantes (Ma *et al*. 2014).

A validação da eficiência do uso do gênero *Aspergillus* em processos de degradação de corantes, traz a possibilidade de melhoria na qualidade das águas, uma vez que, corpos hídricos são locais de lançamento de efluentes mal tratados, advindos de processos industriais. A melhora na qualidade do efluente lançado em mananciais, impacta diretamente na qualidade de vida de comunidades rurais, visto que, para alguns o rio é lugar de pesca, banho, dessedentação animal e lazer.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do gênero *Aspergillus* na degradação de corantes provenientes do efluente da indústria têxtil, têm demonstrado grande potencial degradador, assim, se tornando uma solução eficiente e de baixo custo para o setor industrial. Na maioria dos estudos a eficiência de degradação chegou a mais de 90%, o que reafirma o potencial de uma nova tecnologia promissora, porém, necessitando de mais estudos para analisar o seu potencial em larga escala, visto que os trabalhos tratam de efluentes simulados ou amostras de efluentes.A utilização da espécie Aspergillus no processo de degradação de corantes têxteis se demonstra promissor para melhoria em processos de tratamentos de efluentes da indústria têxtil, o que reafirma a importância da ampliação de pesquisas que proporcione aumento significativo de publicações.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, E. J. R., and C. R. Corso. 2014. "Comparative Study of Toxicity of Azo Dye Procion Red MX-5B Following Biosorption and Biodegradation Treatments with the *Fungi Aspergillus Niger* and *Aspergillus Terreus*." Chemosphere 112 (October): 317–22. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.060.

Amanda, Santos,. 2023. "Biossorção Do Corante Azul de Metileno Por Fungo Filamentoso *Aspergillus Niger* Como Estudo Alternativo Para Remediação Da Contaminação de Águas Residuais Com Corantes Têxteis." Ufal.br. http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/11892.

Aydogan, Mehmet Nuri, and Nazli Pinar Arslan. 2015. "Removal of Textile Dye Reactive Black 5 by the Cold-Adapted, Alkali- and Halotolerant Fungus *Aspergillus* Flavipes MA-25 under Non-Sterile Conditions." Desalination and Water Treatment 56 (8): 2258–66. https://doi.org/10.1080/19443994.2014.960463.

Biruntha, M., J. Archana, K. Kavitha, K. Vanimuthu, B. Karunai Selvi, J. Arockia John Paul, R.M. Vithyavathy, K. Kaviyarasu, and G. Ramalingam. 2021. "Efficacy of Dye Degradation of Contaminated Soil Microbial Isolates." Materials Today: Proceedings 36: 167–70. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.692.

Dullius, Carlos Henrique. 2025. "Utilização de Fungos Para Biodegradação de Corantes Têxteis Sintéticos." Handle.net. http://hdl.handle.net/11624/738.

Flávia Maria Galizoni, Eduardo Magalhães Ribeiro, Vico, Isaias Fernandes, Rafael Eduardo Chiodi, André Luiz, and Eduardo C Barbosa. 2017. "Hierarquias de Uso de Águas Nas Estratégias de Convívio Com O Semiárido Em Comunidades Rurais Do Alto Jequitinhonha." Revista Econômica Do Nordeste 39 (1): 132–52. https://doi.org/10.61673/ren.2008.455.

Garcia, Loreley. 2009. "Os Efeitos Da Contaminação Do Rio Gramame Na Vida E Na Dinâmica Das Comunidades Tradicionais E Remanescente de Quilombos." Academia.edu. 2009. https://www.academia.edu/download/8136880/gt75-ponencia%5Bgarcia-nunes-cordeir.pdf.

Galvão, Taís Freire, Thais de Souza Andrade Pansani, e David Harrad. 2015. "Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: A recomendação PRISMA." Epidemiologia e Serviços de Saúde 24, no. 2: 335–342. https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017.

Hamad, Mohammed T. M. H., and Mona S. S. Saied. 2021. "Kinetic Studies of Congo Red Dye Adsorption by Immobilized Aspergillus Niger on Alginate." Applied Water Science 11 (2). https://doi.org/10.1007/s13201-021-01362-z.

Haseena, Mehtab, Muhammad Faheem Malik, Asma Javed, Sidra Arshad, Nayab Asif, Sharon Zulfiqar, e Jaweria Hanif. 2017. "Water Pollution and Human Health." Environmental Risk Assessment and Remediation 1 (3): 16–19. https://doi.org/10.4066/2529-8046.100020.

Ma, Li, Rui Zhuo, Huahua Liu, Dong Yu, Mulan Jiang, Xiaoyu Zhang, and Yang Yang. 2014. "Efficient Decolorization and Detoxification of the Sulfonated Azo Dye Reactive Orange 16 and Simulated Textile Wastewater Containing Reactive Orange 16 by the White-Rot Fungus Ganoderma Sp. En3 Isolated from the Forest of Tzu-Chin Mountain in China." Biochemical Engineering Journal 82 (January): 1–9. https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.10.015.

Mia, Rony, Md Selim, Al Mojnun Shamim, Miraduzzaman Chowdhury, Suraiya Sultana, Manijah Armin, Musfic Hossain, Rozina Akter, Shuvo Dey, and Hasnun Naznin. 2019. "Review on Various Types of Pollution Problem in Textile Dyeing & Printing Industries of Bangladesh and Recommandation for Mitigation." Journal of Textile Engineering & Fashion Technology 5 (4). https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00205.

Periyasamy, Aravin Prince. 2024. "Recent Advances in the Remediation of Textile-Dye-Containing Wastewater: Prioritizing Human Health and Sustainable Wastewater Treatment." Sustainability 16 (2): 495. https://doi.org/10.3390/su16020495.

Pundir, Ashok, Mohindra Singh Thakur, Suraj Prakash, Neeraj Kumari, Niharika Sharma, Ettiyagounder Parameswari, Zhongqi He, et al. 2024. "Fungi as Versatile Biocatalytic Tool for Treatment of Textile Wastewater Effluents." Environmental Sciences Europe 36 (1). https://doi.org/10.1186/s12302-024-01007-3.

Rafique, Muhammad Asim, Adil Jamal, Zainab Ali, Shumaila Kiran, Sarosh Iqbal, Sofia Nosheen, Zulqarnain Ansar, and Md Belal Hossain. 2022. "[Retracted] Biologically Synthesized Copper Nanoparticles Show Considerable Degradation of Reactive Red 81 Dye: An Eco-Friendly Sustainable Approach." BioMed Research International 2022 (1). https://doi.org/10.1155/2022/7537955.

Rios, Beatriz, Paula Frassinetti da Silva Batista, and Diego Cesar Bezerra Crystello. 2024. "Impactos Da Poluição E Alteração de Habitat Em Ecossistemas de Água Doce: Uma Revisão Bibliográfica." Caderno Pedagógico 21 (8): e6568. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n8-086.

Rohini, A., V. Udhaya Raja, e A. Raja. 2019. "Bioremediation of Azo Dyes by Isolated Fungal Strains Adopted from Textile Effluent–Biosorption and Biodegradation Study." Annals of Biology 35 (1): 6–10. https://www.researchgate.net/publication/344283932.

Salem, Salem, Amr Fouda, Asem Mohamed, Mamdouh El-Gamal, and Mohamed Talat. 2019. "Biological Decolorization of Azo Dyes from Textile Wastewater Effluent by *Aspergillus Niger*." Egyptian Journal of Chemistry 0 (0). https://doi.org/10.21608/ejchem.2019.11720.1747.

Sannino, Filomena, Elena Di Matteo, Mariarosaria Ambrosecchio, and Domenico Pirozzi. 2023. "A Novel Approach, Based on the Combined Action of Chitosan Hydrogel and Laccases, for the Removal of Dyes from Textile Industry Wastewaters" 9 (1): 41–41. https://doi.org/10.3390/gels9010041.

Santos, Alana Mayara, Igor do, Carlos Ronald, Glória Marinho, and Kelly Rodrigues. 2015. "Degradação de índigo carmim em reator em bateladas sequenciais com *aspergillus* niger an 400 no tratamento de água residuária têxtil in natura." Revista AIDIS de Ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y Práctica, 328–43. https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/53492.

Sheam, Md. Moinuddin, Sudhangshu Kumar Biswas, Kazi Rejvee Ahmed, Shifath Bin Syed, Md Shamim Hossain, Ahmed Khan, Md Rockybul Hasan, Fatema Tuj Zohra, and Md Mizanur Rahman. 2021. "Mycoremediation of Reactive Red HE7B Dye by *Aspergillus* Salinarus Isolated from Textile Effluents." Current Research in Microbial Sciences 2 (August): 100056–56. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100056.

Singh, Kamaljit, and Sucharita Arora. 2011. "Removal of Synthetic Textile Dyes from Wastewaters: A Critical Review on Present Treatment Technologies." Critical Reviews in Environmental Science and Technology 41 (9): 807–78. https://doi.org/10.1080/10643380903218376.

Singh, Karuna, e Pankaj Kumar. 2020. "Decolorization of Saree Dyes, by *Aspergillus* niger MTCC1344 and Their Effect on Tomato (Gaytri F1 Hybrids)." International Journal of Scientific & Technology Research 9 (3): 6041–46. https://www.researchgate.net/publication/340535123.

Tehrani, Mazaheri, Mazaheri Assadi, and Hamid Rashedi. 2014. "Biodecolorization of Textile Effluents by Autochthonous Fungi." Journal of Applied Biotechnology Reports 1 (4): 161–65. https://www.biotechrep.ir/article_69156.html.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO
https://doi.org/10.5281/zenodo.19116592

RISCO DE TRANSMISSÃO DE DOENÇAS POR PRAGAS URBANAS EM ALAGOINHAS - BA: FATORES AMBIENTAIS, COMPORTAMENTAIS E CLIMÁTICOS

RIESGO DE TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES POR PLAGAS URBANAS EN ALAGOINHAS - BA: FACTORES AMBIENTALES, CONDUCTUALES Y CLIMÁTICOS

RISK OF DISEASE TRANSMISSION BY URBAN PESTS IN ALAGOINHAS - BA: ENVIRONMENTAL, BEHAVIORAL, AND CLIMATIC FACTORS

Ana Camile Barbosa Rodrigues[1], José Moises Cruz da Silva[2], Camilly Silva Rodrigues Soares[3] e Janiara Alves Batista[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, camile0anabarbosa@gmail.com, 0009-0004-9464-8672;
[2]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, moises2308cruz@gmail.com, 0009-0006-2015-4957;
[3]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, camillysrs123@gmail.com, 0009-0000-7808-4521;
[4]Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle de Vetores
Doenças e epidemiologia, controle de vetores e vigiância sanitária.

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores
Enfermedades y epidemiología, control de vectores y vigilancia sanitaria.

RESUMO

A proliferação de pragas urbanas constitui um problema crescente de saúde pública no Brasil, gerando impactos que vão desde danos estruturais até a transmissão de doenças infecciosas. Entre essas pragas, os pombos urbanos *(Columba livia)* destacam-se por sua elevada capacidade de adaptação ao ambiente antrópico, convivendo diretamente com seres humanos em praças, mercados, hospitais e escolas. Essas aves atuam como reservatórios e vetores de patógenos de relevância epidemiológica, incluindo bactérias *(Escherichia coli, Salmonella spp.)*, fungos *(Cryptococcus neoformans, Histoplasma capsulatum)* e agentes como *Chlamydia psittaci* e *Toxoplasma gondii*. Tais microrganismos estão associados a doenças respiratórias, gastrointestinais e sistêmicas, afetando especialmente crianças, trabalhadores da limpeza urbana e indivíduos imunocomprometidos. A metodologia consistiu em revisão bibliográfica de artigos científicos nacionais e internacionais, complementada por relatórios institucionais do Ministério da Saúde e literatura especializada sobre pragas urbanas. O levantamento evidenciou que, em diversas cidades brasileiras, a ausência de estratégias eficazes de manejo ambiental, combinada com o descarte inadequado de resíduos e a prática cultural de alimentar pombos, favorece a superpopulação dessas aves e amplifica o risco de surtos de doenças. Condições climáticas tropicais, como altas temperaturas e períodos de umidade elevada, também contribuem para a sobrevivência e dispersão de microrganismos

presentes nas fezes e penas dos pombos. Considerando o contexto nacional, este estudo projeta possíveis implicações para Alagoinhas – BA, município que apresenta características ambientais e sociais semelhantes às de cidades onde o problema já foi documentado. Apesar da ausência de dados locais da Vigilância em Saúde, é plausível ratificar que a presença crescente de pombos em áreas públicas represente um risco potencial à saúde coletiva. Conclui-se que a problemática demanda uma abordagem integrada, envolvendo vigilância epidemiológica, educação em saúde, melhorias na gestão de resíduos sólidos e estratégias éticas e eficazes de controle populacional. A antecipação dessas medidas pode evitar a intensificação dos impactos sanitários, ambientais e econômicos da presença massiva de pombos, promovendo saúde pública e sustentabilidade urbana.

Palavras-chave: Pragas urbanas, Pombos urbanos, Saúde pública, Vetores, Doenças Transmissíveis

RESÚMEN

La proliferación de plagas urbanas constituye un problema creciente de salud pública en Brasil, generando impactos que van desde daños estructurales hasta la transmisión de enfermedades infecciosas. Entre estas plagas, las palomas urbanas (*Columba livia*) se destacan por su alta capacidad de adaptación al ambiente antrópico, conviviendo directamente con los seres humanos en plazas, mercados, hospitales y escuelas. Estas aves actúan como reservorios y vectores de patógenos de relevancia epidemiológica, incluyendo bacterias (*Escherichia coli*, *Salmonella spp.*), hongos (*Cryptococcus neoformans*, *Histoplasma capsulatum*) y agentes como *Chlamydia psittaci* y *Toxoplasma gondii*. Dichos microorganismos están asociados a enfermedades respiratorias, gastrointestinales y sistémicas, que afectan especialmente a niños, trabajadores de limpieza urbana e individuos inmunocomprometidos. La metodología consistió en una revisión bibliográfica de artículos científicos nacionales e internacionales, complementada con informes institucionales del Ministerio de Salud y literatura especializada sobre plagas urbanas. El levantamiento evidenció que, en diversas ciudades brasileñas, la ausencia de estrategias eficaces de manejo ambiental, combinada con el inadecuado descarte de residuos y la práctica cultural de alimentar a las palomas, favorece la superpoblación de estas aves y amplifica el riesgo de brotes de enfermedades. Las condiciones climáticas tropicales, como altas temperaturas y períodos de elevada humedad, también contribuyen a la supervivencia y dispersión de microorganismos presentes en las heces y plumas de las palomas. Considerando el contexto nacional, este estudio proyecta posibles implicaciones para Alagoinhas – BA, municipio que presenta características ambientales y sociales semejantes a las de ciudades donde el problema ya ha sido documentado. A pesar de la ausencia de datos locales de la Vigilancia en Salud, es plausible afirmar que la creciente presencia de palomas en áreas públicas representa un riesgo potencial para la salud colectiva. Se concluye que la problemática demanda un abordaje integrado, que involucre vigilancia epidemiológica, educación en salud, mejoras en la gestión de residuos sólidos y estrategias éticas y eficaces de control poblacional. La anticipación de estas medidas puede evitar la intensificación de los impactos sanitarios, ambientales y económicos de la presencia masiva de palomas, promoviendo la salud pública y la sostenibilidad urbana.

Palabras clave: Plagas urbanas, Palomas urbanas, Salud pública, Vectores, Enfermedades transmisibles

ABSTRACT

The proliferation of urban pests constitutes a growing public health problem in Brazil, generating impacts ranging from structural damage to the transmission of infectious diseases. Among these pests, urban pigeons (*Columba livia*) stand out due to their high capacity to adapt to anthropic environments, coexisting directly with humans in squares, markets, hospitals, and schools. These birds act as reservoirs and vectors of epidemiologically relevant pathogens, including bacteria (*Escherichia coli*, *Salmonella spp.*), fungi (*Cryptococcus neoformans*, *Histoplasma capsulatum*), and agents such as *Chlamydia psittaci* and *Toxoplasma gondii*. Such microorganisms are associated with respiratory, gastrointestinal, and systemic diseases, especially affecting children, urban cleaning workers, and immunocompromised individuals. The methodology consisted of a literature review of national and international scientific articles, complemented by institutional reports from the Ministry of Health and specialized literature on urban pests. The survey showed that, in several Brazilian cities, the absence of effective environmental management strategies, combined with inadequate waste disposal and the cultural practice of feeding pigeons, favors the overpopulation of these birds and amplifies the risk of disease outbreaks. Tropical climatic conditions, such as high temperatures and periods of high humidity, also contribute to the survival and spread of microorganisms present in pigeon droppings and feathers. Considering the national context, this study projects possible implications for Alagoinhas – BA, a municipality that presents environmental and social characteristics similar to cities where the problem has already been documented. Despite the absence of local data from Health Surveillance, it is reasonable to state that the growing presence of pigeons in public areas represents a potential risk to collective health. It is concluded that the issue demands an integrated approach, involving epidemiological surveillance, health education, improvements in solid waste management, and ethical and effective population control strategies. Anticipating such measures may prevent the intensification of the sanitary, environmental, and economic impacts of the massive presence of pigeons, thus promoting public health and urban sustainability.

Keywords: Urban pests, Urban pigeons, Public health, Vectors, Communicable diseases

INTRODUÇÃO

Em Alagoinhas – BA, município com cerca de 151 mil habitantes (IBGE, 2022), a presença de pombos tem se intensificado significativamente nas últimas décadas. Esses animais são facilmente observados em praças, mercados, escolas, hospitais, rodoviárias e prédios históricos, tornando-se uma característica marcante da paisagem urbana.

De acordo com Lima (2023) as pragas urbanas sinantrópicas, como roedores, baratas, moscas, pombos e escorpiões, adaptam-se aos ambientes urbanos e podem transmitir doenças, causar acidentes e gerar prejuízos_econômicos e ambientais. Além da depreciação dos alimentos e danos aos diferentes tipos de materiais, esses animais podem transportar várias espécies de enterobactérias ao homem, uma vez que entram em contato com esgoto e depósitos de lixo, e serem hospedeiros intermediários de helmintos patogênicos.

O comportamento humano, como a prática cultural de alimentar pombos, associado à falha na gestão de resíduos sólidos e saneamento básico, contribui diretamente para a proliferação dessas aves. Há indicativos de que parte da população em áreas centrais da cidade alimenta pombos regularmente, aumentando o risco de superpopulação e a transmissão de patógenos. Essa combinação de riscos à saúde, danos à infraestrutura e fatores sociais faz com que os pombos se tornem uma questão complexa e multidimensional, exigindo abordagem integrada que envolva políticas públicas, educação comunitária, manejo ambiental e monitoramento epidemiológico.

O controle de pragas urbanas é uma atividade fundamental para manter a saúde ambiental de diferentes espaços, como residências, indústrias, hospitais e estabelecimentos comerciais. Essa prática deve seguir normas específicas em função do uso de produtos químicos, havendo atualmente uma tendência de adoção de técnicas mais sustentáveis, como o Manejo Integrado de Pragas, que prioriza medidas preventivas e corretivas antes do uso de inseticidas (REGULY, 2021).

Diante desse contexto, o presente artigo buscou analisar os riscos associados à presença de pragas urbanas, especificamente os pombos, em Alagoinhas – BA, considerando fatores ambientais, climáticos, sociais e culturais que favorecem sua proliferação, e discutir estratégias de prevenção e controle baseadas em evidências científicas. Visando fornecer subsídios para que gestores públicos, profissionais de saúde e a comunidade adotem medidas eficazes para minimizar os impactos dessas aves sobre a saúde coletiva e a qualidade de vida urbana.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo utiliza-se de pesquisa de caráter bibliográfico descritivo resultante de coletas em bases de dados de saúde e saneamento tais quais o SINAN, Datasus e Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) bem como em artigos científicos e relatórios publicados por instituições como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Ministério da Saúde e a Secretaria Municipal de Saúde de Alagoinhas (SESAU). Durante a realização da pesquisa foram utilizadas palavras-chave relacionadas ao tema central do artigo, como pragas urbanas, animais sinantrópicos, saneamento urbano, fatores ambientais, investigação epidemiológica, saúde pública e coletiva.

O município de Alagoinhas-BA tem uma área territorial de cerca de 707,84 km², segundo o Censo de 2022 do IBGE, a densidade demográfica é de aproximadamente 213,40

hab/Km² e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) registrado em 2010 era de 0,683. Localizada no agreste baiano, é um município de grande relevância regional, tanto cultural quanto econômica. Conhecida como a "Capital da Água", devido à abundância de aquíferos subterrâneos que abastecem a região, a cidade também ganhou destaque nacional por sediar importantes indústrias de bebidas, principalmente cervejarias, que impulsionam sua economia e geram empregos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os animais sinantrópicos, do grego *syn* ("junto") e *anthropos* ("humanos"), são caracterizados por uma relação ecológica similar ao comensalismo em áreas e habitações humanas, ou seja, são aqueles que se adaptaram a frequentar ambientes urbanizados visando os benefícios proporcionados pelos resíduos e a má manutenção dos espaços, desde alimentação a abrigo e falta de predadores. Entretanto a sinantropia se diferencia do comensalismo por gerar prejuízos aos seres humanos, já que estes animais que se aproveitam dos recursos residuais podem ser hospedeiros de microrganismos patogênicos ou peçonhas que afetam a saúde humana, tornando-os pragas no ambiente urbano. Estes animais podem variar de classe sendo mamíferos, anfíbios, repteis, aves ou insetos, como por exemplo ratos, morcegos, pombos, cobras, baratas, mosquitos, escorpiões, moscas, aranhas, carrapatos e cupins.

A circulação de animais sinantrópicos em busca de alimento está diretamente ligada às condições ambientais das cidades, especialmente ao manejo inadequado de resíduos e à precariedade do saneamento básico. O acúmulo de lixo, a má gestão do esgoto e a ausência de infraestrutura adequada criam nichos favoráveis para roedores, baratas, pombos e escorpiões, que encontram abrigo, acesso e disponibilidade de recursos nesses ambientes. Assim, a presença dessas espécies não deve ser entendida apenas como uma questão biológica, mas como reflexo de desequilíbrios socioambientais e falhas estruturais no planejamento urbano (FALCÃO; DIAS, 2025).

Tabela 1. Doenças relacionadas aos animais sinantrópicos e seus modos de transmissão.

DOENÇA	CONTÁGIO
Leptospirose e Hantavirose	Contato de pele ou mucosa com água taminada por urina de rato ou inalação de aerossóis

Dengue, Zika e Chikungunya	Picada de mosquitos *Aedes aegypti* infectados
Febre amarela	Pela picada dos mosquitos *Aedes aegypti* ou *Haemagogus;*
Tifo murino	Através da picada de pulgas infectadas;
Escorpionismo; Salmonelose e outros tipos de enterobactérias,	ndo há contaminação de alimentos e superfícies pelo contato de baratas e moscas
Doença de chagas	o contato de fezes do inseto nas mucosas ou feridas
Micoses e alergias	Pela inalação de esporos de pombos ou contato com as fezes

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os pombos *(Columba livia)*, aves originalmente domesticadas e introduzidas no Brasil pelos colonizadores europeus, tornaram-se, ao longo dos séculos, uma das principais pragas urbanas em cidades brasileiras. Sua elevada capacidade adaptativa, reprodutiva e comportamental permite que essas aves se estabeleçam em áreas altamente antropizadas, aproveitando locais protegidos para nidificação, como prédios, forros, monumentos históricos e estruturas urbanas abandonadas. Um casal de pombos pode gerar até 12 filhotes por ano, sendo que a taxa de sobrevivência dos jovens é elevada em ambientes urbanos devido à abundância constante de alimento, à ausência de predadores naturais e à presença de locais de abrigo.

A presença massiva de pombos representa riscos significativos à saúde pública. Estudos apontam que essas aves são vetores de agentes patogênicos como fungos (*Cryptococcus neoformans* e *Histoplasma capsulatum*), bactérias (*Salmonella spp.*) e protozoários, podendo causar doenças respiratórias, sistêmicas e, em casos graves, afetar o sistema nervoso central, principalmente em indivíduos imunocomprometidos. Além disso, a exposição crônica a fezes secas acumuladas em praças, escolas e hospitais contribui para o surgimento de surtos locais de doenças fúngicas e bacterianas, sendo a população infantil e trabalhadores de limpeza urbana os grupos mais vulneráveis. E o problema dos pombos não se limita apenas à saúde pública. Há impactos econômicos e ambientais relevantes, como corrosão de monumentos históricos, entupimento de calhas, degradação de prédios públicos e aumento de custos com manutenção urbana.

De Melo (2024) destaca que fezes, penas e secreções dos pombos podem disseminar agentes patogênicos responsáveis por enfermidades como criptococose, histoplasmose, ornitose e salmonelose, afetando principalmente o sistema respiratório e gastrointestinal dos

seres humanos, se tornando ainda mais graves em indivíduos imunocomprometidos, como portadores de HIV e transplantados, que apresentam maior vulnerabilidade a complicações clínicas mediante a essas infecções. Dessa forma, a manifestação de pombos deve ser considerada um risco biológico significativo, exigindo estratégias eficazes de controle populacional e medidas preventivas de saúde pública.

A presença dos pombos em áreas urbanas não se restringe apenas a um incômodo ambiental, mas também se caracteriza como um efetivo risco à saúde pública, sobretudo pela gravidade das infecções oportunistas que podem comprometer com potencial, principalmente os pacientes imunocomprometidos. Perazzoni e Guimarães (2023) destacam que a criptococose, associada diretamente às secreções liberadas pelos pombos, apresenta elevada morbidade e mortalidade em escala global, com estimativas anuais de 200 a 300 mil novos casos e aproximadamente 180 mil óbitos, e que no Brasil, a situação é igualmente preocupante, visto que regiões como o Distrito Federal registram entre 30 e 35 casos anuais, com índices de letalidade que ultrapassam 50%, comparáveis aos de países africanos.

O déficit de conhecimento leva à subestimação dos riscos e à baixa adesão a práticas preventivas, como vacinação, higienização e controle populacional, evidenciando a importância na adoção de programas de educação em saúde e vigilância epidemiológica para reduzir a transmissão zoonótica e garantir ambientes urbanos mais seguros. Pesquisas realizadas no sertão pernambucano mostraram que muitos moradores ainda possuem concepções equivocadas acerca das doenças transmitidas por animais sinantrópicos, incluindo os pombos, frequentemente relacionados de forma incorreta a enfermidades como Covid-19 ou brucelose apontados em relação aos pombos, é importante destacar que a percepção da população sobre zoonoses influencia diretamente nas estratégias de prevenção e controle (SANTOS; BRAGA, 2021).

Considerando as características do município de Alagoinhas de forma específica, é possível apontar fatores que podem contribuir com a ocorrência e permanência de animais vetores de doenças, dentre eles o clima, a fauna e flora local, a organização urbana, condições sanitárias, relação comportamental e cultural da população com esses animais, dentre outros. De acordo a Tipologia Climática Koppen&Geiger para o Estado da Bahia (2023) (pluviometria 1981-2020) o clima do município estudado pode ser classificado como úmido ou subúmido ou tropical chuvoso de floresta e relevante quantitativo de precipitação, o que proporciona um ambiente favorável a proliferação de insetos como mosquitos, baratas e escorpiões, que integram a classe de pragas urbanas e a cadeia alimentar de outros animais

transmissores.

A ausência ou deficiência de esgotamento sanitário e o manejo inadequado dos resíduos sólidos favorecem diretamente a sobrevivência e o crescimento populacional de espécies sinantrópicas, como os pombos (*Columba livia*). De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), o município ainda apresenta índices insuficientes de coleta e tratamento de esgoto, o que contribui para a degradação ambiental e cria ambientes propícios para a circulação de animais vetores. Além disso, o descarte inadequado de resíduos sólidos em áreas públicas, aliado à ineficiência na limpeza urbana, disponibiliza fontes constantes de alimento para os pombos, atraindo-os para mercados, praças e escolas, como apontam estudos sobre o manejo de resíduos e pragas urbanas (Papini et al., 2009).

No campo social e cultural, observa-se que parte significativa da população contribui, ainda que de forma involuntária, para a manutenção do problema. A prática de alimentar pombos em espaços públicos é comum em muitas cidades brasileiras, e em Alagoinhas essa realidade também é evidente, principalmente em regiões centrais de grande circulação de pessoas. Essa conduta cultural, muitas vezes associada a sentimentos de compaixão ou tradições religiosas, acaba reforçando o desequilíbrio populacional dessas aves (Salvadori, 2016). Esses fatores demonstram que a problemática vai além da questão ambiental, envolvendo um conjunto de condições sanitárias precárias e práticas culturais enraizadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliográfica evidencia que os pombos urbanos (Columba livia) representam riscos à saúde pública, atuando como reservatórios de microrganismos capazes de causar doenças respiratórias, gastrointestinais e sistêmicas, especialmente em crianças, trabalhadores de limpeza urbana e indivíduos imunocomprometidos. Embora não existam dados oficiais de Alagoinhas – BA, a cidade apresenta características que podem favorecer a superpopulação desses animais, indicando um potencial risco à saúde coletiva.

Para o enfrentamento do cenário em Alagoinhas, faz-se necessário investir em educação em saúde, campanhas de conscientização sobre os riscos das pragas urbanas e melhorias na gestão de resíduos e saneamento. Apenas por meio de ações Inter setoriais, que integrem políticas públicas, instituições de saúde e a própria comunidade, será possível reduzir a vulnerabilidade sanitária e social da cidade frente aos riscos representados pelos

pombos e outras pragas urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Melo, Nedilson José Gomes. 2024. "A influência da manifestação de pombos em ambientes urbanos e sua relação na classificação de risco biológico." Revista OWL (OWL Journal) – Revista Interdisciplinar de Ensino e Educação 2 (1): 446–56.

Dos Santos, Mayane Djanira, e Dan Vítor Vieira Braga. 2021. Animais sinantrópicos x transmissão de zoonoses conforme a percepção dos moradores do Sertão Central Pernambucano. E-book A.

FALCÃO, James da Cruz; DIAS, Reinaldo. Pragas urbanas e educação ambiental: repensando a convivência e os processos ecológicos na cidade. *Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, São Paulo, v. 11, n. 8, p. 1468– 1482, ago. 2025. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v11i8.20641

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). S.d. "Cidades e Estados: Alagoinhas – BA." Acesso em 9 set. 2025. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/alagoinhas.html.

LIMA, José Antonio Medeiros de. **ANIMAIS SINANTRÓPICOS NOCIVOS E OS IMPACTOS NA SAÚDE**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

Papini, Solange, Juliana Lima Oliveira, Alessandro Mazzoni, Maria Inês Oliveira Andrade, e Luiz Carlos Luchini. 2009. "Abundância e impacto do controle de pragas urbanas na região de uma subprefeitura do município de São Paulo." Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde 5 (9): 32–41. Acesso em 9 set. 2025. http://www.hygeia.ig.ufu.br/.

Perazzoni, Roberto de Gusmão, e Gabriela Vieira Carneiro Guimarães. 2023. "Criptococose como problema de saúde pública no Distrito Federal." Programa de Iniciação Científica – PIC/UniCEUB. Acesso em 9 set. 2025. https://www.publicacoes.uniceub.br/pic/article/view/9557/5703.

REGULY, Natalia Pellisoli. Proposição de indicadores de desempenho ambiental para empresas controladoras de pragas urbanas. 2021.

Salvadori, Fausto. 2016. "Pragas da cidade." Revista Apartes, São Paulo, ed. 18, fev. Atualizado em abr. 2022. Acesso em 9 set. 2025. https://www.saopaulo.sp.leg.br/apartes/pragas-da-cidade/.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). 2023. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2023. Brasília: Ministério das Cidades. Acesso em 20 set. 2025. http://www.snis.gov.br/.

Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI). 2023. Cartograma

climático do Estado da Bahia – classificação Köppen-Geiger. Salvador: SEI. Acesso em 24 set. 2025. https://ftp.sei.ba.gov.br/Geoinformacao/cartograma/estado/carto_tipclim-kg_ba_6v5m_2023_cor.pdf.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116613

SANEAMENTO NO LITORAL NORTE E AGRESTE BAIANO – UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

SANEAMIENTO EN LA REGIÓN NORTE Y AGRESTE DE BAHÍA – UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

SANITATION IN THE NORTH COAST AND AGRESTE REGION OF BAHIA – A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Marley Oliveira de Souza[1], José Moisés Cruz da Silva[2], Luísa Magalhães Araújo[3] e Janiara Alves Batista[4].

[1]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, marleyoliveiradesouza@gmail.com , 0009-0009-3886-5281;

[2] Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, moises2308cruz@gmail.com, 0009-0006-2015-4957;

[3]Mestra em Meio ambiente, Águas e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, luisaaraujo@uneb.br, 0000-0003-0494-4386;

[4]Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Alagoinhas-BA, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087.

Eixo Temático 10 – Saúde pública e controle de vetores

Indicadores de monitoramento e avaliação de saúde ambiental rural.

Eje Temático 10 – Salud Pública y Control de Vectores

Indicadores para el Monitoreo y la Evaluación de la Salud Ambiental Rural.

Thematic Axis 10 – Public Health and Vector Control

Indicators for Monitoring and Assessing Rural Environmental Health.

RESUMO

Há um lapso entre a situação atual de todos os serviços do saneamento na região do território de identidade do Litoral Norte e Agreste Baiano - LNAB, possíveis prognósticos de políticas

públicas, a visualização e as análises do sucesso de focos de investimentos locais. No entanto, o diagnóstico dessas mudanças ao longo do tempo e a discussão das necessidades socioambientais são pautas reivindicadas pela população. Nesse sentido, este artigo buscou traçar o panorama científico sobre o território de identidade, apontando assuntos tendências, polos de construção do conhecimento e possíveis inferências para auxiliar neste cenário. A análise bibliométrica foi utilizada nesse processo para obter informações pertinentes ao estudo, utilizando a base de dados Scopus, a partir do rigor sistemático e princípios de transparência semelhantes aos presentes no protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020. Esta orientação padroniza a coleta, direciona a promoção da triagem, seleção e análise descritiva e analítica sistemática. Contudo, evidenciou-se a carência de construção científica e uma certa lacuna de dados, principalmente com foco específico na região do LNAB, sobretudo em áreas rurais e periféricas. Quanto aos temas, os compreendidos pelo saneamento, saúde pública e salubridade ambiental foram os mais abordados, direta e indiretamente, uma vez que estão intrinsecamente ligados. Assim, esta análise bibliométrica traz luz às mudanças no panorama geral do saneamento básico na região, especificamente, ao acompanhar as discussões acadêmicas robustas nesta região nos últimos 30 anos. Ademais, como os assuntos mais envoltos da salubridade ambiental são os que foram mais recorrentes, há uma sugestão da estagnação nas características socioambientais da região e dificuldade quanto a melhoria de sua qualidade. Todavia, não há enfoque temáticoe nem individualização de estudos, sejam em regiões urbanizadas ou não, demonstrando desatenção à temática nesse território de identidade. Deste modo, é possível inferir que há uma crescente nas análises situacionais e também promoção da busca por meios de diagnosticar e depreender os rumos da região no futuro.

Palavras-chave: Salubridade ambiental, saúde pública, Litoral Norte e Agreste Baiano, Bibliometria, Planejamento municipal.

RESÚMEN

Existe una brecha entre el estado actual de todos los servicios de saneamiento en la región Litoral Norte e Agreste Baiano (LNAB), las posibles previsiones de políticas públicas y la visualización y el análisis del éxito de los enfoques de inversión locales. Sin embargo, la población demanda un diagnóstico de estos cambios a lo largo del tiempo y una discusión de las necesidades socioambientales. Por lo tanto, este artículo buscó delinear el panorama científico del territorio de identidad, destacando temas de tendencia, polos de desarrollo de conocimiento y posibles inferencias para sustentar este escenario. En este proceso, se utilizó el análisis bibliométrico para obtener información relevante para el estudio, utilizando la base de datos Scopus, con base en principios de rigor sistemático y transparencia similares a los presentes en el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020. Esta directriz estandariza la recopilación de datos y dirige la promoción del cribado, la selección y el análisis descriptivo y analítico sistemático. Sin embargo, se evidenció una falta de investigación científica y una cierta brecha de datos, particularmente con un enfoque específico en la región LNAB, especialmente en áreas rurales y periféricas. En cuanto a los temas, los que abarcan saneamiento, salud pública y salud ambiental fueron los más abordados, directa e indirectamente, por estar intrínsecamente vinculados. Así, este análisis bibliométrico arroja luz sobre los cambios en el panorama general del saneamiento básico en la región, específicamente mediante el seguimiento de las sólidas discusiones académicas en esta región durante los últimos 30 años. Además, dado que

los temas más estrechamente relacionados con la salud ambiental son los más recurrentes, se sugiere un estancamiento en las características socioambientales de la región y dificultades para mejorar su calidad. Sin embargo, no existe un enfoque temático ni una individualización de los estudios, ya sea en regiones urbanizadas o no urbanizadas, lo que demuestra una falta de atención al tema en este territorio de identidad. Por lo tanto, es posible inferir un número creciente de análisis situacionales y una promoción de la búsqueda de formas de diagnosticar y comprender la dirección futura de la región.

Palabras clave: Salud ambiental, salud pública, Litoral Norte y Agreste de Bahía, Bibliometría, Planificación municipal.

ABSTRACT

There is a gap between the current status of all sanitation services in the Litoral Norte e Agreste Baiano (LNAB) region, potential public policy forecasts, and the visualization and analysis of the success of local investment focuses. However, the population demands a diagnosis of these changes over time and a discussion of socio-environmental needs. Therefore, this article sought to outline the scientific panorama of the identity territory, highlighting trending topics, knowledge development hubs, and possible inferences to support this scenario. Bibliometric analysis was used in this process to obtain relevant information for the study, using the Scopus database, based on systematic rigor and transparency principles similar to those present in the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020 protocol. This guideline standardizes data collection and directs the promotion of screening, selection, and systematic descriptive and analytical analysis. However, a lack of scientific research and a certain data gap were evident, particularly with a specific focus on the LNAB region, especially in rural and peripheral areas. Regarding the topics, those encompassing sanitation, public health, and environmental health were the most frequently addressed, directly and indirectly, as they are intrinsically linked. Thus, this bibliometric analysis sheds light on changes in the general panorama of basic sanitation in the region, specifically by monitoring the robust academic discussions in this region over the last 30 years. Furthermore, since the topics most closely related to environmental health are the most recurrent, there is a suggestion of stagnation in the region's socio-environmental characteristics and difficulties in improving their quality. However, there is no thematic focus or individualization of studies, whether in urbanized or non- urbanized regions, demonstrating a lack of attention to the topic in this territory of identity. Thus, it is possible to infer a growing number of situational analyses and a promotion of the search for ways to diagnose and understand the region's future direction.

Keywords: Environmental health, public health, North Coast and Agreste Bahia, Bibliometrics, Municipal planning.

INTRODUÇÃO

Bancos de dados federais possuem certa desatualização e lacunas de informação deixadas pelos municípios (Brasil, 2024a; Brasil, 2024b; Brasil, 2019). Desta forma, lapsos sobre a real situação do saneamento na região dificultam possíveis prognósticos de políticas públicas e sucesso de investimentos locais. Portanto, o diagnóstico dessas mudanças ao longo

do tempo e a discussão das necessidades socioambientais mais manifestas pela população caracterizam uma brecha importante a ser preenchida pela produção acadêmica, com o intuito de auxiliar a nortear políticas locais preventivas e corretivas.

Nesse contexto, a análise bibliométrica apresenta-se como uma ferramenta estratégica para compreender o cenário das publicações científicas, permitindo identificar tendências, frequências e áreas ainda pouco exploradas. Estes bancos de dados, como a SciVerse Scopus ou Scopus, englobam métricas como número de citações, fatores de impacto, coautorias, redes de colaboração entre instituições e países, além de identificar tendências e lacunas temáticas em diferentes áreas do conhecimento (Singh et al., 2021; Mongeon, P.; Paul-hus, 2016; Elsevier, 2025).

Considerando que a base oferece grande abrangência de áreas, assuntos e tipos de documentos, pertinentes ao estudo, este artigo buscou traçar o panorama científico sobre o território de identidade do Litoral Norte e Agreste Baiano - LNAB, apontando assuntos tendências, polos de construção do conhecimento e possíveis inferências, sublinhando a importância de integrar ciência, gestão territorial e desenvolvimento sustentável em prol da qualidade de vida da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo se caracteriza como análise bibliométrica, de natureza básica, abordagem mista e objetivo descritivo e analítico. O processo para obter os resultados seguiu um rigor sistemático e princípios de transparência semelhantes aos presentes no protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) 2020 (Page et al.,2021), buscando minimizar vieses na seleção dos documentos para análises e discussões posteriores. A fonte de informação utilizada neste estudo foi a SciVerse Scopus, que consiste na maior base de dados com resumos e referências da Elsevier (Elsevier, 2025).

Na interface de busca, utilizou-se de uma *string* de pesquisa dividida em duas barras (com delimitação de "article title, Abstract, Keywords") ligadas pelo operador booleano “AND”. Na primeira, continha a combinação “("Bahia" OR "agreste baiano" OR "North Recôncavo" OR "Recôncavo Norte" OR [...]”, que inclui, seguidamente, todos os municípios do LNAB em sua completude, enquanto, na segunda, foi inserido “("saúde pública" OR "public health") OR ("salubridade ambiental" OR "environmental salubrity" OR "sanitary condition*") OR ("saneamento básico" OR "basic* sanitation*" OR "abastecimento de água" OR "water supply*") OR ("sanitary sewage*" OR "esgotamento sanitário") OR ("drainage" OR "drenagem")”.

Quanto aos termos "North Recôncavo" e "Recôncavo Norte", sua inclusão foi feita para possibilitar compreender àqueles que poderiam sair do escopo, mas foram somente considerados aqueles englobados dentro do agreste. Na segunda barra, dentro dos operadores booleanos, foram utilizados "AND" e "OR" - por conta da necessidade somente de abranger - e o símbolo de asterisco para incluir variações da mesma palavra no plural.

Além disso, os parênteses foram adotados para agrupar sinônimos e conceitos relacionados aos eixos temáticos de busca - no intuito de abarcar todos os possíveis periódicos compreendidos pelo escopo da análise, nacionais e internacionais - dentro dos critérios de relação direta ou indireta com objetivo geral do tema que está sendo trabalhado no projeto de Iniciação Científica (IC) "Condições do saneamento básico nos municípios do Litoral Norte e Agreste Baiano e seus impactos na saúde". Adicionalmente, também foram aplicados filtros do alcance de anos para os últimos 30 anos, ou seja, entre 1995 e 2025; para as áreas temáticas de "Ciência Ambiental", "Ciências Agrárias e Biológicas", "Ciências da Terra e Planetárias", "Ciências Sociais", "Engenharia" e "profissionais de saúde". Em seguida, foi limitado a pesquisas registradas no país (Brasil).

Por fim, após extração dos metadados em formato CSV (Comma-Separated Values), foi utilizado o Software de Análise Bibliométrica "VOSviewer", com a intenção de criar mapas de redes em nuvem, de coocorrência com, no mínimo, 2 palavras-chave (evitando uma nuvem muito densa e de difícil observação). Ao visualizar o resultado, é possível perceber e discutir as mudanças de foco e intensidade de pesquisa ao longo do tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PRODUÇÃO CIENTÍFICA IDENTIFICADA

Diante do levantamento bibliométrico, em busca de materiais correlatos, foram encontrados 284 documentos, sendo 266 artigos, 8 análises, 7 artigos de conferência, 2 capítulos de livro e 1 observação. Após a realização de uma triagem, foram pré-selecionados 45 trabalhos, porém, só foram selecionados 4 ou 1,4% deles, ou seja, somente estes se enquadravam no escopo da pesquisa para o LNAB, compondo-se também de trabalhos que discutissem não somente sobre municípios do território de interesse, mas que, pelo menos, o tivessem incluídos em sua delimitação de estudo. Esse número ínfimo, em relação ao total encontrado, evidencia uma limitação de produções científicas específicas sobre a referida região e indica lacuna de incentivo e investimentos no diagnóstico e prognósticos que integram ações de políticas públicas que estejam mais alinhadas as necessidades locais e de com possibilidade de ser efetivamente o que se precisa. Entretanto, a situação encontrada

mostra restrição do aprofundamento em estudos locais e impede o conhecimento da situação atual de saneamento do território.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS PUBLICAÇÕES

O levantamento da distribuição espacial das publicações evidencia um significativo desinteresse em construção de pesquisas especificadas por municípios, seja ele de maior ou menor porte, quando a delimitação é agreste baiano. Dentro dos selecionados, não houve nenhum artigo individualizado por município, todas as demarcações de escopo de estudo foram amplas e somente um deles discorre e cita diretamente sobre os municípios dentro da área de interesse. Neste último caso, o único município do agreste que é citado é Alagoinhas- BA, em meio a outros 17 municípios que estão distribuídos pelo país. Esse padrão indica que a produção científica tende a privilegiar áreas mais urbanizadas e economicamente estratégicas, deixando em segundo plano localidades periféricas ou de menor expressão, o que pode influenciar diretamente na visibilidade de seus problemas ambientais e sociais.

TEMÁTICAS MAIS ABORDADAS NO SANEAMENTO BÁSICO

Com relação às temáticas discutidas, dos 4 periódicos, não há foco temático específico, porém, quanto as palavras-chave, é perceptível, pela Figura 1, que somente alguns não estão dentro do grande grupo temático central.

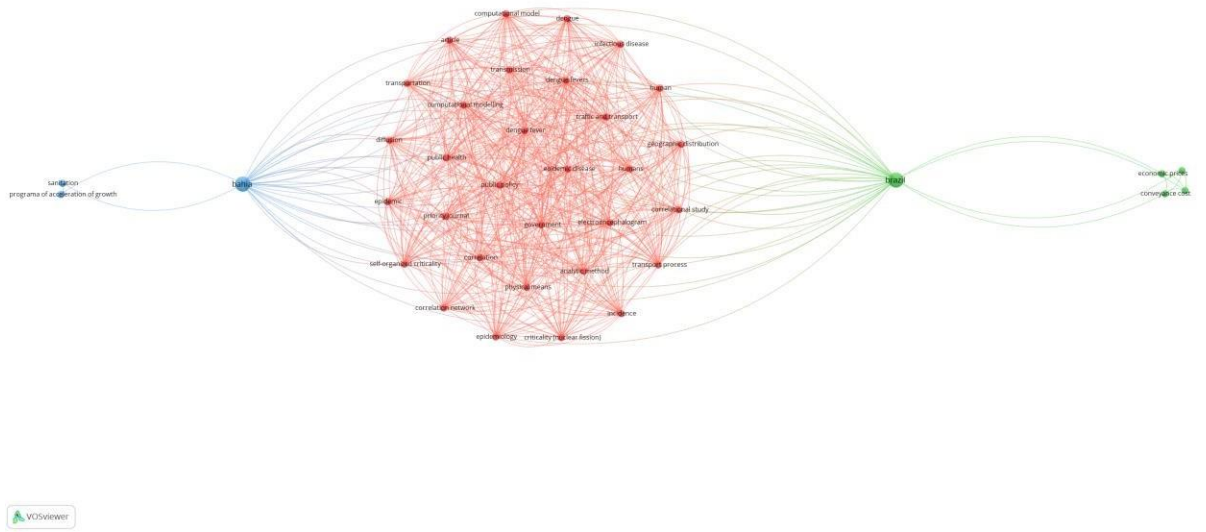


Figura 1. Grupos de Semelhanças por paridade de tema.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Cada agrupamento pode ser nomeado de acordo com sua base temática e cromática, a saber: o vermelho, corresponde ao agrupamento de saúde, parasitos e fatores socioambientais, evidenciando a ênfase em aspectos relacionados à saúde e às condições socioambientais que implicam diretamente na saúde preventiva da população; o azul representa o agrupamento de recursos hídricos e contaminação da água, destacando-se por integrar dimensões técnicas, ambientais e econômicas ligadas ao manejo da água em contextos mais abrangentes, de maneira mais geral; e o verde caracteriza o agrupamento de gestão ambiental e qualidade da água em contextos urbanos, o que aponta para a integração entre fatores ambientais e urbanos em escala local e nacional, se concentrando em questões de abastecimento de água. Observa- se, através da Figura 2, que a representação gráfica sintetiza a convergência dos diferentes eixos temáticos, sendo possível contemplar que o termo mais ocorrência foram “Bahia” e “Brazil”, com 2 co-ocorrência cada, enquanto todo o restante teve somente 1 ocorrência (número mínimo para aparecer na nuvem). Isto é um retrato da escassez de periódicos.

Quanto as possíveis inferências, quando se verifica no grande agrupamento em vermelho, mais relacionado ao saneamento, salubridade ambiental e saúde pública, é possível interpretar que há uma maior preocupação com a saúde pública e expectativa quanto aos déficits nos serviços e infraestrutura quando comparado aos outros grupos, já o grupo vermelho não engloba somente os termos "sanitation", "programa of acceleration of growth", "Bahia", "Brazil", "economic prices" e "conveyance cost".

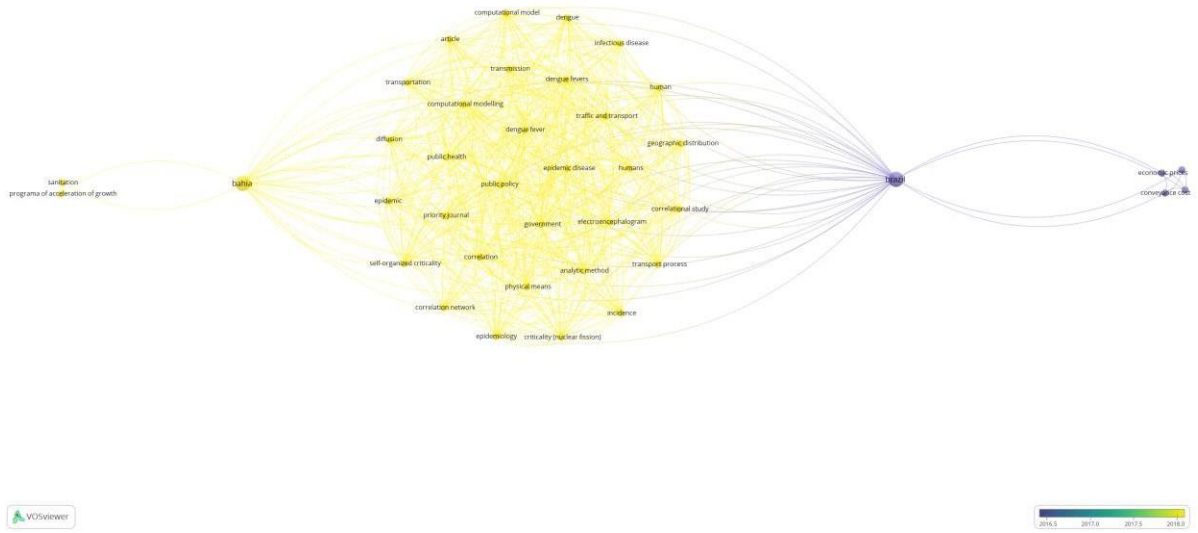


Figura 2. Grupos de Semelhanças por período de publicação.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Quanto a mudança de assunto com o tempo entre o artigo mais antigo e o mais novo (entre meados de 2016 à 2018), o grupamento de saúde, parasitas e fatores socioambientais, em conjunto com o de recursos hídricos e contaminação da água, agora amarelos na Figura 2, fazem parte dos assuntos mais atuais e discutidos, entre 2017 à 2018. Ainda assim, o de gestão ambiental e qualidade da água, foi mais discutido entre 2016 e 2017. Essa progressão temática pode ser associada ao contexto das políticas públicas nacionais de saneamento que já estavam em vigor, mas em amadurecimento, a exemplo do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) que estava em revisão desde 2017 e seguiu até 2019 (Brasil, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste modo, este tipo de análise bibliométrica pode ajudar a compreender e acompanhar as mudanças no panorama geral do saneamento básico ou outras variáveis de uma região específica, auxiliando a compreender déficits de pesquisa e lacunas de informação. Porém, também é dependente de dados para que haja algum tipo de inferência e compreensão. Assim sendo, de acordo com os resultados obtidos, é possível perceber que o foco de estudo tem mudado ao longo do tempo, mas, ainda assim, a grande preocupação das pesquisas selecionadas, no recorte proposto pelo estudo, são os assuntos relacionados ao saneamento, salubridade ambiental e saúde pública, com maior foco em avaliar,

situacionalmente e de forma abrange, o sucesso de políticas públicas que já estavam em vigor. Além do mais, é visível que as mudanças de foco tem seguido um caminho ainda pouco previsível, já que há pouco dado para se inferir seguramente algum maior assunto de atenção da comunidade científica. Ademais, fica claro que a escassez crítica de pesquisas adicionais as já existentes e específicas a região do LNAB vai resultar em políticas públicas de saneamento genéricas e potencialmente ineficazes, perpetuando problemas de saúde pública e degradação ambiental na região, simplesmente pelo fomento ínfimo na produção acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2024a. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINISA: diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2023. Brasília: Ministério das Cidades. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/saneamento/sinisa. Acesso em: 24 de agosto de 2025.

Brasil. Ministério das Cidades. 2024b. "Municípios da Bahia, Paraíba, Piauí e Maranhão ainda não atualizaram as informações do Sinisa." Gov.br, Brasília, DF. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/municipios-da-bahia-paraiba-piaui-e-maranhao-ainda-nao-atualizaram-as-informacoes-do-sinisa. Acesso em: 2 de setembro de 2025.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. 2019. Painel de Destinação de Resíduos - SINIR. Brasília, DF. Disponível em: https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/. Acesso em: 24 de agosto de 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Plansab – Revisão de 2019. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/plansab-2013-revisao-de-2019. Acesso em: 8 out. 2025.

Elsevier. 2025. "Scopus: A comprehensive abstract and citation database for impact makers." Disponível em: https://www-elsevier-com.ez86.periodicos.capes.gov.br/products/Scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030. Acesso em: 24 de agosto de 2025.

Mongeon, P., and A. Paul-hus. 2016. "The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis." Scientometrics 106 (1): 213–28.

Page, Matthew J., Joanne E. McKenzie, Patrick M. Bossuyt, et al. 2021. "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews." BMJ 372. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

Singh, V. K., P. Singh, M. Karmakar, J. Leta, and P. Mayr. 2021. "The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis." Scientometrics 126 (6): 5113–42.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116635

SANEAMENTO, VIGILÂNCIA EM SAÚDE E SAÚDE PÚBLICA: UMA REVISÃO NARRATIVA (2021–2025)

SANEAMIENTO, VIGILANCIA EN SALUD Y SALUD PÚBLICA: UNA REVISIÓN NARRATIVA (2021-2025)

SANITATION, HEALTH SURVEILLANCE, AND PUBLIC HEALTH: A NARRATIVE REVIEW (2021–2025)

Thainá Azevedo[1], Camila Mauricio[2] , Janiara Batista[3] e Luisa Magalhães[4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, thayazevedo26@outlook.com, 0009-0006-1218-4937;
[2]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil camilamauricio0023@gmail.com, 0009-0000-4990-5837;
[3]Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087;
[4] Mestra em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, luisaaraujo@uneb.br, 0000-0003-0494-4386.

Eixo Temático 10 – Saúde Pública e Controle De Vetores
Doenças e epidemiologia, controle de vetores e vigilância sanitária.

Eje Temático 10 – Salud pública y control de vectores
Enfermedades y epidemiología, control de vectores y vigilancia sanitaria.

Thematic Axis 10 – Public Health and Vector Control
Diseases and epidemiology, vector control and health surveillance.

RESUMO

O saneamento básico é regulamentado pela Lei nº 11.445/2007, e atualizado pelo Novo Marco Legal do Saneamento, Lei nº 14.026/2020, o mesmo constitui uma das principais determinantes da saúde pública, sendo de suma importância para a prevenção de doenças, a promoção da qualidade de vida e a redução das desigualdades socioeconômicas. Assegurar serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo adequado de resíduos sólidos e manejo e drenagem de águas pluviais vai além de um direito fundamental, representa uma das medidas mais eficazes para promover saúde, diminui a ocorrência enfermidades evitáveis e reduz gastos hospitalares, configurando-se como um pilar estratégico do desenvolvimento sustentável. Este presente estudo tem caráter de revisão narrativa e analisa a literatura publicada entre 2021 e 2025, incluindo artigos científicos brasileiros, legislações nacionais e relatórios de organizações internacionais. O objetivo deste foi relacionar a cobertura e a qualidade dos serviços de saneamento à incidência de doenças de veiculação hídrica e vetorial no Brasil, destacando a interação entre infraestrutura sanitária, vigilância epidemiológica e políticas públicas de saúde e saneamento. Os resultados da revisão indicam que municípios com baixa cobertura de serviços de saneamento tem maiores taxas de internações por diarreia, hepatite A e doenças decorrentes do consumo de água com qualidade imprópria. Estudos recentes evidenciam que a precariedade dos serviços básicos de saneamento está diretamente associada à vulnerabilidade epidemiológica da população. Além disso, a deficiência no manejo de águas

pluviais contribui para a manutenção de criadouros do Aedes aegypti, ampliando a disseminação de arboviroses como dengue, zika e Chikungunya. Corroborou-se que a insuficiência de infraestrutura sanitária intensifica desigualdades regionais e onera o sistema público de saúde, gerando elevados custos hospitalares. Conclui-se que o saneamento básico deve ser compreendido não somente como medida preventiva de saúde, mas também como instrumento de promoção da equidade social e fortalecimento do desenvolvimento econômico. Como prevista pelo Marco Legal do Saneamento, a meta de universalização dos serviços, prevista para 2033, exigirá investimentos de forma contínua e significativos em infraestrutura, ampliação da regulação e fiscalização, bem como o fortalecimento da vigilância sanitária e epidemiológica. A integração entre setores como saúde, meio ambiente e políticas públicas locais será fundamental para reduzir os números de doenças evitáveis, melhorar os indicadores de saúde e garantir avanços reais rumo ao desenvolvimento sustentável e à justiça social.

Palavras-chave: saneamento básico, saúde pública, doenças de veiculação hídrica, vigilância epidemiológica, políticas públicas

RESÚMEN

El saneamiento básico está regulado por la Ley N.º 11.445/2007 y actualizado por el Nuevo Marco Legal de Saneamiento, Ley N.º 14.026/2020. Constituye uno de los principales determinantes de la salud pública, siendo de suma importancia para la prevención de enfermedades, la promoción de la calidad de vida y la reducción de las desigualdades socioeconómicas. Garantizar el suministro de agua potable, la eliminación de aguas residuales, la gestión adecuada de residuos sólidos y los servicios de gestión de aguas pluviales y drenaje va más allá de un derecho fundamental; representa una de las medidas más eficaces para promover la salud, reducir la incidencia de enfermedades prevenibles y los costos hospitalarios, constituyendo un pilar estratégico del desarrollo sostenible. Este estudio es una revisión narrativa y analiza la literatura publicada entre 2021 y 2025, incluyendo artículos científicos brasileños, legislación nacional e informes de organizaciones internacionales. El objetivo de este estudio fue relacionar la cobertura y la calidad de los servicios de saneamiento con la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y vectores en Brasil, destacando la interacción entre la infraestructura de saneamiento, la vigilancia epidemiológica y las políticas públicas de salud y saneamiento. Los resultados de la revisión indican que los municipios con baja cobertura de servicios de saneamiento presentan mayores tasas de hospitalización por diarrea, hepatitis A y enfermedades derivadas del consumo de agua de calidad inadecuada. Estudios recientes muestran que la precariedad de los servicios básicos de saneamiento está directamente relacionada con la vulnerabilidad epidemiológica de la población. Además, la gestión deficiente del agua de lluvia contribuye al mantenimiento de criaderos de Aedes aegypti, lo que aumenta la propagación de arbovirus como el dengue, el zika y el chikunguña. Se confirmó que la infraestructura de saneamiento insuficiente agrava las desigualdades regionales y sobrecarga el sistema de salud pública, generando altos costos hospitalarios. Por consiguiente, el saneamiento básico debe entenderse no solo como una medida preventiva de salud, sino también como un instrumento para promover la equidad social y fortalecer el desarrollo económico. Según lo establecido por el Marco Legal de Saneamiento, la meta de universalizar los servicios, prevista para 2033, requerirá inversiones continuas y significativas en infraestructura, una mayor regulación y supervisión, y el fortalecimiento de la vigilancia sanitaria y epidemiológica. La integración entre sectores como la salud, el medio ambiente y

las políticas públicas locales será esencial para reducir el número de enfermedades prevenibles, mejorar los indicadores de salud y asegurar un progreso real hacia el desarrollo sostenible y la justicia social.

Palabras clave: saneamiento básico; salud pública; enfermedades transmitidas por el agua; vigilancia epidemiológica; políticas públicas

ABSTRACT

Basic sanitation is regulated by Law No. 11,445/2007 and updated by the New Legal Framework for Sanitation, Law No. 14,026/2020. It constitutes one of the main determinants of public health, being of paramount importance for disease prevention, promoting quality of life, and reducing socioeconomic inequalities. Ensuring drinking water supply, sewage disposal, adequate solid waste management, and rainwater management and drainage services goes beyond a fundamental right; it represents one of the most effective measures for promoting health, reducing the occurrence of preventable diseases, and reducing hospital costs, constituting a strategic pillar of sustainable development. This study is a narrative review and analyzes the literature published between 2021 and 2025, including Brazilian scientific articles, national legislation, and reports from international organizations. The objective of this study was to relate the coverage and quality of sanitation services to the incidence of waterborne and vector-borne diseases in Brazil, highlighting the interaction between sanitation infrastructure, epidemiological surveillance, and public health and sanitation policies. The results of the review indicate that municipalities with low sanitation service coverage have higher rates of hospitalizations for diarrhea, hepatitis A, and diseases resulting from the consumption of unsuitable water quality. Recent studies show that the precariousness of basic sanitation services is directly associated with the epidemiological vulnerability of the population. Furthermore, poor rainwater management contributes to the maintenance of breeding grounds for Aedes aegypti, increasing the spread of arboviruses such as dengue, Zika, and Chikungunya. It was confirmed that insufficient sanitation infrastructure exacerbates regional inequalities and burdens the public health system, generating high hospital costs. It follows that basic sanitation should be understood not only as a preventative health measure, but also as an instrument for promoting social equity and strengthening economic development. As established by the Sanitation Legal Framework, the goal of universalizing services, scheduled for 2033, will require continuous and significant investments in infrastructure, expanded regulation and oversight, and the strengthening of health and epidemiological surveillance. Integration between sectors such as health, the environment, and local public policies will be essential to reduce the number of preventable diseases, improve health indicators, and ensure real progress towards sustainable development and social justice.

Keywords: basic sanitation; public health; waterborne diseases; epidemiological surveillance; public policies

INTRODUÇÃO

O saneamento básico, regulamentado pela Lei nº 11.445/2007 e atualizado pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), estabelece diretrizes nacionais para a

universalização e a qualidade dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, manejo e drenagem urbana e de águas pluviais. Esses serviços configuram-se como um dos fatores fundamentais na promoção da saúde pública, sendo reconhecidos como um dos mais importantes mecanismos de prevenção de doenças e promoção da saúde (Santos et al, 2021).

A garantia do saneamento é um direito essencial à população e indispensável para á saúde coletiva. A ausência ou precariedade na prestação desses serviços contribui para aumento na incidência de Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI), como diarreias, hepatite A, leptospirose, dengue e esquistossomose, que impactam negativamente o quadro epidemiológico brasileiro, favorecendo a transmissão de doenças e ampliando desigualdades regionais (Santos et al. 2021).

Estudos recentes reforçam que a insuficiência de infraestrutura sanitária aumenta a vulnerabilidade epidemiológica, favorece a incidência de doenças infectocontagiosas e aumenta os custos do sistema público de saúde. Doenças de transmissão hídrica e alimentar (DHTA), como as diarreias agudas (DDA), continuam entre as principais causas de mortalidade associadas ao consumo de água imprópria e a ausencia de tratamento adequado de esgoto (Moraes 2024). A precaridade da infraestrutura sanitária também cria ambientes favoráveis à reprodução de vetores, como evidenciado nos casos de esquistossomose em comunidades rurais do estado de Sergipe no Nordeste Brasileiro (González et al. 2021).

As deficiências nos serviços de saneamento têm impactos diretos e locais. Guimarães et al. (2025) observaram que deficiências significativas no abastecimento de água e no esgotamento sanitário em Itacoatiara-AM contribuem para condições de vulnerabilidade epidemiológica da população. Similarmente Cossolin et al. (2025) demonstram a relação entre baixos índices de salubridade ambiental no estado de Mato Grosso e a maior ocorrência de doenças veiculadas pela água. No Nordeste, Rios (2022), identificou não-conformidades em parâmetros de qualidade da água na Região Metropolitana de Salvador-BA, em descumprimento à Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, evidenciando riscos diretos à saúde da população e reforçando a necessidade de monitoramento contínuo. Nesse sentido, Braga et al. (2022) defendem que a salubridade ambiental deve ser compreendida de forma ampliada, englobando aspectos sociais, culturais e ambientais além da infraestrutura física.

Segundo o relatório *UN-Water GLAAS 2014 Report, Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities is the third biennial GLAAS* da Organização Mundial da Saúde (OMS), a elevação dos níveis de serviços de água e de esgoto poderia reduzir significamente em até 70% os casos de doenças diarreicas, além de gerar ganhos econômicos estimados em 1,5% do PIB global, com retorno de US$ 4,3 para cada dólar investido (OMS, 2014). Além de que, investir em água e demais serviços de saneamento traz diversos benefícios, desde a redução da mortalidade infantil e de doenças de veiculação hídrica até melhorias na saúde materna, no bem-estar coletivo e no desempenho econômico.

Além de atender as diretrizes estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento, a expansão da cobertura dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, dialogam diretamente com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, em especial ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento, que têm como objetivo assegurar a disponibilidade e o manejo sustentável de água e saneamento para todos até 2030 (IPEA,2019).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo revisar a produção científica recente, relacionando os serviços de saneamento básico com a incidência de doenças de veiculação hídrica e vetorial, sob a perspectiva da saúde pública e da vigilância epidemiológica. Buscou-se compreender a interação entre controle de vetores, epidemiologia e vigilância sanitária como base para estratégias integradas que articulem avanços legais, investimentos e tecnologias adequadas, especialmente em regiões periféricas e rurais, historicamente desassistidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consistiu em uma revisão narrativa desenvolvida a partir de artigos científicos brasileiros publicados entre 2021 e 2025, bem como de legislações nacionais vigentes e relatórios de organizações internacionais. Foram incluídos estudos que abordaram temáticas relacionadas ao saneamento básico e ambiental, saúde pública, doenças de veiculação hídrica, controle de vetores e vigilância epidemiológica.

Para a organização da análise, os dados extraídos dos trabalhos selecionados foram sistematizados em uma planilha, contemplando as seguintes variáveis: autores, ano de publicação, região de estudo, indicadores utilizados, principais resultados e limitações apontadas. Essa estratégia possibilitou uma leitura comparativa dos achados e a identificação de tendências relevantes.

A abordagem metodológica adotada privilegiou a análise descritiva, articulando os resultados encontrados com os marcos legais e as diretrizes nacionais de saúde, de modo a evidenciar as relações entre saneamento, saúde pública e vigilância epidemiológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão evidenciou que municípios com baixa cobertura de esgotamento sanitário apresentam maiores taxas de internações por diarreia e hepatite A, confirmando o papel preventivo do saneamento no controle de doenças de veiculação hídrica (Cossolin et al. 2025). Além disso, a precariedade no manejo das águas pluviais contribui para a proliferação do Aedes aegypti, vetor de arboviroses como dengue, zika e chikungunya, demonstrando a necessidade de maior articulação entre políticas de gestão urbana e estratégias de vigilância em saúde (Santos et al. 2024). Esses resultados reforçam que a deficiência de saneamento básico constitui um dos principais fatores de risco para doenças evitáveis, tornando-se um desafio persistente para a saúde pública.

Verificou-se ainda que déficits de abastecimento de água potável e de salubridade ambiental ampliam as vulnerabilidades epidemiológicas em diferentes regiões do país, impactando de forma mais intensa populações em situação de desigualdade socioespacial (Guimarães et al. 2025; Rios 2022). Nesse sentido, a vigilância epidemiológica desempenha papel essencial na detecção precoce e no controle de surtos, garantindo respostas mais ágeis e integradas.

A relação entre saúde pública, saneamento e controle de vetores é inegável. A ausência de infraestrutura básica perpetua ciclos de pobreza, amplia as desigualdades sociais e onera custos dos cofres públicos. Iniciativas como o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e o Novo PAC, que prevê R$ 34 bilhões para investimentos em água e esgoto entre 2023 e 2026, representam avanços significativos, mas ainda insuficientes para assegurar a universalização dos serviços até 2033. A insuficiência de saneamento básico no Brasil é,

portanto, um fator determinante para a manutenção das desigualdades em saúde e para o aumento da carga de doenças relacionadas ao sanemaneto inadequado.

No contexto nacional, o Instituto Trata Brasil (2023) estima que a universalização dos serviços, prevista para 2033 pelo Novo Marco Legal do Saneamento, exigirá aportes superiores a R$ 44 bilhões anuais, valor ainda distante da realidade orçamentária brasileira que ineste anualmente cerca de R$ 20 bilhões anuais (Trata Brasil, 2023). Dessa forma, é imperativo fortalecer a vigilância sanitária e epidemiológica, ampliar o acesso a tecnologias adequadas e garantir investimentos contínuos, assegurando os princípios da universalização e da integração do saneamento.

Os desafios apresentados, revelam que embora o Brasil tenha estabelecido como meta a universalização dos serviços até 2033, também é necessário alinhar-se ao compromisso global firmado na Agenda 2030, neste caso, principalmente no ODS 6, com metas de universalização de forma equitativa de água potável e saneameto seguro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o saneamento básico é um determinante e constitui medida essencial de prevenção contra doenças de veiculação hídrica, ao mesmo tempo em que representa um fator estratégico para a promoção da igualdade em saúde. A insuficiência dos serviços nesse setor está diretamente associada ao aumento da incidência de enfermidades como diarreias e hepatite A, além de favorecer a proliferação de vetores responsáveis pela transmissão de arboviroses.

Os avanços necessários exigem investimentos contínuos em infraestrutura e o fortalecimento da vigilância sanitária e epidemiológica, de modo a possibilitar a detecção precoce de surtos e a adoção de medidas eficazes de controle. Também deve haver maior integração entre os órgãos de saúde, meio ambiente e saneamento, condição indispensável para o controle de vetores e para a redução das desigualdades regionais em saúde.

Portanto, fortalecer a articulação entre saúde pública, vigilância epidemiológica e políticas de saneamento é imprescindível para reduzir internações, melhorar a qualidade de vida da população e contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável como o ODS 6 - Água e Saneamento. Nesse sentido, investir em infraestrutura de saneamento básico deve ser compreendido não apenas como medida preventiva em saúde, mas sobretudo como estratégia de desenvolvimento sustentável, essencial para a promoção da saúde coletiva,

a redução das desigualdades socioambientais e a consolidação de melhorias concretas na qualidade de vida da população brasileira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às Engenheiras Janiara Alves e Luisa Araújo, docentes e orientadoras do projeto de iniciação científica em saúde e saneamento, pelo acompanhamento, incentivo e contribuição essencial ao desenvolvimento deste trabalho. Estendo nossos agradecimentos à Universidade do Estado da Bahia (UNEB), pela oportunidade de acesso à graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, que tem possibilitado a construção de uma formação acadêmica comprometida com a busca por um desenvolvimento seguro, saudável e ambientalmente sustentável para toda a sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Silas Barbosa Souza, Pablo de Jesus Oliveira, Ana Maria Nogueira de Souza, e Iara Leão Luna de Souza. 2024. “A relação entre a falta de saneamento básico, o aumento das doenças infecciosas e dos gastos públicos: revisão sistemática de literatura.” Brazilian Journal of Health Review 7 (2): 1–16.

Braga, D. D. L., S. L. D. X. Santos, N. R. Bezerra, T. E. S. Bernardino, L. R. S. Moraes, V. D. Moraes, e P. S. Scalize. 2022. “Salubridade ambiental: conceituação e aplicabilidade.” Engenharia Sanitária e Ambiental 27 (3): 457–464.

Brasil. 2007. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm

Brasil. 2020. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

Cossolin, A. S., A. Falbot, G. F. Romeiro, H. P. Perroni, R. D. Rosa, W. D. M. Ferreira, e A. B. G. de Abreu. 2025. “Impacto na saúde pública por doenças de veiculação hídrica, por falta de saneamento básico no estado de Mato Grosso, Brasil.” Aracê 7 (4): 15595–15607.

dos Anjos Guimarães, G., G. C. Reis, G. M. M. Costa, P. T. C. Santos, D. T. da Silva Mitouso, F. de Castro Maia, e R. C. Alves. 2025. “Análise do saneamento ambiental em um município da Amazônia Central, Brasil.” Revista Brasileira de Geografia Física 18 (3): 1917–1939.

Fortes Neto, Paulo, Marcos Roberto Furlan, Yasmin Nogueira Costa, Valter José Cobo, e Isabella Perondi Fortes. 2024. “Tecnologias utilizadas no saneamento básico das áreas rurais no Brasil: uma revisão sistemática.” Latin American Journal of Business Management 15 (2): 49–66.

Gomes, Cláudia Alessandra. 2024. Relação do saneamento básico com indicadores de saúde e educacionais no Brasil. Dissertação de Mestrado em Políticas Públicas, Universidade Católica de Brasília.

González, S. C. V., Y. M. Barbosa, A. C. de Oliveira, e K. C. G. M. de Araujo. 2021. "Saneamento ambiental e esquistossomose em uma comunidade do Nordeste do Brasil." Research, Society and Development 10 (8): e28410817382.

Guimarães, G. A., Reis, G. C., Costa, G. M. M., Santos, P. T. C., da Silva Mitouso, D. T., & Alves, R. C. (2025). Análise do saneamento ambiental em um município da Amazônia Central, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, 18(03), 1917-1939.

Ipea. "6. Água Potável e Saneamento." Acessado 2 de setembro de 2025. https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html.

Moraes, N. C. de. 2024. "Os impactos de fontes de água inseguras e saneamento inseguro na saúde pública brasileira: uma análise da situação atual frente aos sistemas de saneamento implantados no Brasil." Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade.

Pereira, Jessiane da Silva, Anderson Azevedo Mesquita, Rodrigo Otávio Peréa Serrano, Cleilton Sampaio de Farias, José Genival do Vale Moreira, e Alexsande de Oliveira Franco. 2024. "Saúde e saneamento básico: algumas reflexões." Uaquiri – Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia 6 (1): 92–106.

Pimentel, João Marcos Freire, Pablo Soares Pinheiro Porto, Ivy Cruz Faislon, e Katia de Miranda Avena. 2020. "Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado na Bahia, de 2010 a 2016." Brazilian Journal of Health Review 3 (4): 7945–57.

Porto, A. G. S., G. O. Santos, e A. P. S. M. Fiori. 2021. "Indicadores de saúde e saneamento ambiental em Marechal Deodoro – AL." Diversitas Journal 6 (2): 2859–2876.

Rios, I. H. R. 2022. "Análise de dados fora do padrão sobre a água de abastecimento da Região Metropolitana de Salvador." Revista Baiana de Saúde Pública 46 (4): 267–284.

Santos, J. C. do Nascimento, F. Esperidião, e F. R. de Moura. 2021. "Saneamento básico e os custos na saúde pública: uma análise para a região Nordeste do Brasil." Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas, 249–264.

Silva Filho, Daniel Rodrigues, Fernanda Franco Martins, Savianny Gonçalves Rodrigues, e Márcia Cristina Hizim Pelá. 2022. "Análise dos indicadores de saneamento básico e seus impactos sobre a saúde pública e coletiva em Aparecida de Goiânia, Goiás." Brazilian Journal of Health Review 5 (2): 5407–27.

Trata Brasil. "Investimento para universalização do saneamento: o que ainda falta?." Trata Brasil. s.d. Acessado em 2 de setembro de 2025. https://tratabrasil.org.br/investimento-para-universalizacao-do-saneamento-o-que-ainda-falta/.

Trata Brasil. 2023. Novo PAC: como impacta o saneamento básico? São Paulo: Instituto

Trata Brasil.

UN-Water. 2014. Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities. UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS) 2014 Report. Genebra: World Health Organization. Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/139735/9789241508087_eng.pdf

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116655

SAÚDE PÚBLICA: RELAÇÃO ENTRE SANEAMENTO BÁSICO E A PREVENÇÃO DE DOENÇAS

SALUD PÚBLICA: RELACIÓN ENTRE SANEAMIENTO BÁSICO Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES

PUBLIC HEALTH: THE RELATIONSHIP BETWEEN BASIC SANITATION AND DISEASE PREVENTION

Franciele de Carvalho Messias[1], José Moisés Cruz da Silva[2], Felipe Kelve Oliveira Nascimento[3] e Janiara Alves Batista [4].

[1]Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, mfran.esa@gmail.com; 0009-0006-8148-5629;
[2]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, moises2308cruz@gmail.com, 0009-0006-2015-4957;
[3]Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, felipe_kelve@outlook.com, 0009-0002-0366-1261;
[4]Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas, Brasil, janiarabatista@uneb.br, 0000-0002-7054-5087;

EIXO 10 – SAÚDE PÚBLICA E CONTROLE DE VETORES
Doenças e epidemiologia, controle de vetores e vigilância sanitária.
Relação entre qualidade da água e doenças de veiculação hídrica.

RESUMO

O saneamento básico é um dos pilares fundamentais para a promoção da saúde pública, pois está diretamente relacionado à prevenção de doenças e à melhoria da qualidade de vida da população. O acesso adequado a serviços como abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana reduz de forma significativa a propagação de doenças de veiculação hídrica e outros agravos. No entanto, no Brasil, a realidade ainda é marcada por desigualdades regionais e sociais, que resultam em milhões de pessoas sem acesso pleno a esses serviços essenciais. Esse cenário contribui para a manutenção de elevados índices de morbidade e mortalidade, especialmente entre populações vulneráveis, como crianças e idosos. O presente estudo, desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica, teve como objetivo analisar a relação entre saneamento básico e a prevenção de doenças, destacando os principais desafios e benefícios associados à universalização desses serviços. Os resultados evidenciam que a ausência de saneamento básico adequado é responsável por grande parte das internações hospitalares relacionadas a doenças como diarreia, hepatite A, cólera e parasitoses intestinais. Estimativas da Organização Mundial da Saúde indicam que a mortalidade infantil por doenças diarreicas poderia ser reduzida em até 88% com a ampliação do acesso à água tratada e a sistemas de esgotamento sanitário eficientes.

No Brasil, apenas pouco mais da metade da população possui coleta de esgoto, sendo as regiões Norte e Nordeste as mais prejudicadas e menos favorecidas. Apesar do avanço representado pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que estabeleceu metas para 2033, persistem desafios ligados ao financiamento, às disparidades regionais e à gestão municipal. Por outro lado, os benefícios multidimensionais do saneamento são expressivos, abrangendo melhorias na saúde pública, geração de empregos, estímulo ao turismo, fortalecimento da educação e aumento da produtividade econômica. Tecnologias inovadoras, como *wetlands*, biodigestores e cisternas de captação de água de chuva, também se apresentam como alternativas sustentáveis para ampliar a cobertura em comunidades rurais e periféricas. Conclui-se que investir em saneamento básico é investir em saúde, equidade e desenvolvimento sustentável, sendo indispensável para reduzir desigualdades e promover bem-estar social.

Palavras-chave: Saneamento básico; saúde pública; prevenção de doenças.

RESÚMEN

El saneamiento básico es uno de los pilares fundamentales para promover la salud pública, ya que está directamente vinculado a la prevención de enfermedades y a la mejora de la calidad de vida de la población. El acceso adecuado a servicios como el suministro de agua potable, la recolección y el tratamiento de aguas residuales, la gestión de residuos sólidos y el drenaje urbano reduce significativamente la propagación de enfermedades transmitidas por el agua y otros problemas de salud. Sin embargo, en Brasil, la situación aún está marcada por desigualdades regionales y sociales, lo que resulta en que millones de personas carezcan de pleno acceso a estos servicios esenciales. Esta situación contribuye a las continuas altas tasas de morbilidad y mortalidad, especialmente entre poblaciones vulnerables como niños y ancianos. Este estudio, desarrollado con base en una revisión bibliográfica, tuvo como objetivo analizar la relación entre el saneamiento básico y la prevención de enfermedades, destacando los principales desafíos y beneficios asociados con la universalización de estos servicios. Los resultados muestran que la falta de saneamiento básico adecuado es responsable de una gran proporción de ingresos hospitalarios relacionados con enfermedades como diarrea, hepatitis A, cólera y parásitos intestinales. Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud indican que la mortalidad infantil por enfermedades diarreicas podría reducirse hasta en un 88% con un mayor acceso a agua tratada y sistemas de alcantarillado eficientes. En Brasil, solo un poco más de la mitad de la población tiene acceso a la recolección de aguas residuales, siendo las regiones Norte y Nordeste las más afectadas. A pesar del progreso representado por el Marco Legal de Saneamiento (Ley N°. 14.026/2020), que estableció metas para 2033, persisten desafíos relacionados con el financiamiento, las disparidades regionales y la gestión municipal. Por otro lado, los beneficios multidimensionales del saneamiento son significativos, incluyendo mejoras en la salud pública, la creación de empleo, el estímulo del turismo, la educación y el aumento de la productividad económica. Tecnologías innovadoras, como humedales, biodigestores y cisternas para la recolección de agua de lluvia, también ofrecen alternativas sostenibles para ampliar la cobertura en comunidades rurales y periféricas. Por consiguiente, invertir en saneamiento básico es una inversión en salud, equidad y desarrollo sostenible, y es esencial para reducir las desigualdades y promover el bienestar social.

Palabras clave: Saneamiento básico; salud pública; prevención de enfermedades.

ABSTRACT

Basic sanitation is one of the fundamental pillars for promoting public health, as it is directly linked to disease prevention and improving the population's quality of life. Adequate access to services such as drinking water supply, sewage collection and treatment, solid waste management, and urban drainage significantly reduces the spread of waterborne diseases and other health problems. However, in Brazil, the situation is still marked by regional and social inequalities, resulting in millions of people lacking full access to these essential services. This situation contributes to the continued high rates of morbidity and mortality, especially among vulnerable populations such as children and the elderly. This study, developed based on a literature review, aimed to analyze the relationship between basic sanitation and disease prevention, highlighting the main challenges and benefits associated with the universalization of these services. The results show that the lack of adequate basic sanitation is responsible for a large proportion of hospital admissions related to diseases such as diarrhea, hepatitis A, cholera, and intestinal parasites. Estimates from the World Health Organization indicate that infant mortality from diarrheal diseases could be reduced by up to 88% with increased access to treated water and efficient sewage systems. In Brazil, only a little over half the population has access to sewage collection, with the North and Northeast regions being the most affected. Despite the progress represented by the Sanitation Legal Framework (Law No. 14,026/2020), which established targets for 2033, challenges remain related to financing, regional disparities, and municipal management. On the other hand, the multidimensional benefits of sanitation are significant, including improvements in public health, job creation, tourism stimulation, education, and increased economic productivity. Innovative technologies, such as wetlands, biodigesters, and rainwater collection cisterns, also offer sustainable alternatives for expanding coverage in rural and peripheral communities. It follows that investing in basic sanitation is an investment in health, equity, and sustainable development, and is essential for reducing inequalities and promoting social well-being.

Keywords: Basic sanitation; public health; disease prevention.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (s.d.), é um conjunto de serviços e infraestruturas que inclui o abastecimento de água potável, a coleta e tratamento de esgoto, a coleta e destinação final de resíduo urbano, drenagem e manejo de águas pluviais. Tais vertentes são indispensáveis à sobrevivência humana e objetivam melhorar a qualidade de vida da população.

De acordo com o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) (2023), cerca de dois bilhões de pessoas no mundo ainda não possuem acesso a serviços básicos de saneamento, contribuindo para a propagação de doenças que poderiam ser facilmente prevenidas, ou seja, o acesso inadequado a serviços de saneamento é responsável por uma

parcela significativa das doenças transmissíveis, especialmente em regiões com infraestrutura precária.

No Brasil, as desigualdades no acesso ao saneamento básico refletem diretamente nos índices de doenças o que evidencia a necessidade de estudos que relacionem a infraestrutura sanitária com os indicadores de saúde (MAIA, 2023). A gestão do saneamento básico é uma preocupação central para as instituições responsáveis, uma vez que, ao longo da história, as demandas relacionadas ao uso principalmente da água evoluíram, acompanhadas por avanços tecnológicos que estabeleceram padrões de qualidade mais rigorosos e definiram os volumes adequados para diversas atividades (LEITE, 2020).

Frente ao exposto, o presente artigo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, a relação entre o saneamento básico e a prevenção de doenças, destacando os principais desafios e benefícios associados à implementação de serviços de saneamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo adotou uma abordagem descritiva, qualitativa e exploratória, e baseando-se em uma revisão bibliográfica e documental. Foram analisadas publicações científicas, relatórios técnicos e institucionais, legislações nacionais e internacionais em fontes confiáveis. A busca das informações foi realizada nas bases de dados *SciELO*, *Google Scholar*, bem como repositórios acadêmicos de universidades públicas brasileiras e anais de congressos e eventos científicos nacionais.

Além das bases acadêmicas, também foram consultados relatórios e legislações pertinentes, como o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), os Relatórios de Saneamento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os dados do IBGE e do BNDES, e documentos de organizações internacionais, como Organização Mundial de Saúde (OMS) e UNICEF. A seleção desses materiais seguiu critérios de relevância temática, atualidade e credibilidade institucional, visando compor uma análise crítica e contextualizada sobre o papel do saneamento básico na promoção da saúde e na prevenção de doenças no Brasil.

As combinações de palavras-chaves utilizadas incluíram os descritores “saneamento básico”, “saúde pública” e “prevenção de doenças”, pesquisados tanto de forma isolada quanto combinada, utilizando o operador booleano *AND* (“saneamento básico *AND* saúde pública”; “saúde pública *AND* prevenção de doenças”; “saneamento básico *AND* prevenção de

doenças"). O recorte temporal adotado abrangeu o período de 2012 a 2024, com ênfase nas publicações e documentos mais recentes, compreendidos entre 2020 e 2024.

Como critérios de inclusão, foram considerados trabalhos disponíveis em texto completo, de acesso público e que apresentassem relação direta com a temática do saneamento básico e sua influência na prevenção de doenças. Após a seleção, os dados relevantes foram extraídos, resumidos, analisados e sintetizados de forma sistemática, em busca de proporcionar uma visão abrangente e fundamentada sobre o tema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos por meio da revisão bibliográfica e documental revelam que a ausência de saneamento básico adequado constitui um dos principais fatores associados à disseminação de doenças de veiculação hídrica (DVH). Segundo a OMS (2012), aproximadamente 88% das mortes globais por diarreia estão associados à falta de abastecimento de água potável e a inexistência de sistemas eficientes de coleta e tratamento de esgoto. Desse total, 84% das vítimas são crianças menores de cinco anos, o que evidencia a vulnerabilidade desse grupo populacional.

No contexto nacional, o IBGE (2022) aponta que apenas 54,3% da população brasileira têm acesso à coleta de esgoto, o que revela uma forte desigualdade entre as regiões do país. Enquanto o Sudeste apresenta os melhores índices de cobertura, as regiões Norte e Nordeste permanecem em situação crítica, com municípios que ainda dependem de fossas rudimentares ou descartam efluentes diretamente no solo e em corpos d'água (CALANDRO, 2022). Essa desigualdade reflete o impacto direto das condições socioeconômicas e da capacidade institucional de cada localidade, evidenciando como a infraestrutura sanitária acompanha as desigualdades territoriais e de renda.

O estudo de Imada *et al.* (2016) reforça essa relação ao demonstrar que melhorias na rede de saneamento no município de Jordão (AC) reduziram a prevalência de diarreia de 45,1% para 35,4% entre 2005 a 2012. Essa redução confirma o papel preventivo do saneamento na promoção da saúde pública. Da mesma forma, o Relatório de Avaliação de Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (SasiSUS, 2022) indica que a ampliação do acesso a água tratada e a condições adequada de higiene contribui para reduzir doenças como parasitoses e dermatoses en comunidades tradicionais e periféricas.

Em escala nacional, os dados da OMS (2012) estimam que cerca de 15 mil pessoas

morrem anualmente no Brasil em decorrência de doenças relacionadas à ausência de esgotamento sanitário, além de 350 mil internações hospitalares associadas ao mesmo fator. Além do impacto na saúde pública, esse cenário gera custos elevados para o Sistema Único de Saúde (SUS) e perpetua o ciclo de pobreza e exclusão social, uma vez que a população mais atingida é a de baixa renda, residente em áreas de infraestrutura precária.

A lei n° 14.026/2020, que institui o Novo Marco Legal do Saneamento, estabelece metas ambiciosas até 2023, prevendo 99% de abastecimento de água potável e 92% de coleta e 93% de tratamento de esgoto (BNDES, 2016; SANTOS, 2023). Essas metas representam um avanço significativo na agenda de universalização dos serviços, mas sua efetivação depende de planejamento integrado e equitativo.

Muitos desafios ainda se impõem ao cumprimento dessas metas, sobretudo devido à extensão territorial do Brasil, ao elevado número de municípios e às desigualdades socioeconômicas e de gestão pública. Conforme Diniz *et al.* (2023) identificaram em Minas Gerais, a fragmentação do planejamento e a escassez de recursos dificultam a implementação dos planos municipais de saneamento. Em Manaus (AM), a falta de infraestrutura adequada e de planejamento urbano agrava os casos de doenças de veiculação hídrica (DVH), aumentando a vulnerabilidade da população (NEGREIROS, 2023).

Nas comunidades ribeirinhas, o problema é ainda mais grave. Nessas localidades, a topografia baixa e os solos encharcados dificultam a instalação de sistemas convencionais de esgoto, o que leva ao lançamento de dejetos diretamente nos rios ou no solo, favorecendo a contaminação ambiental e o aumento de doenças infecciosas (TAVARES *et al*., 2021). De acordo com Castro e Cerezini (2022), a dispersão populacional e o difícil acesso elevam os custos de implementação do saneamento em áreas rurais, tornando necessária a adoção de soluções descentralizadas, como fossas sépticas, biodigestores e *wetlands* domésticos, desde que acompanhadas por manutenção e orientação técnica adequadas (TAVARES *et al.,* 2021).

Nos centros urbanos, os problemas se relacionam ao crescimento desordenado, à ocupação irregular de encostas e margens de rios e à falta de integração entre os setores de habitação, transporte e meio ambiente (MARGUTI e KRAUSE, 2024). Essa fragmentação institucional compromete a efetividade das políticas de saneamento e acentua vulnerabilidades urbanas, sobretudo nas periferias metropolitanas.

Por outro lado, o avanço do saneamento traz benefícios multidimensionais. Investimentos no setor resultam em ganhos econômicos, sociais e ambientais. A OMS (2012)

aponta que US$ 1 investido em saneamento gera um retorno de US$ 5,50, devido à redução de custos com saúde e aumento da produtividade. A Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016) complementa que R$ 1 bilhão investido no setor cria cerca de 58 mil empregos, evidenciando o impacto positivo sobre a economia e o desenvolvimento regional.

Além disso, o acesso ao saneamento básico influencia a educação e a equidade social. Conforme Martins (2020), em regiões onde há maior cobertura de água e esgoto, a incidência de doenças infecciosas entre crianças é menor, o que se reflete em melhores taxas de frequência e desempenho escolar. Esses resultados demonstram que o saneamento atua como um vetor de justiça social e redução das desigualdades, reforçando a interdependência entre saúde, educação e desenvolvimento.

Dessa forma, observa-se que a universalização do saneamento básico é essencial para promover justiça social, prevenir doenças e fortalecer a gestão das políticas públicas. Instrumentos como o PLANSAB e o Programa Água para Todos (BONINI, 2023; BEZERRA, 2024) reforçam a necessidade de estratégias integradas, priorizando áreas historicamente negligenciadas e populações em situação de vulnerabilidade. Paralelamente, o uso de tecnologias sustentáveis, como *wetlands*, biodigestores e cisternas de captação de água de chuva, representa uma alternativa eficiente e de baixo custo, especialmente para comunidades rurais e periféricas (MARTINS, 2020; TAVARES *et al.,* 2021).

Assim, os resultados demonstram que as causas e consequências da falta de saneamento básico estão profundamente relacionadas às desigualdades regionais e à ausência de planejamento integrado. A expansão sustentável e equitativa desses serviços é, portanto, um caminho indispensável para o fortalecimento da saúde pública, da gestão ambiental e do desenvolvimento urbano sustentável no Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu compreender que as deficiências nos serviços de saneamento básico estão diretamente relacionadas à elevada incidência de doenças de veiculação hídrica e à manutenção das desigualdades regionais no Brasil. A análise dos dados e publicações demonstrou que o acesso limitado à água potável, à coleta e ao tratamento de esgoto permanece como um dos principais desafios à saúde pública. Os resultados evidenciaram que a ampliação do saneamento básico promove impactos positivos diretos na saúde e indiretos no desenvolvimento econômico, na geração de empregos e na qualidade de

vida da população.

Como contribuição, o trabalho sistematiza dados recentes e reforça a importância de políticas públicas integradas e tecnologias sustentáveis — como *wetlands*, biodigestores e cisternas — para ampliar a cobertura em áreas rurais e periféricas, em consonância com as metas do Novo Marco Legal do Saneamento. Reconhece-se, contudo, que a pesquisa se limita à revisão bibliográfica e documental, sem análise empírica, o que restringe a avaliação prática dos resultados. Sugere-se que estudos futuros aprofundem investigações locais sobre a efetividade das políticas e tecnologias na melhoria das condições sanitárias. Conclui-se que investir em saneamento é investir em saúde, equidade e sustentabilidade, sendo a universalização desses serviços essencial para o desenvolvimento ambiental e social do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara, L. C. S., I. J. Grimm, e L. de Souza Barbosa. 2023. "Ecoturismo e desenvolvimento territorial sustentável em Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, BRASIL." SYNthesis 16 (2): 97–113.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). "O saneamento no Brasil." Acessado em 24 de novembro de 2024. https://www.ana.gov.br/saneamento/.

Bezerra, B. S. 2024. Políticas públicas hídricas e acesso à água no Perímetro Irrigado Sabugi (Caicó/RN). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). 2016. "Saneamento básico: desafios e perspectivas." Acessado em 5 de dezembro de 2024. https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/saneamento-basico.

Bonini, S. M. P. 2023. A importância do Serviço Especial de Saúde Pública e do sanitarista Szachna Eliasz Cynamon: reverberações para o saneamento no Brasil. Tese de Doutorado.

Calandro, H. E., e A. P. O. Arbex. 2022. "Frequência de Geo-Helmintos em Regiões Brasileiras com a Falta de Saneamento Básico." *Revista Conexão Saúde FIB* 5.

CNI (Confederação Nacional da Indústria). "O Financiamento do Investimento em Infraestrutura no Brasil: uma agenda para sua expansão sustentada." Acessado em 6 de dezembro de 2024. https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/7/o-financiamento-do-investimento-em-infraestrutura-no-brasil-uma-agenda-para-sua-expansao-sustentada/.

Diniz, R. G. N., J. C. C. Silva, V. V. D. Melo, S. C. D. Lima, e H. A. V. Rossoni. 2023. "Desafios do Novo Marco Regulatório Lei Nº 14.026/2020 para Elaboração do Plano

Municipal de Saneamento Básico Sob a Vertente dos Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais." *In VII Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Brasil.*

Ferreira, M. I. P. 2022. Água como fio condutor dos ODS: avaliando o bem-estar com um sistema holístico de indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos.

Figueiredo, M. M. D. 2024. O impacto dos princípios ambientais, sociais e governamentais na realização do direito fundamental à habitação e na promoção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado: um estudo de caso da BSPAR Incorporações.

Imada, K. S., T. S. Araújo, P. T. Muniz, e V. L. Pádua. 2016. "Fatores socioeconômicos, higiênicos e de saneamento na redução de diarreia na Amazônia." *Revista de Saúde Pública* 50: 77.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2022. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Saneamento básico - 2022. Rio de Janeiro: IBGE. Acessado em 4 de dezembro de 2024. https://www.ibge.gov.br.

Leite, A. B. 2020. Educação ambiental e educação multicultural: promovendo a criticidade em uma trilha interpretativa indígena com estudantes de licenciatura em química.

Maia, S. M. H. 2023. Existência severina: análise bioética da mortalidade infantil de Caruaru-PE do período de 2015 a 2020.

Marguti, B. O., e C. H. Krause. 2024. Passado e futuro das regiões metropolitanas brasileiras: a gênese da questão metropolitana, as redefinições no período democrático e os desafios atuais para o planejamento urbano-metropolitano.

Martins, A. M. 2020. Educação em saúde de pescadores artesanais da região da Amazônia Legal: avaliação das parasitoses intestinais.

Menezes, R. N., V. A. P. Teixeira, e L. G. Schröder. 2023. "Relação entre saneamento básico e saúde pública."

Negreiros, K. V. D. A., e R. C. Costa. 2023. As doenças de veiculação hídrica relacionadas ao saneamento inadequado na cidade de Manaus-AM (2015-2020). Recife: Gampe/UFRPE.

OMS (Organização Mundial da Saúde). "Water-related diseases.". https://www.who.int/water_sanitation_health———. 2012. Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage. Acessado em 4 de dezembro de 2024. https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HSE-WSH-12.01.

Prates, J. C. 2020. "Refrações da crise sanitária, econômica e política no Brasil: os impactos diferenciados em mulheres, negros e índios." *Textos & Contextos* (Porto Alegre) 19 (1):

e38839–e38839.

Santos, N. M. C. L. D. 2023. A Lei 14.026/2020: análise do novo marco legal do saneamento básico, seus impactos e percepções. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Tavares, A. R. F., G. R. A. da Silva, S. T. T. da Silva, e A. P. S. Castro. 2021. "A dificuldade de acesso ao saneamento básico nas regiões ribeirinhas do Estado do Pará e suas consequências na qualidade dos recursos hídricos: estudo de caso da Ilha das Onças." *Research, Society and Development 10* (16): e527101623899–e527101623899.

UNICEF. 2023. "Bilhões de pessoas não terão acesso à água potável, saneamento e higiene em 2030, alertam OMS e UNICEF." Acessado em 24 de dezembro de 2024. https://www.unicef.org/guineabissau/pt/comunicados-de-imprensa/bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-ter%C3%A3o-acesso-%C3%A1gua-pot%C3%A1vel-saneamentso-e-higiene-em.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116691

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DA FRAÇÃO LÍQUIDA DO PEDÚNCULO DO CAJU

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO A 'PARTIR DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA DEL PEDÚNCULO DEL ANACARDO

METHANE PRODUCTION POTENTIAL FROM THE LIQUID FRACTION OF CASHEW APPLE PEDUNCLE

Yasmin Pereira da Silva[1], Francisco das Chagas Gomes da Silva Junior[2], Clemilson Nogueira Paiva[3] e Evanice Medeiros de Paiva[4].

[1]Bacharela, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Quixadá-CE, Brasil, yasminpersi@outlook.com, https://orcid.org/0009-0006-5205-7668
[2]Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá-CE, Brasil, chagas.gomes@ifce.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-8974-617X
[3]Mestre, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá-CE, Brasil, clemilson.paiva@ifce.edu.br, https://orcid.org/0000-0001-9592-3622
[4]Doutora, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil, evanice.medeiros@hotmail.com https://orcid.org/0000-0002-3177-5971

Eixo Temático 11 – Energia
Gestão, reaproveitamento de resíduos e biodigestores para produção de biogás.

Eje Temático 11 – Energía
Gestión, aprovechamiento de residuos y biodigestores para la producción de biogás.

RESUMO

O Ceará destaca-se entre os principais produtores mundiais de castanha de caju, atividade de elevada importância econômica e social. Entretanto, essa intensa produção está associada a desafios ambientais relevantes, decorrentes sobretudo do grande volume de resíduos originados do pedúnculo (pseudofruto) e da castanha (fruto verdadeiro). O manejo inadequado desses resíduos configura um passivo ambiental crítico. O pedúnculo, embora caracterizado por alto teor de açúcares, fibras e minerais, é frequentemente subutilizado, resultando em desperdício e descarte inadequado. Essa prática não apenas compromete a qualidade do solo, como também contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), ampliando os impactos ambientais e agravando as mudanças climáticas. A digestão anaeróbia é uma alternativa sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos, convertendo matéria orgânica em biogás, uma fonte renovável de energia. Este estudo avaliou o potencial de produção de metano a partir da fração líquida do pedúnculo do caju, visando sua valorização energética e a mitigação de impactos ambientais. O substrato foi caracterizado por análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO). O inóculo, proveniente de um reator UASB de tratamento de esgoto doméstico, garantiu uma microbiota adaptada à conversão da matéria orgânica em biogás. Os experimentos foram conduzidos em batelada sob condições mesofílicas

(35 ± 1°C), avaliando-se a Atividade Metanogênica Específica (AME) e o Potencial Volumétrico de Metano (PVM). A produção de biogás foi monitorada por medição gravimétrica para quantificação do metano (CH_4) gerado. O PVM foi de 320 Nml CH_4/gDQO (736 Nml CH_4/$gSV_{adicionado}$), evidenciando um bom potencial energético do substrato. A AME do inóculo foi de 0,144 g DQO-CH_4/gSV·dia (0,0571 NL CH_4/gSV·dia), demonstrando uma conversão eficiente da matéria orgânica em biogás. Com base no PVM, estimou-se a produção equivalente ao gás cozinha (GLP – Gás Liquefeito de Petróleo) necessário para manter um fogão de uma boca, em fogo médio, por uma hora diária. Caso esse consumo fosse mantido, o custo mensal estimado seria de R$ 16,12. O estudo confirma a viabilidade do pedúnculo do caju como fonte de biogás, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais, a diversificação da matriz energética e a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia, Atividade metanogênica específica, Biogás

RESÚMEN

El Ceará se destaca entre los principales productores mundiales de nuez de cajú, una actividad de gran importancia económica y social. Sin embargo, esta intensa producción está asociada a desafíos ambientales relevantes, derivados principalmente del gran volumen de residuos generados por el pedúnculo (seudofruto) y la nuez (fruto verdadero). El manejo inadecuado de estos residuos constituye un pasivo ambiental crítico. El pedúnculo, aunque caracterizado por su alto contenido de azúcares, fibras y minerales, es frecuentemente subutilizado, lo que resulta en desperdicio y disposición inadecuada. Esta práctica no solo compromete la calidad del suelo, sino que también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), intensificando los impactos ambientales y agravando el cambio climático. La digestión anaerobia representa una alternativa sostenible para el tratamiento de residuos orgánicos, al convertir la materia orgánica en biogás, una fuente renovable de energía. Este estudio evaluó el potencial de producción de metano a partir de la fracción líquida del pedúnculo del cajú, con el objetivo de su valorización energética y la mitigación de los impactos ambientales. El sustrato fue caracterizado mediante análisis de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO). El inóculo, proveniente de un reactor UASB de tratamiento de aguas residuales domésticas, garantizó una microbiota adaptada a la conversión de materia orgánica en biogás. Los experimentos se realizaron en lote bajo condiciones mesofílicas (35 ± 1 °C), evaluándose la Actividad Metanogénica Específica (AME) y el Potencial Volumétrico de Metano (PVM). La producción de biogás fue monitoreada mediante medición gravimétrica para cuantificar el metano (CH_4) generado. El PVM alcanzó 320 Nml CH_4/g DQO (736 Nml CH_4/g SV añadido), lo que evidencia un buen potencial energético del sustrato. La AME del inóculo fue de 0,144 g DQO-CH_4/g SV·día (0,0571 NL CH_4/g SV·día), demostrando una conversión eficiente de la materia orgánica en biogás. Con base en el PVM, se estimó una producción equivalente al gas licuado de petróleo (GLP) necesario para mantener una estufa doméstica de un hornillo, a fuego medio, durante una hora diaria. De mantenerse este consumo, el costo mensual estimado sería de R$ 16,12. El estudio confirma la viabilidad del pedúnculo del cajú como fuente de biogás, contribuyendo a la valorización de residuos agroindustriales, a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: Digestión anaerobia, Actividad metanogénica específica, Biogás

ABSTRACT

The state of Ceará stands out among the world's leading producers of cashew nuts, an activity of great economic and social importance. However, this intensive production is associated with significant environmental challenges, mainly due to the large volume of residues generated from the peduncle (pseudofruit) and the nut (true fruit). The inadequate management of these residues constitutes a critical environmental liability. The peduncle, although rich in sugars, fibers, and minerals, is often underutilized, resulting in waste and improper disposal. Such practices not only compromise soil quality but also contribute to greenhouse gas (GHG) emissions, thereby intensifying environmental impacts and aggravating climate change. Anaerobic digestion represents a sustainable alternative for the treatment of organic residues, converting organic matter into biogas, a renewable source of energy. This study evaluated the methane production potential from the liquid fraction of cashew peduncle, aiming at its energetic valorization and the mitigation of environmental impacts. The substrate was characterized through analyses of total solids (TS), volatile solids (VS), and chemical oxygen demand (COD). The inoculum, obtained from a UASB reactor treating domestic wastewater, provided a microbial community already adapted to the conversion of organic matter into biogas. The experiments were carried out in batch mode under mesophilic conditions (35 ± 1 °C), assessing the Specific Methanogenic Activity (SMA) and the Methane Volumetric Potential (MVP). Biogas production was monitored by gravimetric measurement to quantify the methane (CH_4) generated. The MVP reached 320 Nml CH_4/g COD (736 Nml CH_4/g VS added), indicating a good energy potential of the substrate. The SMA of the inoculum was 0.144 g COD-CH_4/g VS·day (0.0571 NL CH_4/g VS·day), demonstrating efficient conversion of organic matter into methane. Based on the MVP, the estimated production was equivalent to the amount of liquefied petroleum gas (LPG) required to operate a single-burner stove at medium flame for approximately one hour per day. If this consumption were maintained, the estimated monthly cost would be R$ 16.12. This study confirms the feasibility of cashew peduncle as a feedstock for biogas production, contributing to the valorization of agro-industrial residues, the diversification of the energy matrix, and the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: Anaerobic digestion, Specific methanogenic activity, Biogas

INTRODUÇÃO

O Ceará é um dos principais produtores mundiais de castanha de caju, porém menos de 10% do pedúnculo é aproveitado industrialmente, em razão da alta perecibilidade e da carência de tecnologias de conservação e processamento (Honorato et al. 2007;Araújo et al. 2020). Em escala global, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12 da Orgnização das Nações Unidas (ONU) propõe reduzir pela metade as perdas e desperdícios de alimentos até 2030. Entretanto, estima-se que a geração mundial de resíduos sólidos atinja 2,6 bilhões de toneladas até 2030 e 3,4 bilhões até 2050 (Kaza et al. 2018).

Alinhado a compromissos internacionais, o Brasil assumiu na COP 26 (2021) a meta

de reduzir em 30% as emissões de metano até 2030, tomando como base os níveis de 2020 (Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2022). Como resposta, foi instituído o Programa Metano Zero, que incentiva tecnologias sustentáveis de aproveitamento energético de resíduos orgânicos, com destaque para a digestão anaeróbia. Essa estratégia contribui para a mitigação de impactos ambientais, promove eficiência energética e fortalece a transição para uma economia verde (Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2022).

A digestão anaeróbia é um processo biológico realizado na ausência de oxigênio, em que microrganismos convertem a matéria orgânica em biogás, composto majoritariamente por metano (CH_4) e hidrogênio (H_2), ambos biocombustíveis de alto valor energético. Nesse contexto, o aproveitamento do pedúnculo do caju por meio da digestão anaeróbia configura-se como uma estratégia promissora para o setor agroindustrial. Além de reduzir o desperdício e as emissões associadas, o processo fortalece a economia circular e contribui para o desenvolvimento de soluções energéticas sustentáveis (Sawadogo et al. 2023). Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial de produção de metano a partir do pedúnculo do caju, considerando sua biodegradabilidade e eficiência energética para aplicação no meio rural.

MATERIAIS E MÉTODOS

O inóculo e Subtrato

O inóculo foi obtido de um reator anaeróbio mesofílico tratando esgoto doméstico em Quixadá, Ceará. Os cajus foram coletados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus Quixadá. Os pedúnculos foram triturados para a extração da fração líquida. A caracterização físico-química quanto a DQO, sólitos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) do substrato foi realizada conforme metodologia descrita em APHA, AWWA e WEF (2012).

Ativdade Metanogênica Específica (AME) e Potencial Volumétrico de Metano (PVM)

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Resíduos, Efluentes e Bioenergia (LAREB) do Instituto Federal do Ceará, campus Quixadá, sob temperatura de 35°C. Os testes de AME tiveram duração de 5 dias e PVM de 30 dias, seguindo os protocolos de Angelidaki e Sanders (2004), com adição de solução de nutrientes. A máxima atividade metanogênica

específica foi determinada conforme a Equação 1 e o PVM foi baseado em Angelidaki et al. (2009) conforme a Equação 2.

$$AME = \frac{dCH_4}{dt} \cdot \frac{1}{V.SV.fCH_4} \quad (1)$$

$$PVM = \frac{V^{30}_{CH_4} - V^{0}_{CH_4}}{M_{substrato}} \quad (2)$$

Sendo, AME: Atividade Metanogênica Específica (g DQOCH_4/gSV.d); dCH_4/dt: Taxa de produção de metano (mL CH_4/d); *f*CH_4: Fator de conversão de DQO para metano (mL CH_4/g DQO); V: Volume do reator (L); SV: Concentração de sólidos voláteis no reator (gSV/L); PVM: Potencial Volumética de Metano (NmLCH_4/gDQO); V^{30}_{CH4} : Volume acumulado normalizado de CH_4 ao fim de 30 dias (NmLCH_4); V^{0}_{CH4} :Volume acumulado normalizado de CH_4 endógeno (NmLCH_4); $M_{substrato}$: é a massa do substrato em termos de DQO adicionada (gDQO)

O Custo do biogás equivalente ao Gás Liquifeito de Petróleo (GLP)

O custo financeiro envolvido na substituição do GLP pelo biogás, conforme descrito na equação 3 (Liquigas, 2025).

$$Gasto = \left(\frac{\left(\frac{t}{60}\right).\left(\frac{kg}{h}\right)}{B}\right). PB \quad (3)$$

Sendo, t: tempo de uso do queimador (min); Consumo do queimador (kg/h); B: capacidade do botijão GLP comercial (kg); PB: preço do botijão de gás (R$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do substrato

A fração líquida utilizada como substrato apresentou um valor de 13,76 gDQO/L equivalente a 0,28 g DQO/g de substrato e 2,34 de DQO em relação aos sólidos voláteis (SV).

A DQO do suco do pendúculo do caju é classificada como muito alta, caracterizando um

substrato com elevada carga orgânica, semelhante a resíduos agroindustriais altamente biodegradáveis. A fração DQO/SV foi de 2,34 favorece a biodegradabilidade e maior conversão em metano (Lei et al. 2018).

Atividade Metanogênica Específica

A atividade metanogênica específica (AME) média foi de 0,144 g DQO-CH_4/gSV.dia (0,0571 NL CH_4/gSV·dia), um valor superior ao obtido por Bertolino, Carvalho e Aquino (2008), que ao utilizaram lodo de reator anaeróbio tratando esgoto sanitário, registraram uma AME média de 0,0579 g DQO-CH_4/gSV·dia. Todavia, a AME é influenciada pelo tipo de biomassa e pelo substrato utilizado. Por exemplo, Cavalcante et al. (2023) obteve uma AME de 0,237 g DQO-CH_4/gSV·dia ao utilizar lodo de cervejaria como inóculo, alimentado com glicose.

Potencial Volumétrico de Metano

O volume acumulado de metano ao fim de 30 dias foi de 160 Nml (Figura 1) e a massa de DQO adicionada no frasco reacional foi de 0,5 gDQO. Portanto, o PVM da fração líquida do pedúnculo do caju foi de 320 NmlCH_4/gDQO adicionada.

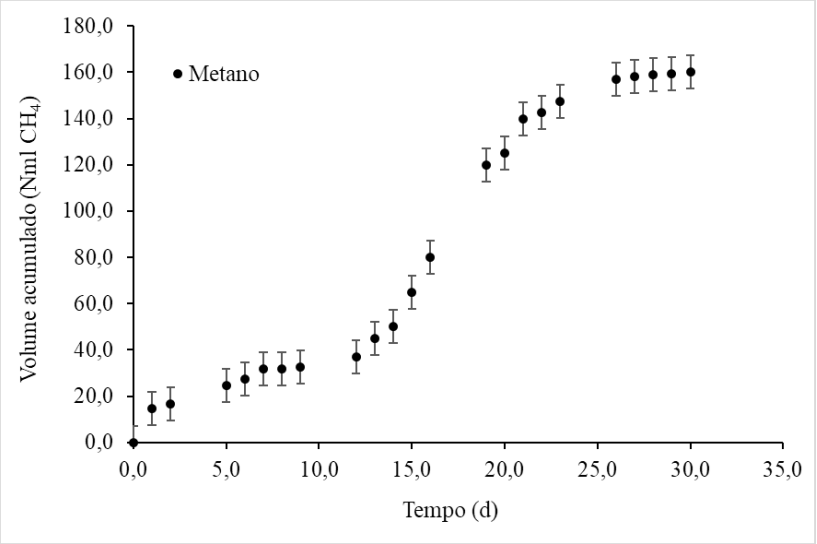


Figura 1. Volume acumulado de CH4 a partir da digestão anaeróbia da fração líquida do pendúculo do caju.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em função dos sólidos voláteis adicionados ao reator, o PVM foi de 736 Nml

$CH_4/gSV_{adicionado}$. Este valor supera o encontrado por Prabhudessai, Ganguly e Mutnuri (2013) que investigaram a produção de metano utilizando o pedúnculo do caju, porém, apenas o bagaço triturado à temperatura de 35°C e obtiveram valores de 60,7 NmL CH_4/g SV e 64,6 NmL CH_4/g SV. Este resultado corrobora com a hipótese de que a separação da fração líquida do pedúnculo do Caju favorece a conversão do substrato em biogás.

Potencial energérico da fração líquida do pendúculo do caju

Visando a aplicação em áreas rurais, optou-se pelo uso do gás metano em substituição ao gás cozinha (GLP – Gás Liquefeito de Petróleo). Na Tabela 2 apresentam-se os principais resultados para a obtenção da produção estimada de biogás e se obteve o potencial de geração de biogás em função da quantidade de resíduo sob a digestão anaeróbia (4,82 NLbiogás/kgResíduo.dia). Este valor é importante para estimar a quantidade mínima de resíduo necessária para manter um fogão de uma boca. A Tabela 3 contém as conversões para a obtenção da massa de resíduo.

Tabela 2. Estimativas da produção de biogás a partir do metano gerado por meio da digestão anaeróbia da fração líquida do pedúnculo do caju.

Descrição	Valor	Unidade
PVM ao fim dos 30 dias de medição	736,000	$NmLCH_4/gSV_{add}$
PVM por dia	24,530	$NmLCH_4/gSV_{add}$.dia
Concentração de sólidos voláteis no resíduo	0,118	gSV/gResíduo
PVM em função do resíduo bruto	2,890	$NmLCH_4$/gResíduo.dia
PVM em função do resíduo bruto	2,890	$NLCH_4$/kgResíduo.dia
Percentual de CH_4 presente no biogás	60%	
Potencial volumétrico de biogás	4,820	NLbiogás/kgResíduo.dia

Tabela 3. Produção estimada de resíduo para gerar biogás em substituição ao GLP.

Descrição	Valor	Unidade
Quantidade de Resíduo a ser utilizado na biodigestão	617,0	kgResíduo
Produção estimada de biogás	2976,96	NL biogás /dia
Conversão de biogás em GLP	0,454	gGLP/Lbiogás
Conversão de biogás em GLP em função do resíduo	2,19	gGLP/kgResíduo.dia
Produção estimada de GLP	1,35	kgGLP/dia
Produção estimada de GLP por hora	0,0563	kgGLP/h

Observa-se que a conversão do resíduo em biogás corresponde a 2,19 gGLP/kgResíduo, valor aproximadamente duas vezes menor do que o obtido a partir do esterco bovino,

comumente utilizado em biodigestores, que gera cerca de 4,8 gGLP/kg de esterco (Garay, Cornejo e Medina, 2013). Todavia, pode-se fazer uma codigestão de resíduo do caju e esterco bovino para aumentar o tempo de uso ou o número de bocas do queimador do fogão. Considerou-se o tempo de funcionamento de uma boca de fogão por 60 min, cujo consumo de gás é de 0,0563 kgGLP/h, a capacidade de um botijão de 13 kg com valor médio de R$ 120,00. Finalmente, obteve-se um gasto de R$ 0,52 e caso se mantenha essas condições de consumo, tem-se mensalmente (31 dias) um custo de R$ 16,12. Contudo, será necessário 617,0 kg de resíduo líquido do caju diariamente o que torna atraente a opção de codigestão com esterco bovino, pois, reduz-se a quantidade necessária de ambos na produção de biogás.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo comprovou a viabilidade técnica da fração líquida do pedúnculo do caju para produção de biogás, alcançando 320 Nml CH_4/gDQO. A AME do lodo de esgoto demonstrou atividade microbiana satisfatória, não limitando o processo. Para substituir o gás de cozinha em áreas rurais, seriam necessários 617 kg/dia de resíduo para alimentar uma boca de fogão por uma hora. A alternativa traz ganhos ambientais e econômicos, mas pode ser otimizada pela codigestão com esterco bovino. Recomenda-se que pesquisas futuras explorem diferentes proporções de substratos, maior controle operacional e tecnologias inovadoras. Finalmente, a digestão anaeróbia do pedúnculo do caju mostrou-se uma alternativa promissora para geração de energia limpa e uso sustentável de resíduos agroindustriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angelidaki, I., M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek, and J. B. Van Lier. 2009. “Defining the Biomethane Potential (BMP) of Solid Organic Wastes and Energy Crops: A Proposed Protocol for Batch Assays.” *Water Science and Technology* 59 (5): 927–34. https://doi.org/10.2166/wst.2009.040.

Angelidaki, Irini, and Wendy Sanders. 2004. “Assessment of the Anaerobic Biodegradability of Macropollutants.” *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 3 (2): 117–29. https://doi.org/10.1007/s11157-004-2502-3.

APHA, AWWA, and WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edited by Eugene W. Rice Rodger B. Baird Andrew D. Eaton Lenore S. Clesceri. *American Public Health Association*. 22nd ed. Washington, DC: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00237-3.

Araújo, João Cavalcante, Adriano Albuquerque Mattos, José Rodrigues Sousa, Francisco Gomes Andrade, and Francisco de Assis Paiva. 2020. “IMPACTOS SOCIAIS DA

'TECNOLOGIA SOCIAL' MINI-FÁBRICA DE CASTANHA DE." In *XLVI Congresso Da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, 11.

Bertolino, Sueli M., Cornélio F. Carvalho, and Sérgio F. Aquino. 2008. "Characterization and Biodegradability of Wastewater Produced in University Campus." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 13 (3): 271–77. https://doi.org/10.1590/s1413-41522008000300005.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2022. "Programa Metano Zero." *Ministério Do Meio Ambiente e Mudança Do Clima*. https://www.gov.br/mma/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-nacional-metano-zero.

Cavalcante, Willame A., Camila Aparecida de Menezes, Francisco C.G. da Silva Júnior, Tito A. Gehring, Renato C. Leitão, and Marcelo Zaiat. 2023. "From Start-up to Maximum Loading: An Approach for Methane Production in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Fed with the Liquid Fraction of Fruit and Vegetable Waste." *Journal of Environmental Management* 335 (January). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117578.

Garay, Richer, Erick Cornejo, and M Medina. 2013. "Producción de Biogás a Nivel de Laboratorio, Utilizando Estiércol de Ganado Vacuno y Residuos Agroindustriales (Torta de Piñón, Cascarilla de Arroz y Rumen de Ganado Vacuno) En La E.E.A El Porvenir - Distrito de Juan Guerra." https://consensus.app/papers/producción-de-biogás-a-nivel-de-laboratorio-utilizando-medina-cornejo/e326968b5ea65fef93334d096d11893f/.

Honorato, Talita Lopes, Maria Cristiane Rabelo, Luciana Rocha Barros Gonçalves, Gustavo Adolfo Saavedra Pinto, and Sueli Rodrigues. 2007. "Fermentation of Cashew Apple Juice to Produce High Added Value Products." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 23 (10): 1409–15. https://doi.org/10.1007/s11274-007-9381-z.

Kaza, Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Franj Van Woerden. 2018. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0.

Lei, Zhen, Shuming Yang, Yu you Li, Wen Wen, Xiaochang C. Wang, and Rong Chen. 2018. "Application of Anaerobic Membrane Bioreactors to Municipal Wastewater Treatment at Ambient Temperature: A Review of Achievements, Challenges, and Perspectives." *Bioresource Technology* 267 (July): 756–68. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.050.

Liquigas. 2025. "Liquigas." 2025. https://www.liquigas.com.br/blog/sua-casa/como-calcular-o-gasto-de-gas.

Prabhudessai, Vidhya, Anasuya Ganguly, and Srikanth Mutnuri. 2013. "Biochemical Methane Potential of Agro Wastes." *Journal of Energy* 2013:1–7. https://doi.org/10.1155/2013/350731.

Sawadogo, Joseph B., Narcis Barsan, Mahamadi Nikiema, Emilian Mosnegutu, Dayéri Dianou, Alfred S. Traore, Aboubakar S. Ouattara, and Valentin Nedeff. 2023. "Anaerobic Co-Digestion of Agro-Industrial Cashew Nut Wastes with Organic Matters for Biogas Production: Case of Cashew Nut Hull and Cashew Almond Skin." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 17 (1): 220–32. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.16.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116718

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA UNIDADE AFETOS – PESQUEIRA

DESARROLLO DE UN MODELO DE DIMENSIONAMIENTO OPTIMIZADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA UNIDAD AFETOS – PESQUEIRA

DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZED SIZING MODEL FOR THE EFFLUENT TREATMENT PLANT AT THE AFETOS UNIT – PESQUEIRA

Wedja de Souza Lins[1], Camila Daniele Ferreira dos Santos [2] e André Queiroz Carvalho de Araújo[3].

[1]Bacharelanda em Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, wedja.lins@ufrpe.br, 0009-0009-6075-3868;
[2]Bacharelanda em Engenharia Química, UFRPE/UABJ, Belo Jardim, Brasil, camila.daniele@ufrpe.br, 0009-0003-3601-2097.
[3]Licenciatura Plena em História, Técnico Química da COMPESA, Belo Jardim, Brasil, andrequeiroz@compesa.com.br, 0009-0004-5611-1153.

Eixo Temático 11 – Energia
Estações de tratamento de efluentes sustentáveis: aproveitamento de subprodutos, eficiência energética, operação inteligente e outros.

Área Temática 11 – Energía
Plantas de tratamiento de aguas residuales sostenibles: aprovechamiento de subproductos, eficiencia energética, operación inteligente y otros.

RESUMO

Devido à demanda existente e à escassez de recursos hídricos, faz-se necessária a busca por soluções que viabilizem a melhor gestão dos recursos disponíveis, quer seja em relação aos recursos naturais, financeiros, ou aos recursos tecnológicos empregados no tratamento e reúso das águas utilizadas no ambiente industrial e também doméstico. As Estações de tratamento de efluentes são fundamentais na gestão ambiental, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e ambientais. Na Estação objeto de estudo, ETA Afetos, localizada no município de Pesqueira-PE, observou-se que a estrutura atual encontra-se subdimensionada para atender à demanda real de geração de efluentes. Pois dispõe de um tanque de lavagem com volume de apenas 232m³. Por outro lado, o volume gerado durante o processo de lavagem atinge aproximadamente 964m³. Por isso, foi desenvolvido o projeto com o intuito de otimizar o sistema, do ponto de vista técnico e também econômico. Comprovou-se a necessidade da construção de um novo tanque que, em conjunto com o já existente, será capaz de captar todo o quantitativo de efluente gerado pelas lavagens dos filtros, o que garantirá a reutilização dessa água, a qual seria descartada na manilha de coleta de esgoto municipal, visto a incapacidade atual da planta. Foram feitas as medições do tanque, realizados cálculos do volume de regularização, bem como da vazão, em consonância com a NBR 12216/1992, a fim de verificar o dimensionamento mais adequado para este caso. O principal desafio encontrado foi a topografia do terreno, que, por ser íngreme, a depender do modelo proposto, impõe desafios técnicos adicionais, como a escavação para estabilidade,

e a condução dos efluentes por bombeamento. O modelo desenvolvido permitiu identificar o volume ideal necessário para o tanque de lavagem dos sete filtros, atendendo assim a necessidade real do sistema atual. A proposta considera os aspectos topográficos do local, de modo a aproveitar a declividade natural do terreno, e, portanto, contempla critérios de viabilidade técnica, apresentando uma solução ajustada a essa realidade, com potencial de replicação em outras unidades com limitações semelhantes.

Palavras-chave: Dimensionamento, Tratamento de efluentes, Gestão ambiental

RESÚMEN

Debido a la demanda y escasez de recursos hídricos, es necesario buscar soluciones que permitan una mejor gestión de los recursos disponibles, ya sean naturales o financieros, o tecnológicos para el tratamiento y la reutilización del agua en entornos industriales y domésticos. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son esenciales para la gestión ambiental, contribuyendo a la preservación de los recursos hídricos y ambientales. En la planta en estudio, ubicada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Afetos, en el municipio de Pesqueira, Pernambuco, se observó que la estructura actual presentaba un tamaño insuficiente para satisfacer la demanda real de generación de efluentes. Cuenta con un tanque de lavado con un volumen de tan solo 232 m³. Por otro lado, el volumen generado durante el proceso de lavado alcanza aproximadamente los 964 m³. Por lo tanto, el proyecto se desarrolló para opimizar el sistema tanto desde el punto de vista técnico como económico. Se emostró la necesidad de un nuevo tanque que, junto con el existente, sería capaz de captar todos los efluentes generados por el lavado de filtros. Esto garantizaría la reutilización de estas aguas, que de otro modo se vertían en la red municipal de alcantarillado, dada la capacidad actual de la planta. Se midieron los tanques y se calcularon el volumen y el caudal requeridos, de acuerdo con la norma NBR 12216/1992, para determinar el dimensionamiento más adecuado para esta situación específica. El principal desafío fue la topografía escarpada del terreno, que, según el modelo propuesto, plantea desafíos técnicos adicionales, como la excavación para la estabilidad y el bombeo del efluente. El modelo desarrollado permitió identificar el volumen ideal requerido para el tanque de lavado de siete filtros, satisfaciendo así las necesidades reales del sistema actual. La propuesta considera los aspectos topográficos del sitio para aprovechar la pendiente natural del terreno. También aborda criterios de viabilidad técnica, presentando una solución adaptada a esta realidad y potencialmente replicable en otras instalaciones con limitaciones similares.

Palabras clave: Dimensionamiento, Tratamiento de aguas residuales, Gestión ambiental

ABSTRACT

Due to the existing demand and scarcity of water resources, it is necessary to seek solutions that enable better management of available resources, whether in relation to natural or financial resources, or the technological resources employed in the treatment and reuse of water used in industrial and domestic environments. Wastewater treatment plants are essential for environmental management, contributing to the preservation of water and environmental resources. At the plant under study, located at the Afetos WTP in the municipality of Pesqueira, Pernambuco, the current structure was found to be undersized to

meet the actual demand for effluent generation. It has a wash tank with a volume of only 232 m³. On the other hand, the volume generated during the washing process reaches approximately 964 m³. Therefore, the project was developed to optimize the system from both a technical and economic standpoint. The need for a new tank was demonstrated. Together with the existing one, it would be capable of capturing all the effluent generated by filter washing. This would ensure the reuse of this water, which would otherwise be discharged into the municipal sewage collection pipe, given the plant's current capacity. Measurements of the tank were taken, and calculations of the required volume and flow rate were performed in accordance with NBR 12216/1992 to determine the most appropriate sizing for this specific situation. The main challenge encountered was the steep topography of the terrain, which, depending on the proposed model, poses additional technical challenges, such as excavation for stability and pumping the effluent. The developed model allowed us to identify the ideal volume required for the seven-filter wash tank, thus meeting the actual needs of the current system. The proposal considers the site's topographical aspects to take advantage of the terrain's natural slope. It also addresses technical feasibility criteria, presenting a solution tailored to this reality and potentially replicable in other facilities with similar limitations.

Keywords: Sizing, Wastewater treatment, Environmental management

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes líquidos é um processo fundamental para a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte de resíduos em corpos hídricos. Os efluentes líquidos, originados principalmente de processos industriais e atividades urbanas, contêm contaminantes que podem comprometer a qualidade da água, afetando ecossistemas aquáticos e a saúde pública. Segundo Von Sperling (1996), o objetivo central do tratamento de efluentes é a remoção de poluentes de maneira eficaz e sustentável, visando ao atendimento das normas ambientais e ao uso seguro da água.

No Brasil, assim como em outros países, há uma legislação específica que regulamenta o descarte de efluentes, estabelecendo limites para a carga poluidora que pode ser lançada no meio ambiente. Dessa forma, o tratamento de efluentes constitui uma exigência legal, e as empresas que não cumprem essas normativas estão sujeitas a sanções, que podem incluir multas ou até mesmo a suspensão ou paralisação de suas atividades. Nesse contexto, torna-se imperativa a busca por soluções que, além de eficazes, sejam economicamente viáveis, de modo a otimizar os processos de tratamento.

Para evitar problemas relacionados à fiscalização, o descarte de efluentes deve observar os parâmetros de carga poluidora estabelecidos pelas normativas federais. Entre as principais regulamentações estão a Resolução CONAMA nº 430/2011 e a Resolução

CONAMA nº 357/2005, sendo que a primeira complementa e modifica a segunda. O correto dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Água de Reúso (ETAR) é um fator crucial para garantir a remoção eficiente de poluentes e assegurar o adequado tratamento das águas residuais.

O reúso de água deve ser entendido como uma prática inserida em um contexto mais amplo, que envolve a utilização racional e eficiente dos recursos hídricos. Esse conceito abrange, além do reúso, ações como o controle de perdas e desperdícios, bem como a redução na geração de efluentes e na demanda por água (CETESB, 2024).

Assim sendo, o projeto teve como principal objetivo, desenvolver um modelo de dimensionamento otimizado para a estação de tratamento de água de reúso de lavagem dos filtros da ETA Afetos, localizada no município de Pesqueira, com vistas à sua máxima eficiência operacional. A pesquisa deu-se por um período de 9 meses, o que proporcionou o estudo ao que concerne a busca por tecnologias de tratamento, eficiência, operação inteligente e reutilização. Dessa forma, buscou-se um sistema de dimensionamento bem desenvolvido, capaz de oferecer soluções sustentáveis e com respeito ao meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Propôs-se um novo dimensionamento da estação de tratamento de efluentes (ETE), sendo esta, uma etapa essencial no planejamento de sistemas de saneamento, pois determina a capacidade e a eficiência operacional da unidade de tratamento. Conforme Von Sperling (1996), o dimensionamento envolve a definição da quantidade de efluente a ser tratado, a concentração dos poluentes e a seleção dos processos de tratamento mais adequados para cada tipo de carga poluidora. Esse planejamento buscou não apenas atender aos requisitos legais e ambientais, mas também otimizar o uso de recursos e assegurar a longevidade do sistema.

A eficiência de uma ETE depende do cálculo correto das vazões e da escolha apropriada dos parâmetros operacionais, como tempo de retenção e taxas de remoção de contaminantes. Von Sperling (1996) ressalta que o dimensionamento inadequado pode resultar em sobrecarga, redução da eficiência e, em última instância, falhas no sistema de tratamento. Assim, é essencial seguir diretrizes técnicas específicas e normativas, que

definem padrões de desempenho e limites de carga para cada etapa do processo.

Caracterização da área de estudo

A Estação de Tratamento de Água – Afetos, fica localizada no município de Pesqueira – PE, e pode ser vista na Imagem 1. É responsável pelo tratamento e abastecimento público do referido município. A unidade é composta por uma ETA convencional e uma compacta de filtros ascendentes, ambas chamadas de ETA Afetos 1 e Afetos 2.

A ETA Afetos 1 é uma ETA convencional simples, composta por floculador tipo chicana, dois decantadores e dois filtros descendentes. Com uma vazão de projeto (nominal) de 25 L/s. Utiliza como coagulante o sulfato de alumínio líquido e como desinfetante o cloro liquefeito.

Já a ETA Afetos 2, é uma ETA compacta composta por cinco filtros ascendentes abertos. Com uma vazão de projeto (nominal) de 87 L/s. Utiliza como coagulante o sulfato de alumínio líquido e como desinfetante o cloro liquefeito.

Somando-se ao conjunto da unidade, para receber a água de lavagem dos filtros da ETA Afetos 2, tem-se um tanque de água para reúso, constituindo assim, a ETAR. Este tanque recebe a água de lavagem dos filtros, onde deixa-se decantar os sólidos sedimentáveis e bombeia-se parte do volume da água novamente para o início do tratamento.

Os mananciais que a unidade recebe para tratamento são: Afetos, Pão de Açúcar, Pedra D'Água, Santana e São Francisco. Ressalta-se que durante a pesquisa, os únicos mananciais ativos foram : Santana e São Francisco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ETAR- Afetos possui atualmente um único tanque de lavagem. O tanque apresenta uma base em formato de um prisma triangular (Figura 1), e um volume de 232 m^3, considerando uma borda-livre de 0,5 m, conforme o cálculo:

$$V_1 = A \times L \times C \quad (1)$$

onde

C= comprimento (m)

A= altura (m)

L= largura (m)

$V_1 = (2{,}34-0{,}5)\ m \times 5m \times 20m = 184\ m^3$

$V_2 = ½ \times A \times L \times C$ (2)

$V_2 = ½ \times 0{,}96m \times 5m \times 20m = 48\ m^3$

Logo, $V = V_1 + V_2$ (3)

onde

V_1 = volume referente à parte superior do tanque (m^3)

e V_2 = volume do fundo (m^3)

$V = 184m^3 + 48m^3 = 232\ m^3$.

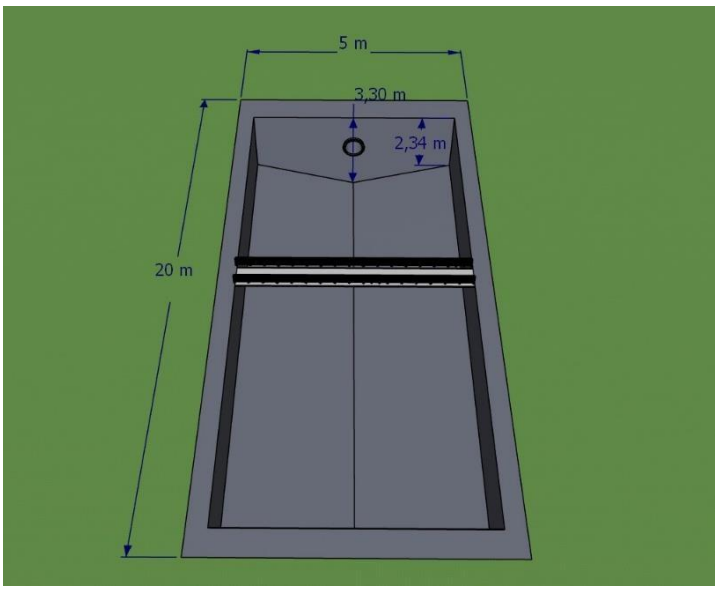


Figura 1. Imagem ilustrativa do tanque de lavagem da ETAR-Afetos, com suas respectivas dimensões.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Após a realização da visita ao local para estudo da área e coleta dos dados relativos às medições do tanque de lavagem, foram realizados os cálculos, a fim de saber qual o volume seria necessário para captação da água de lavagem dos filtros. Tais cálculos são apresentados a seguir:

1. Dimensionamento atual

1.1 Dimensões básicas

Número de filtros (N_f): Adotam-se sete filtros, dos quais cinco são do tipo ascendente e dois descendentes.

Dimensão dos filtros ascendentes:

- Diâmetro: 4 m
- Área da seção transversal: 12,56 m^2
- Altura: 2,3 m

Dimensão dos filtros descendentes:

- Largura: 2,3 m
- Comprimento: 3,8 m
- Área da seção transversal: 8,74 m^2

2. Velocidade de lavagem

A velocidade de lavagem é realizada conforme a NBR 12216/1992, adotando-se 0,8m/min, por 15 minutos.

3. Vazão

Vazão de água para lavagem de 1 filtro ascendente (Q_{fa}):

$$Q = (V \ x \ A) \quad (4)$$

Onde

$V = Velocidade\ de\ lavagem\ (m/min)$

$A = Área\ superficial (m^2)$

$$Q_{fa} = 0{,}8\ {}^{m}/_{min}\ x\ 12{,}56\ m^2$$

$$Q_{fa} = 10{,}048\ m^3/min$$

Vazão de água para lavagem de 1 filtro descendente (Q_{fr}):

$$Q_{fr} = 0{,}8\ {}^{m}/_{min}\ x\ 8{,}74\ m^2$$

$$Q_{fr} = 6{,}992\ m^3/min$$

3.1 Volume de água para a lavagem de 1 filtro ascendente (V_{fa}):

$$V = (Q \ x \ t) \quad (5)$$

Onde

$Q = Vazão\ (m^3/min)$

$t = tempo\ de\ lavagem$ (min)

$$V_{fa} = 10{,}048\ {}^{m^3}/_{min}\ x\ 15\ min$$

$$V_{fa} = 150{,}72\ m^3$$

3.2 Volume de água para lavagem de 1 filtro descendente (V_{fr}):

$$V_{fr} = 6{,}992\ {}^{m^3}/_{min}\ x\ 15\ min$$

$$V_{fr} = 104{,}88\ m^3$$

3.3 Volume de regularização (V_R):

$$V_R = V\ x\ Nf\ x\ n \qquad (6)$$

Onde

$V = Volume\ de\ água\ para\ a\ lavagem\ de\ 1\ filtro\ ({}^{m^3}/_{filtro})$

$Nf = Número\ de\ filtros$

$n = número\ de\ vezes\ por\ dia$

$$V_{efluentes\ Afetos\ 1} = 104{,}88\ {}^{m^3}/_{filtro}\ x\ 2\ filtros\ x\ 1\ vez/dia$$

$$V_{efluentes\ Afetos\ 1} = 209{,}76\ {}^{m^3}/_{dia}$$

$$V_{efluentes\ Afetos\ 2} = 150{,}72\ {}^{m^3}/_{filtro}\ x\ 5\ filtros\ x\ 1\ vez/dia$$

$$V_{efluentes\ Afetos\ 2} = 753{,}6\ {}^{m^3}/_{dia}$$

$$V_{total} = (209{,}76\ {}^{m^3}/_{dia} + 753{,}6\ {}^{m^3}/_{dia})$$

$$V_{total} = (963{,}36\ m^3/dia)$$

Esse é o volume total de água necessário para lavagem dos 7 filtros, utilizando um tempo de lavagem de 15 minutos, realizando 1 lavagem por dia. Como o volume do tanque não é suficiente para suportar todo esse volume de água, e não seria viável a sua ampliação, visto que suas dimensões se tornariam desproporcionais, propõe-se a criação de mais um tanque.

4. Dimensionamento proposto

A figura 2 abaixo apresenta uma ilustração do modelo proposto para o novo tanque, preservando o formato do pré-existente:

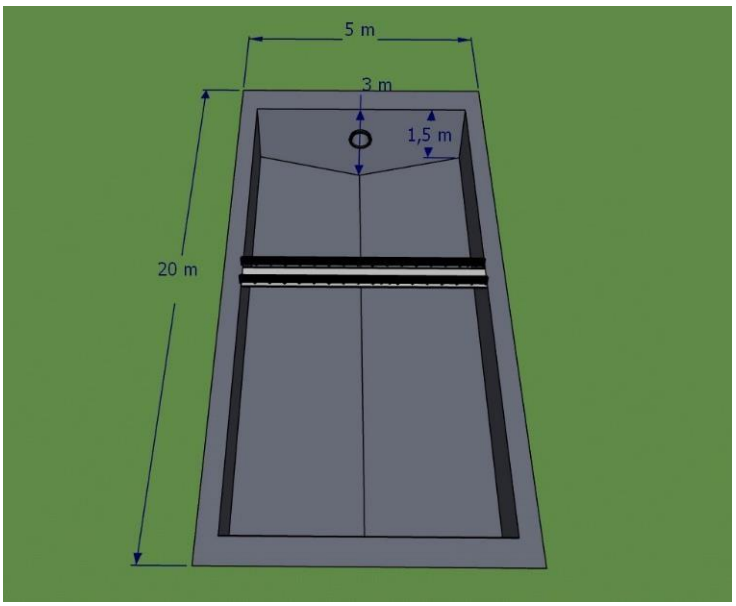


Figura 2. Imagem ilustrativa do novo tanque, com suas respectivas dimensões.
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O tanque apresentará uma base em formato de um prisma triangular, e um volume de 200 m^3, considerando uma borda-livre de 0,5 m, conforme o cálculo:

V_1 = 1,5m x 5m x 20m = 150 m^3

V_2 = ½ x 5m x 1m x 20m = 50 m^3

Logo, $V = V_1 + V_2 = 150m^3 + 50m^3 = 200\ m^3$, onde V_1 é o volume referente à parte superior do tanque e V_2 corresponde ao volume do fundo. Com isso, foi construída uma tabela para a otimização de lavagem dos filtros, baseada no volume dos tanques de recirculação, conforme o horário de operação da unidade, para o término do último bombeamento às 21 h,como pode ser observado na Tabela 1:

Tabela 1. Esquema de lavagem dos filtros, baseado no volume dos tanques.

TANQUE	
PISCINÃO 1 (232 m³)	**PISCINÃO 2 (200 m³)**
05:00 FILTRO 1 - RÁPIDO	
06:00 DECANTAÇÃO	
07:00 TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO	FILTRO 3 - ASCENDENTE
08:00 BOMBEAMENTO	DECANTAÇÃO
09:00 TÉRMINO BOMBEAMENTO + FILTRO 2 - RÁPIDO	TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO
10:00 DECANTAÇÃO	BOMBEAMENTO
11:00 TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO	TÉRMINO BOMBEAMENTO + FILTRO 4 - ASCENDENTE
12:00 BOMBEAMENTO	DECANTAÇÃO
13:00 TÉRMINO BOMBEAMENTO + FILTRO 5 - ASCENDENTE	TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO
14:00 DECANTAÇÃO	BOMBEAMENTO
15:00 TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO	TÉRMINO BOMBEAMENTO + FILTRO 6 - ASCENDENTE
16:00 BOMBEAMENTO	DECANTAÇÃO
17:00 TÉRMINO BOMBEAMENTO + FILTRO 7- ASCENDENTE	TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO
18:00 DECANTAÇÃO	BOMBEAMENTO
19:00 TÉRMINO DECANTAÇÃO + BOMBEAMENTO	TÉRMINO BOMBEAMENTO
20:00 BOMBEAMENTO	
21:00 TÉRMINO BOMBEAMENTO	

Fonte: Elaboração própria, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa mostrou que se pode promover o uso mais racional e eficiente dos recursos hídricos disponíveis, através do dimensionamento adequado da Estação de Tratamento de Água de Reúso, controlando, assim as perdas e garantindo o seu uso sustentável. Evidenciou-se durante o desenvolvimento do projeto, a necessidade da construção de mais um tanque de água de reúso, conforme os cálculos demonstrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Informe infra-estrutura da Área de Projetos de Infra-Estrutura, n. 16, nov. 1997: Tratamento de esgoto: tecnologias acessíveis. Rio de Janeiro: BNDES, nov. 1997. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15103?&locale=pt_BR. Acesso em: 9 jan. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Reúso de Água. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/. Acesso em: 19 out. 2024.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116739

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DE RESÍDUOS DE LARANJA DE UMA CEASA NO CEARÁ

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA DE UNA CENTRAL DE ABASTECIMIENTO EN CEARÁ

METHANE PRODUCTION POTENTIAL FROM ORANGE WASTE OF A WHOLESALE SUPPLY CENTER IN CEARÁ

Marcela de Sousa Lopes[1], Ariane das Neves Coelho[2], Tyronne Santiago Nantua[3] e Francisco das Chagas Gomes da Silva Júnior[4].

[1]Graduanda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá- CE, Brasil, marcela.lopess2023@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-8823-7421;
[2]Graduanda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá- CE, Brasil, arianecoelho2018@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-2272-9926;
[3]Tecnólogo, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Limoeiro-CE, Brasil, , Tyronne.nantua@cagece.com.br, https://orcid.org/0009-0006-0298-7509;
[4] Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE, Quixadá-CE, Brasil, chagas.gomes@ifce.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-8974-617X;

Eixo Temático 11 – Energia
Gestão, reaproveitamento de resíduos e biodigestores para produção de biogás.

Eje Temático 11 – Energía
Gestión, aprovechamiento de residuos y biodigestores para la producción de biogás.

Thematic Axis 11 – Energy
Waste management, reuse, and biodigesters for biogas production

RESUMO

A crescente geração de resíduos orgânicos em Centrais de Abastecimento (CEASAs) representa um desafio ambiental, uma vez que grande parte desses rejeitos ainda é destinada a aterros sanitários, contribuindo para a saturação desses locais e para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, alternativas que possibilitem o aproveitamento energético desses resíduos tornam-se relevantes, em especial por meio da digestão anaeróbia, capaz de produzir biogás rico em metano (CH_4). Entre os resíduos hortifrutigranjeiros, a laranja se destaca por corresponder a uma fração expressiva e por apresentar elevado teor de sólidos voláteis, o que pode favorecer sua biodegradabilidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial bioquímico de produção de metano (BMP) da fração triturada dos resíduos de laranja provenientes da CEASA de Maracanaú (CE), bem como estimar seu potencial energético e econômico. Para tanto, foram coletadas laranjas na CEASA e utilizado como inóculo o lodo de um reator anaeróbio de cervejaria. Os ensaios de BMP foram conduzidos em batelada, com reatores de 0,33 L, sob condições mesofílicas (37
°C), durante 30 dias, adotando razão alimento/microrganismo de 2,0. Os resultados indicaram que a laranja triturada apresentou teor de sólidos voláteis de 96%, reforçando sua atratividade como substrato. O potencial volumétrico de metano obtido foi de 206 NmL CH_4/gSV, valor superior ao de pesquisas que utilizaram apenas o bagaço da laranja, embora inferior aos rendimentos alcançados em estudos que aplicaram pré-tratamentos para remover o d-

limoneno, composto de reconhecido efeito inibitório. Do ponto de vista energético, verificou-

se que cada quilograma de resíduo de laranja triturada pode gerar o equivalente a 39,2 g de GLP, desempenho muito superior ao do esterco bovino, tradicionalmente utilizado em biodigestores. Para substituir um botijão de 13 kg de GLP, seriam necessários aproximadamente 326 kg de laranjas. Conclui-se que a digestão anaeróbia de resíduos de laranja representa uma alternativa viável para a geração de energia renovável, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, 11 e 12, ao propor soluções que integram energia limpa, economia circular e gestão eficiente de resíduos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, biogás, digestão anaeróbia, energia renovável, sustentabilidade

RESÚMEN

La creciente generación de residuos orgánicos en las Centrales de Abastecimiento (CEASAs) representa un desafío ambiental, ya que gran parte de estos desechos todavía se destina a los vertederos, contribuyendo a la saturación de estos lugares y al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, las alternativas que permitan el aprovechamiento energético de estos residuos se vuelven relevantes, en especial mediante la digestión anaerobia, capaz de producir biogás rico en metano (CH_4). Entre los residuos hortofrutícolas, la naranja se destaca por corresponder a una fracción significativa y por presentar un elevado contenido de sólidos volátiles, lo que puede favorecer su biodegradabilidad. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el Potencial Bioquímico de Producción de Metano (BMP) de la fracción triturada de los residuos de naranja provenientes de la CEASA de Maracanaú (CE), así como estimar su potencial energético y económico. Para ello, se recolectaron naranjas en la CEASA y se utilizó como inóculo el lodo de un reactor anaerobio de una cervecería. Los ensayos de BMP se llevaron a cabo en modo discontinuo, con reactores de 0,33 L, bajo condiciones mesofílicas (37 °C), durante 30 días, adoptando una relación sustrato/microorganismo de 2,0. Los resultados indicaron que la naranja triturada presentó un contenido de sólidos volátiles del 96%, lo que refuerza su atractivo como sustrato. El rendimiento volumétrico de metano obtenido fue de 206 NmL CH_4/gSV, valor superior al reportado en investigaciones que utilizaron solo el bagazo de naranja, aunque inferior a los rendimientos alcanzados en estudios que aplicaron pretratamientos para eliminar el d-limoneno, compuesto de reconocido efecto inhibitorio. Desde el punto de vista energético, se verificó que cada kilogramo de residuo de naranja triturada puede generar el equivalente a 39,2 g de GLP, desempeño muy superior al del estiércol bovino, tradicionalmente utilizado en biodigestores. Para sustituir una bombona de 13 kg de GLP, serían necesarios aproximadamente 326 kg de naranjas. Se concluye que la digestión anaerobia de residuos de naranja representa una alternativa viable para la generación de energía renovable, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, 11 y 12, al proponer soluciones que integran energía limpia, economía circular y gestión eficiente de residuos.

Palabras clave: residuos sólidos, biogás, digestión anaerobia, energía renovable, sostenibilidad

ABSTRACT

The increasing generation of organic waste in Supply Centers (CEASAs) represents an

environmental challenge, since a large portion of this waste is still sent to landfills, contributing to their saturation and to the increase in greenhouse gas (GHG) emissions. In this context, alternatives that enable the energetic use of this waste become relevant, particularly through anaerobic digestion, which is capable of producing methane-rich biogas (CH_4). Among fruit and vegetable residues, orange waste stands out for representing a significant fraction and for its high volatile solids content, which may favor its biodegradability. This study aimed to evaluate the Biochemical Methane Potential (BMP) of the ground (triturated) fraction of orange waste from the CEASA of Maracanaú (CE), as well as to estimate its energetic and economic potential. To this end, oranges were collected at the CEASA, and sludge from an anaerobic brewery reactor was used as inoculum. BMP tests were carried out in batch mode, with 0.33 L reactors, under mesophilic conditions (37 °C), for 30 days, adopting a substrate-to-inoculum ratio of 2.0. The results indicated that ground orange presented a volatile solids content of 96%, reinforcing its attractiveness as a substrate. The volumetric methane yield obtained was 206 NmL CH_4/gVS, higher than values reported in studies that used only orange bagasse, although lower than yields achieved in works that applied pretreatments to remove d-limonene, a compound with a recognized inhibitory effect. From an energy perspective, it was found that each kilogram of ground orange waste can generate the equivalent of 39.2 g of LPG, a performance much higher than that of cattle manure, traditionally used in biodigesters. To replace a 13 kg LPG cylinder, approximately 326 kg of oranges would be required. It is concluded that the anaerobic digestion of orange waste represents a viable alternative for renewable energy generation, contributing to Sustainable Development Goals (SDGs) 7, 11, and 12, by proposing solutions that integrate clean energy, circular economy, and efficient waste management.

Keywords: solid waste, biogas, anaerobic digestion, renewable energy, sustainability

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é um desafio global e está diretamente relacionada à sustentabilidade. Em 2022, foram desperdiçadas cerca de 1,05 bilhão de toneladas de alimentos no mundo, responsáveis por aproximadamente 8% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) (Durán-Sandoval, Durán-Romero, and Uleri 2023; Hamish Forbes et al. 2024). Nesse contexto, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12, relativo ao consumo e produção sustentáveis, da Organização das Nações Unidas (ONU), busca reduzir pela metade o desperdício de alimentos até 2030 (Aravind Kumar et al. 2022).

No Brasil, as Centrais de Abastecimento (CEASA) representam fontes significativas de resíduos biodegradáveis. A CEASA de Maracanaú (CE) produziu, até outubro de 2024, cerca de 13,7 t/dia de resíduos de frutas e vegetais (RFV), dos quais 85% foram destinados ao aterro. Entre esses resíduos, a laranja corresponde a 41% (Silva Júnior et al. 2022). Esse descarte acelera a saturação dos aterros e contribui para as emissões de GEE, destacando a necessidade de alternativas de valorização.

A digestão anaeróbia desponta como tecnologia promissora, permitindo a produção de biogás (rico em CH_4), hidrogênio e biofertilizantes (Cavalcante et al. 2023; Menezes et al. 2024). Este estudo, desenvolvido no Instituto Federal do Ceará, Campus Quixadá, objetivou avaliar o potencial bioquímico de produção de metano (BMP) da fração triturada da laranja, bem como seu potencial energético e econômico. O trabalho contribui para o ODS 7 – Energia Acessível e Limpa, ao investigar fontes renováveis de energia, e para o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, ao propor soluções de gestão de resíduos alinhadas à economia circular.

MATERIAIS E MÉTODOS

O inóculo, substrato e Potencial Bioquímico de Metano (PBM)

O inóculo utilizado foi obtido de um reator anaeróbio de uma cervejaria em Aquiraz, Ceará. As laranjas foram coletadas na CEASA-Maracanaú e refrigeradas a 4 °C no Laboratório de Resíduos, Efluentes e Bioenergia (LAREB), no Instituto Federal do Ceará (IFCE), campus Quixadá. A caracterização físico-química quanto ao pH, sólidos totais, fixos e voláteis do substrato foi realizada conforme metodologia descrita em APHA, AWWA, e WEF (2012).

A digestão anaeróbia foi conduzida em sistema de batelada, utilizando reatores de vidro com capacidade total de 0,33 L e volume reacional de 0,20 L. A razão alimento/microrganismo (A/M) adotada foi de 2,0. Em cada reator foram adicionados 3 g de substrato e 12 g de lodo, além de 1 g de bicarbonato de sódio, utilizado como agente tampão. Os experimentos foram realizados em condições mesofílicas, a 37 °C, conforme apresentado na Figura 1.

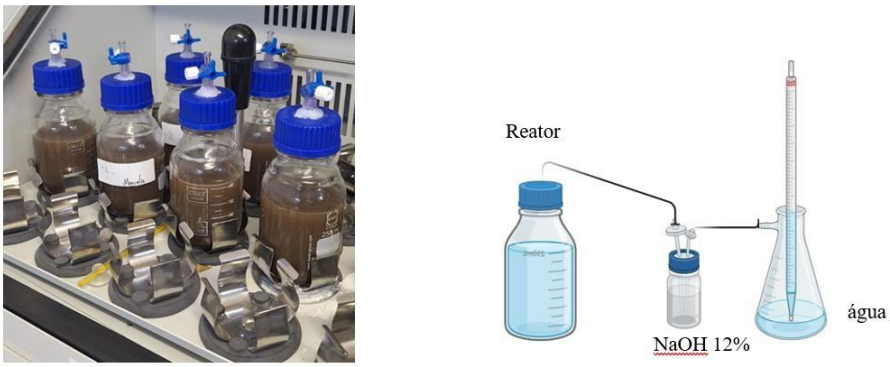


Figura 1. Aparato experimental para o ensaio de PBM (esq.) e de medição de metano (dir.).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os testes em batelada tiveram duração de 30 dias, seguindo os protocolos de Angelidaki e Sanders (2004), com adição de solução de nutrientes. O PVM foi baseado em Angelidaki et al. (2009), conforme a Equação 1.

$$PVM = \frac{V_{CH_4}^{30} - V_{CH_4}^{0}}{M_{substrato}} \quad (1)$$

Sendo, PVM: Potencial Volumétrico de Metano ($NmLCH_4/gSV$); V^{30}_{CH4} : Volume acumulado normalizado de CH_4 ao fim de 30 dias ($NmLCH_4$); V^{0}_{CH4} :Volume acumulado normalizado de CH_4 endógeno ($NmLCH_4$); $M_{substrato}$: é a massa do substrato em termos de sólidos voláteis adicionada (gSV_{add}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do substrato e inóculo

A fração triturada da laranja (LT) apresentou um teor de sólidos totais de 25%, caracterizando esse substrato como sólido, o que dificulta o acesso dos microrganismos anaeróbios aos metabólitos (Rizk, Bergamasco, and Tavares 2008). Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas do substrato e do inóculo.

Tabela 1. Caracterização da laranja triturada como substrato e inóculo

Parâmetro	Umidade	Substrato	Inóculo
Potencial Hidrogeniônico(pH)	-	4,0	7,0
Sólidos Totais (ST)	g/g	0,2597	0,0619
Sólidos Voláteis (SV)	g/g	0,2500	0,0333
Sólidos Voláteis (SV/ST)	%	96,26	53,8
Umidade	%	74,0	93,8

Contudo, o substrato apresentou pH ácido (4,0), valor semelhante ao reportado por Santos et al. (2018), característico de resíduos cítricos. Esse pH favorece a hidrólise, mas pode inibir a metanogênese, exigindo equilíbrio com o inóculo. A umidade de 74% foi adequada para o processo, embora menor que a relatada por Santos et al. (2018) (80,7%).

O teor de SV foi elevado (96,26%), indicando alta disponibilidade de matéria orgânica biodegradável. O inóculo apresentou pH neutro (7,0), adequado para microrganismos metanogênicos, e umidade de 93,8%, superior à do estudo de Santos et al.

(2018) (89,5%). Seu teor de SV foi de 53,8%, menor que o do substrato, mas típico de lodos já estabilizados. Assim, o substrato destaca-se pelo elevado potencial de biodegradação, enquanto o inóculo garante condições microbiológicas e de pH adequadas, tornando a combinação favorável à produção de metano.

Potencial Volumétrico de Metano

O potencial volumétrico de metano foi de 206 NmL CH_4/gSVadd (Figura 2), superando os 85,22 NmL CH_4/gSV obtidos por Santos et al. (2018). No entanto, os autores utilizaram como substrato somente o bagaço da laranja, enquanto, nesta pesquisa, utilizou-se toda a fruta como substrato. A hipótese é que houve maior disponibilidade de metabólitos para os microrganismos, mesmo com o teor de sólidos totais elevado.

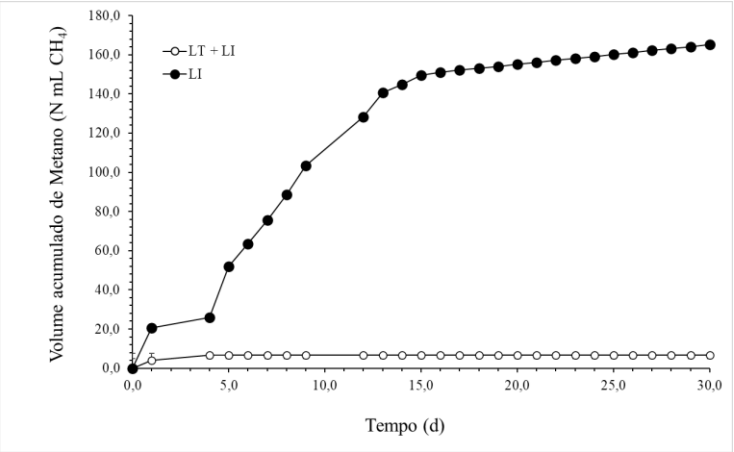


Figura 2. Evolução temporal do volume acumulado de metano.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Contudo, o resultado desta pesquisa foi inferior aos valores obtidos por Martín et al. (2010) e Carvalho et al. (2019), de 230 NmL CH_4/gSV e 301 NmL CH_4/gSV, respectivamente. Na ocasião, ambos os autores realizaram pré-tratamentos na casca da laranja para retirada do d-limoneno. Martín et al. (2010) empregaram a destilação a vapor para promover a remoção parcial desse composto, enquanto Carvalho et al. (2019) utilizaram um pré-tratamento mecânico aliado a uma etapa de peneiramento, o que resultou em maior eficiência na produção de metano. No presente estudo, a ausência de qualquer tipo de pré- tratamento possivelmente manteve o d-limoneno presente na fruta, o que corrobora a hipótese de que esse composto pode ter efeito inibitório na atividade das bactérias metanogênicas

(Ruiz Fuertes 2015).

Potencial energético do resíduo da laranja

O gás metano é uma alternativa ao GLP em áreas rurais, e essa substituição diminui os custos com a aquisição de botijões. Na Tabela 2 estão apresentadas as principais conversões baseadas no PVM da laranja triturada (206,63 NmL CH_4/gSV).

Tabela 2. Produção estimada de resíduo de laranja para gerar Metano em substituição ao GLP.

Descrição	Valor	Unidade
Potencial Volumétrico de Metano (PVM) ao fim dos 30 dias de medição	206,00	Nml CH_4/gSVadicionado
Potencial Volumétrico de Metano (PVM) por dia	6,87	Nml CH_4/gSVadicionado.dia
Concentração de sólidos voláteis no substrato	0,25	gSV/gSubstrato
Potencial Volumétrico de Metano (PVM) em função do substrato bruto	51,50	Nml CH_4/gSubstrato
Potencial Volumétrico de Metano (PVM) em função do substrato bruto	51,50	NL CH_4/kgSubstrato
Potencial Volumétrico de Metano (PVM) em função do substrato bruto	0,052	Nm^3 CH_4/kgSubstrato
Percentual médio de CH_4 presente no biogás	60,00	%
Potencial volumétrico de biogás em função do substrato	85,83	NL biogás/kgSubstrato
Conversão de 1 kg GLP em volume de CH_4	1,293	m^3CH_4/kgGLP
Um botijão de 13 kg de GLP em volume de CH_4	16,81	m^3CH4
Massa de substrato necessária para produção de CH4 equivalente a 13 kg de GLP	326,39	KgSubstrato
Gasto médio de um fogão de 1 boca, em fogo médio, por hora.	0,0563	kg GLP/h
Gasto médio de um fogão de 1 boca, em fogo médio, por hora.	0,0727	m^3 CH_4/h
Equivalente de metano para 1 boca de fogão	72,73	LCH_4/h
Tempo de funcionamento estimado para 1 boca de fogão	231,1	h
Tempo de funcionamento estimado para 1 boca de fogão durante o dia	5,0	h/dia
Tempo estimado de autonomia do fogão usando o biogás	46,22	dia

De acordo com os dados da Tabela 2, pode-se inferir 39,2 g GLP/kg substrato. Esse valor supera o encontrado para o esterco bovino, tradicionalmente empregado em biodigestores, cujo potencial de conversão corresponde a cerca de 4,8 g GLP/kg esterco.

A hipótese é que esse desempenho pode ser atribuído ao elevado teor de carboidratos solúveis e à maior biodegradabilidade da matéria orgânica presente nos resíduos hortifrutigranjeiros, em contraste com a elevada fração de sólidos recalcitrantes, como fibras e lignina, comumente encontrada no esterco bovino. Esses resultados reforçam a viabilidade do aproveitamento energético dos resíduos de frutas e verduras, destacando-os como alternativa promissora para a substituição parcial do GLP em contextos rurais.

Serão necessários 326 kg de resíduo para fornecer o volume de metano correspondente a um botijão de GLP; essa massa pode ser adquirida por meio da CEASA- CE, em doações destinadas a biodigestores em áreas rurais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto do acesso a fontes renováveis de energia em comunidades rurais, a digestão anaeróbia do resíduo triturado da laranja destaca-se como uma alternativa sustentável para a produção de biogás. Os ensaios indicaram um potencial volumétrico de metano de 206 NmL CH_4/gSV, valor que, quando escalonado, corresponde à necessidade de aproximadamente 300 kg de laranjas para suprir a energia equivalente ao conteúdo de um botijão de GLP, aproveitando os resíduos de laranjas disponíveis na CEASA-CE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angelidaki, I., M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek, and J. B. Van Lier. 2009. "Defining the Biomethane Potential (BMP) of Solid Organic Wastes and Energy Crops: A Proposed Protocol for Batch Assays." *Water Science and Technology* 59 (5): 927–34. https://doi.org/10.2166/wst.2009.040.

Angelidaki, Irini, and Wendy Sanders. 2004. "Assessment of the Anaerobic Biodegradability of Macropollutants." *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 3 (2): 117–29. https://doi.org/10.1007/s11157-004-2502-3.

APHA, AWWA, and WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edited by Eugene W. Rice Rodger B. Baird Andrew D. Eaton Lenore S. Clesceri. *American Public Health Association*. 22nd ed. Washington, DC: Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00237-3.

Aravind Kumar, J., S. Sathish, T. Krithiga, T. R. Praveenkumar, S. Lokesh, D. Prabu, A. Annam Renita, P. Prakash, and M. Rajasimman. 2022. "A Comprehensive Review on Bio-Hydrogen Production from Brewery Industrial Wastewater and Its Treatment Methodologies." *Fuel* 319 (March): 123594. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123594.

Carvalho, A., R. Fragoso, J. Gominho, and E. Duarte. 2019. "Effect of Minimizing D-Limonene Compound on Anaerobic Co-Digestion Feeding Mixtures to Improve Methane Yield." *Waste and Biomass Valorization* 10 (1): 75–83. https://doi.org/10.1007/s12649-017-0048-1.

Cavalcante, Willame A., Camila Aparecida de Menezes, Francisco C.G. da Silva Júnior, Tito A. Gehring, Renato C. Leitão, and Marcelo Zaiat. 2023. "From Start-up to Maximum Loading: An Approach for Methane Production in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Fed with the Liquid Fraction of Fruit and Vegetable Waste." *Journal of Environmental Management* 335 (January). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117578.

Durán-Sandoval, Daniel, Gemma Durán-Romero, and Francesca Uleri. 2023. "How Much Food Loss and Waste Do Countries with Problems with Food Security Generate ?" *Agriculture* 13 (966). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ agriculture13050966.

Hamish Forbes, Eloise Peacock, Nettie Abbot, and Michael Jones. 2024. *Relatório Do Índice de Desperdício de Alimentos Do PNUMA 2021 | PNUMA - Programa Das Nações*

Unidas Para o Meio Ambiente. Nairóbi. https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021.

Martín, M. A., J. A. Siles, A. F. Chica, and A. Martín. 2010. "Biomethanization of Orange Peel Waste." *Bioresource Technology* 101 (23): 8993–99. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.133.

Menezes, Camila Aparecida de, Maíra Saldanha Duarte, Isabelle Nascimento Teixeira, Willame de Araújo Cavalcante, Priscilla de Souza Almeida, Michael Barbosa Viana, Marcelo Zaiat, and Renato Carrhá Leitão. 2024. "Using Fruit and Vegetable Waste to Generate Hydrogen through Dark Fermentation." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 29:1–7. https://doi.org/10.1590/S1413-415220240013.

Rizk, Maria Cristina, Rosângela Bergamasco, and Célia Regina Granhen Tavares. 2008. "Avaliação Dos Efeitos Da Diluição De Resíduos De Frutas E Verduras Na Digestão Anaeróbia." *Tópos* 2 (2): 153–65.

Ruiz Fuertes, BEGOÑA. 2015. "Effect of Limonene on Anaerobic Digestion of Citrus Waste and Pretreatments for Its Improvement." Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/handle/10251/58769.

Santos, Liliana Andréa dos, André Felipe Melo Sales Santos, Rebeca Beltrão Valença, José Fernando Thomé Jucá, and Carolinni R M Oliveira. 2018. "Produção de Biogás a Partir de Bagaço de Laranja." *Revista Geama* 4 (3): 22–27.

Silva Júnior, Francisco das Chagas Gomes da, Camila Aparecida de Menezes, Willame Araújo Cavalcante, Oscar Pedreira Aragão, Marcelo Zaiat, and Renato Carrhá Leitão. 2022. "Characterization of Fruits and Vegetables Waste Generated at a Central Horticultural Wholesaler: A Case Study for Energy Production Via Biogas." *Industrial Biotechnology* 18 (4): 235–39. https://doi.org/10.1089/ind.2021.0032.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116945

ÁGUA RESIDUÁRIA DA PISCICULTURA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO MINERAL NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE MAMOEIRO

FISH FARMING WASTEWATER ASSOCIATED WITH MINERAL FERTILIZATION IN THE DEVELOPMENT OF SEEDLINGS

AGUAS RESIDUALES DE LA PISCICULTURA ASOCIADAS A LA FERTILIZACIÓN MINERAL EN EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS

Erick Meira dos Santos[1], César Fernandes Aquino[2], Lívia de Souza Gomes Pereira[3] e Anderson Miranda de Souza[4].

[1]Engenheiro Agrônomo, UFOB, Barra-BA, Brasil, erick.santos@ufob.edu.br, 0009-0009-7752-667X;
[2]Professor, UFOB, Barra-BA, Brasil, cesar.aquino@ufob.edu.br , 0000-0003-0725-011X;
[3]Estudante de Agronomia, UFOB, Barra-BA, Brasil, livia.p0502@ufob.edu.br, 0009-0005-2602-9578;
[4]Professor, Petrolina-PE, Brasil, anderson.souza@univasf.edu.br , 0000-0002-4736-0340.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura.

Eje Temático 12 – Alcantarillado sanitario
Reutilización de efluentes tratados en la agricultura.

Thematic Axis 12 – Agriculture
Reuse of treated effluents in agriculture.

RESUMO

Objetivou-se avaliar as concentrações de água residuária associadas ou não a adubação mineral, no crescimento do mamoeiro Golden Papaya em fase inicial de crescimento nas condições edafoclimáticas de Barra-BA. O experimento foi realizado seguindo o delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis de inclusão de água residuária da piscicultura, da seguinte forma: T1 (100% água residuária = AR); T2 (75% água residuária = AR + 25% água de abastecimento = AB + 25% de adubação mineral = AM); T3 (50% AR + 50% AB + 50% AM); T4 (25% AR + 75% AB + 75% AM) e T5 (100% AB + 100% AM), com doze repetições, uma planta por unidade amostral. Foram avaliados: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, comprimento e volume da raiz. Notou-se a maior média de altura e diâmetro do caule nos tratamentos que utilizaram 100% AR. O comprimento máximo das raízes foi observado nas plantas que receberam as maiores quantidades de fósforo, sendo que o tratamento com 25% AR + 75% AB + 75% AM obteve a melhor média. A água residuária mostrou-se eficiente no desenvolvimento inicial de mudas de mamoeiro Golden papaya nas condições edafoclimáticas de Barra-BA. O tratamento com 100% de AR foi superior aos demais.

Palavras-chave: *Carica papaya*, Efluente, Nutribioirrigação.

RESÚMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las concentraciones de aguas residuales asociadas o no a la fertilización mineral, en el crecimiento de la papaya Golden Papaya en la fase inicial de crecimiento bajo las condiciones edafoclimáticas de Barra-BA. El experimento se realizó siguiendo un diseño completamente aleatorizado, con cinco niveles de inclusión de aguas residuales de piscicultura, así: T1 (100% aguas residuales = AR); T2 (75% aguas residuales = AR + 25% agua de abastecimiento = AB + 25% fertilizante mineral = AM); T3 (50% AR + 50% AB + 50% AM); T4 (25% AR + 75% AB + 75% AM) y T5 (100% AB + 100% AM), con doce réplicas, una planta por unidad de muestreo. Se evaluaron: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, longitud y volumen de la raíz. Los mayores promedios de altura y diámetro del tallo se observaron en los tratamientos que utilizaron 100% AR. Se observó la máxima longitud radicular en las plantas que recibieron las mayores cantidades de fósforo, siendo el tratamiento con 25 % AR + 75 % BA + 75 % AM el que logró el mejor promedio. El tratamiento con aguas residuales demostró ser eficaz en el desarrollo inicial de plántulas de papaya dorada en las condiciones edafoclimáticas de Barra, Bahía. El tratamiento con 100 % AR fue superior a los demás.

Palabras clave: *Carica papaya*, Efluente, Nutribioirrigación.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the concentrations of wastewater associated or not with mineral fertilization, in the growth of the papaya Golden in the initial stage of development in the edaphoclimatic conditions of Barra-BA. The experiment was carried out following a completely randomized design, with five levels of inclusion of wastewater from fish farming, as follows: T1 (100% effluent = E); T2 (75% effluent = E + 25% water =W + 25% mineral fertilizer = MF); T3 (50% E + 50% W + 50% MF); T4 (25% E + 75% W + 75% MF) and T5 (100% W + 100% MF), with twelve replicates, one plant per sample unit. It was evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, length and volume of the root. The highest average height and diameter of the stem was observed in the treatments that used 100% RA. The maximum length of the roots was observed in the plants that received the highest amounts of phosphorus, and the treatment with 25% E + 75% W+ 75% MF obtained the best average. Wastewater proved to be efficient in the initial development of papaya Golden seedlings in the edaphoclimatic conditions of Barra-BA. Treatment with 100% effluent was superior to the others.

Keywords: *Carica papaya*, Effluent, Nutribioirrigation.

INTRODUÇÃO

O mamomeiro é um cultura perene de ciclo comercial curto, com propagação predominantemente seminifera, sensivel a estresse bióticos e abióticos, os quais influenciam diretamente nas perdas produtivas em campo e a após colheita, resultando na renovação dos pomares comerciais a cada 2 ou 3 anos (Dietrich et al. 2021; Nomura et al., 2019). Em vista

disso, a produção de mudas torna-se uma das etapas primordiais para aumentar o vigor da planta, utilizando-se de substratos com atributos químicos, físicos e biológicos, que contribuam na germinação e no crescimento inicial das raízes e parte aerea das planta e consequentemente possibilite um bom desenvolvimeto reprodutivo (Aquino et al., 2023).

O enrequecimento do substrato com a adubação mineral, permite melhor desenvolvimento radicular, maiores explorações do volume dos substratos, contribuem para a eficiência na absorção de água e nutrientes, possibilitando que às mudas tolerem situações adversas ambientais e estressantes no campo (Natale et al., 2018, Cordeiro et al., 2020). No entando, o alto custo para produção de mudas associada a adubação mineral são gargalos a serem enfrentados pelos pequenos viveiristas e produtores rurais.

Nesse contexto, a integralização dos sistemas da piscicultura com agricultura surge como alternativa para minimizar os custos e otimizar os recursos da propriedade (Kummer et al., 2012) . Uma vez que, o aporte e ciclagem de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, obtidos nos resíduos da piscicultura, asseguram o aumento da massa caulinar e foliar no desenvolvimento inicial das mudas. Oliveira et al. (2020), avaliando o crescimento e a composição mineral de mudas de mamoeiro e maracujazeiro irrigadas com água cinza, observaram que altura das plantas, diâmetro dos caules, comprimento das raízes, massa de matéria seca da parte aérea e das raízes, foram superiores aos demais tratamentos. Da mesma forma, Santos et al. (2018) verificaram em mudas de mamoeiro, utilizando água de laticínio nos substratos nas concentrações 0, 25, 50, 75 e 100%, maior desenvolvimento das mudas na concentração de 100% da água residuária. Rosa et al. (2018), constataram que o uso de resíduo da piscicultura mostrou ser tão eficiente quanto o substrato comercial Vivatto na produção de mudas de mamoeiro, podendo ser uma alternativa para os produtores que possuem sistema de produção de peixes, associado com a produção vegetal.

Dessa maneira, o presente trabalho objetivou avaliar concentrações de água residuária da piscicultura associadas ou não a adubação mineral, no crescimento do mamoeiro Golden Papaya na fase inicial nas condições edafoclimáticas do município de Barra-BA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um parreiral com três anos de plantio, na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), em Barra-BA, em um Neossolo Quartzarênico. As

sementes da variedade Golden Papaya, do grupo solo, foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido, contendo 72 células, preenchidas com substrato. As bandejas permaneceram na estrutura de telado com tela de sombreamento, sendo irrigadas com água do abastecimento uma vez ao dia com auxílio de um regador de crivo fino. Trinta dias antes do transplantio, aplicou-se superfosfato simples nas unidades experimentais, sendo, (T1 0 g), (T2 2,25 g), (T3 4,5 g), (T4 6,75 g) e (T5 9 g).

Quando as mudas atingiram 9 cm de comprimento, foram selecionadas as com padrão pré-estabelecido de altura e transplantado duas para cada unidade experimental. Decorridos oito dias do transplantio, realizou-se o desbaste das mudas, deixando apenas a mais vigorosa. Após 14 dias do transplantio, iniciou-se a aplicação dos tratamentos às unidades experimentais. A água para irrigação foi coletada em reservatório com capacidade para 30 m^3. Já a água residuária em tanque de piscicultura com capacidade para 15 m^3 com sistema de aeração intermitente, povoado com tilápia do Nilo com peso médio de 200 g, alocando-se aproximadamente 40 peixes m^3.

A irrigação de cada unidade experimental foi realizada manualmente com as suas devidas concentrações de água residuária e do abastecimento a cada dois dias. As unidades em que foram efetuadas a nutrição mineral receberam, as respectivas concentrações de nitrogênio e potássio, na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente (T1 0 mg de Ureia e 0 mg de KCl), (T2 200 mg de Ureia e 80 mg KCl), (T3 400 mg de Ureia e 160 mg KCl), (T4 600 mg de Ureia de 240 mg KCl) e (T5 800 mg Ureia e 320 mg KCl) por unidade, parcelas em duas vezes, no início da aplicação dos tratamentos e aos 30 dias após.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis de inclusão de água residuária da piscicultura associada ou não à adubação mineral, T1 (100% água residuária=AR); T2 (75% água residuária = AR + 25% água de abastecimento = AB + 25% de adubação mineral = AM); T3 (50% AR + 50% AB + 50% AM); T4 (25% AR + 75% AB + 75% AM) e T5 (100% AB + 100% AM), sendo doze repetições, com uma planta por unidade amostral. A unidade experimental foi composta por vaso de polietileno preto, medindo-se 28 cm de diâmetro e 26 cm de altura, com capacidade para 9 dm3, que foram alocados em estrutura de telado com sombrite de 80%. O volume dos vasos foram todos preenchidos com Neossolo Quartzarênico peneirado em peneira de 2,75 mm.

As avaliações foram realizadas semanalmente, sendo mensurada a altura das plantas (cm), diâmetro do caule (mm), número de folhas definitivas. A altura foi mensurada da base da planta até o ápice, com auxílio de régua graduada. O diâmetro do caule foi determinado a 2 cm do solo, com auxílio de paquímetro digital. A contagem das folhas foi feita de forma direta, contabilizando as folhas completamente abertas. Decorridos 60 dias do início da aplicação dos tratamentos, as mudas foram retiradas dos vasos e lavadas sob jato de água contínuo para retirada do solo aderido às mesmas. O volume do sistema radicular foi obtido pelo método do deslocamento de água em proveta, desenvolvido por Zenzen et al. (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa ($p<0,05$) no teste de Tukey entre os valores médios para as variáveis, altura, diâmetro do caule, comprimento de raiz, número, largura e comprimento das folhas, em função dos diferentes tratamentos aplicados (Tabela 1).

Para a média de altura das plantas que receberam 100% de AR (T1) e 75% AR + 25% AB + 25% AM (T2) foram 15,50% e 13,85%, respectivamente, superiores àquelas que receberam 100% AB + 100% AM (T5). Os tratamentos com 50% AR + 50% AB + 50% AM (T3) e 25% AR + 25% AB + 75% AM (T4) não se diferenciaram dos tratamentos de maior e menor altura. Esses resultados, são semelhantes aos verificados por Rosa et al. (2018), que observaram aumento na altura do mamoeiro de acordo com o aumento da concentração de resíduo proveniente da piscicultura.

Para o diâmetro do caule, as plantas que receberam o tratamento com 100 % de AR (T1), atingiram o maior diâmetro, 23,04 mm, contudo não se diferenciou das mudas que receberam os tratamentos com 75% AR + 25% AB + 25% AM (T2) e 50% AR + 50% AB + 50% AM (T3). No entanto, para as mudas do tratamento com 100% AB + 100% AM (T5) observou-se a menor média, 20,92 mm, sendo 9,20% inferior àquelas que receberam o T1 (Tabela 1).

Para a quantidade de folhas emitidas durante o período avaliado, verifica-se que as plantas que receberam 100% de AR (T1), apresentaram média 8,70% superior às plantas que receberam 100% AB + 100% AM (T5), mas não se diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 1). Esses resultados discordam dos obtidos por Batista et al. (2017), que avaliando o emprego do esgoto doméstico primário em diferentes proporções na produção de mamoeiro, até os 274 dias após o transplantio, observaram que o tratamento com maior

concentração de água residuária apresentou as menores quantidades de folhas, comparado ao tratamento com 100% de água do abastecimento associada à adubação mineral. Por outro lado, Silva et al. (2017) avaliando o crescimento inicial de mudas e produção de biomassa de maracujazeiro-azedo produzidas a partir de resíduo proveniente de tanques de piscicultura, ressaltaram que a concentração de nitrogênio presente nos substratos em função da irrigação com a água residuária promoveu o crescimento linear de folhas entre os tratamentos.

O comprimento máximo das raízes foi observado nas plantas que receberam as maiores quantidades de fósforo, sendo que o tratamento com 25% AR + 75%AB + 75% AM (T4) obteve a maior média com 44,60 cm, seguida pelas plantas do tratamento aplicado 100% AB + 100% AM (T5) e 50% AR + 50% AB +50% AM (T3) com 41,12 e 39,07 cm. O T3 e T5 não se diferenciaram estatisticamente dos tratamentos 1 e 2 que obtiveram a menor média de tamanho de raiz (Tabela 1). Esses valores do comprimento médio das raízes, são superiores aos notados por Oliveira et al. (2020), que ao verificarem o comprimento médio das raízes de mamoeiro irrigados com concentrações divergentes de de água cinza e água de abastecimento, observaram crescimento médio de 29,12 cm para os tratamentos irrigados com água cinza, seguidas das mudas irrigadas com água da mistura, 21,39 cm, e das irrigadas somente com água do abastecimento 16,53 cm.

Tabela 1 - Valores médios da altura da muda (ALT), diâmetro do caule (DIA), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), volume da raiz (VR), largura da folha (LF), comprimento da folha (CF), e respectivos coeficientes de variação (CV%) de mudas de mamoeiro produzidos em Barra-BA.

Tratamentos	ALT** .(cm).	DIA** ...(mm)...	NF**	CR**	VR^ns	LF**	CF**
				.....(cm).....			
T1 (100%AR)	82,10a	23,04a	27,66ª	36,74b	115,91a	30,58a	33,56ab
T2 (75%AR+25%AB+25%AM)	80,93a	22,77ab	27,08ab	37,58b	110,83a	23,92b	34,14a
T3 (50%AR+50%AB+50%AM)	77,62ab	22,61ab	26,33ab	39,07ab	98,33a	29,80a	32,05ab
T4 (25%AR+75%AB+75%AM)	74,95ab	21,09b	25,91ab	44,60a	116,08a	22,20b	30,31b
T5 (100%AB+100%AM)	71,08b	20,92b	25,25b	41,12ab	91,00a	24,45b	31,15ab
Média geral	77,34	22,08	26,45	39,82	106,43	26,19	32,24
CV %	10,34	7,61	6,31	14,52	24,46	15,01	9,36

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). AR = Água residuária; AB = Água do abastecimento; AM = Adubação mineral. ** = Significativo pelo Tukey (p<0,05); ^ns = Não Significativo pelo Tukey (p<0,05).

Já para o volume de raiz, não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos, demostrando que o sistema radicular se desenvolveu de forma adequada independente do tratamento aplicado (Tabela 1). O volume de raiz é importante para uma maior absorção de

água e nutrientes pelas plantas, seu crescimento, no entanto, depende da disponibilidade de água e nutrientes na rizosfera. Se a rizosfera é pobre em nutrientes ou muito seca, o crescimento das raízes é limitado (Taiz et al., 2017). E segundo Silva et al. (2009), as alterações na arquitetura das raízes modificam a capacidade de exploração do solo e, portanto, o potencial para extração dos nutrientes.

A largura e o comprimento das folhas tiveram grandes variações entre os diferentes tratamentos (Tabela 1). As plantas que receberam 100% de AR (T1) e 50% AR + 50% AB +50% AM (T3) alcançaram as maiores larguras das folhas, com 30,58 e 29,80 cm, respectivamente. Já as plantas que receberam 75% AR + 25% AB + 25% AM (T2) apresentaram o maior comprimento da folha com 34,14 cm, sendo 11,21% superior às plantas do T4, com menor comprimento (Tabela 1). Nascimento et al. (2016) verificaram folhas de pimentão mais largas com o aumento das doses de água residuária da piscicultura.

Com base nos dados da Tabela 1. fica evidente que as concentrações de água residuária proporcional parâmetros beneficos no desenvolvimento inicial de mudas de mamoeiro quando comparadas as adubação mineral, principalmente de ureia, recomendadas para esse estágio da cultura, segundo Rosa et al. (2018) o nitrogênio é um nutriente de alta mobilidade no solo, a planta do mamoeiro necessita de dosagens constantes para o seu bom desenvolvimento, que possivelmente foi esgotado do substrato em consequência da baixa aplicação, consumo pela planta, por lixiviação ou pela volatilização.

Além de que, observa-se que a redução da concentração de água residuária fornecida aos tratamentos, provocou a diminuição progressiva das variáveis avaliadas. Esta resposta pode estar vinculada, ao aporte e ciclagem de nutrientes como nitrogênio e fósforo, encontados nas formas de amônia o nitrogênio e ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico, o fósforo que compões cerca de 75% da água residuária segundo Silva (2019).

O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento das plantas, uma vez que participa diretamente da síntese de proteínas, na expansão celular e formação de novos tecidos como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos indispensáveis ao crescimento das plantas (Taiz *et al.,* 2017), bem como desencadeia melhor resposta fotossintética em detrimento da maior área foliar das plantas. Já o fósforo é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, como também os fosfolipídios que compõem as membranas vegetais (Taiz *et al*., 2017), responsáveis por auxiliar no

crescimento da parte área e radicular das plantas.

A associação desses elementos na composição da água residuária, favorecem o crescimento e expansão celular do mamoeiro, aumentando o vigor das mudas com intuito de minimizar estresses bióticos e abióticos em campo, e, consequentemente reduzindo custos produtivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de água residuária da piscicultura mostrou-se eficiente na nutrição e crescimento inicial de mudas de mamoeiro Golden papaya nas condições edafoclimáticas do munícipio de Barra-BA. As plantas que receberam a dose de 100% de água residuária foram superiores as demais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino, C. F., Silva, C. R. da, Souza, A. M. de, et al. 2023. "Uso de água residuária da piscicultura no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo". *Recital* 5, no. 1 https://doi.org/10.46636/recital.v5i1.308.

Cordeiro, K. V., Pereira, R. Y. F., Cardoso, J. P. S., Sousa, R. de L., et al. 2020. "Eficiência do uso de substrates alternativos na produção de mudas de mamoeiro". *Research, Society and Development*, 9, no. 9.https://rsdjournal.org/rsd/article/view/7795/

Dietrich, O. H. S., J., Santos, M. A. C. dos, Ferreira, V. R., et al. 2021. "Mudas de mamão CV. Sunrise Solo BS 2000 produzidas com lodo de curtume em Mistura com substrato commercial". *Revista Ifes Ciência*, Bento Gonçalves 7, no. 1: 01-14. https://pdfs.semanticscholar.org/f7ab/18f81b34e67789643403d56869dff7d0de2d.

Kummer, C.B.; Silva, I.P.F.; Lobo, T.F.; Filho, H.G. 2012. " Qualidade da água residuária para irrigação do trigo". *Irriga*, Edição especial. https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/454/251.

Nascimento, T. S., Floriano, L. S., Pereira, A. I. A. et al. "Produção de mudas de pimentão irrigadas com efluentes de piscicultura. *Revista Brasileira de Agricultura irrigada,*10, no. 1: 449-459. https://doi.org/10.7127/rbai.v10n100386.

Natale, W., Neto, L. A. J., Rozane, D. E. et al 2018. " Mineral nutrition evolution in the formation of fruit tree rootstocks and".*Revista Brasileira de Fruticultura* 40, no. 6,: 15 https://nucleus.feituverava.com.br/index.php/animalium/article/view/2809/2537.

Nomura, M., Pereira Filho, J. M., Costa, E. M., et al. 2019. "Avaliação de diferentes quantidadesde hydrogel na produção de mudas de mamão Papaya". *Revista Ipê Agronomic Journal,* Goianésia, 3, no. 1: 19-25 https://pdfs.semanticscholar.org/f7ab/18f81b34e67789643403d56869dff7d0de2d.pdf

Oliveira, H. A. D., Batista, R. O. Sá, f. V. D. S. et al 2020. "Growth and mineral composition of papaya and passion fruit seedlings irrigated with gray water" *Revista Caatinga*, Mororó 33, no. 4: 1037-1048.

Rosa, D. K. O. F., Barros, D. L., Aires, F. P. G., Gomide, P. H. 2018. "Aproveitamento do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de mamoeiro em Rorainópolis" *Ambiente: Gestão e Desenvolvimento*, Boa vista 11, no. 1: 120-136 https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128174/1/Doc121-21.pdf.

Santos, V. A., Ramos, J. D., Chagas, E. A. et al 2018 " Formação de mudas de mamoeiro utilizando água residuária de laticínio nos substratos". *Revista de Ciências Agrovenitérias,* Lages 17, no. 4: 498-504.

Santos, V. A., Ramos, J. D., Chagas, E. A. et al. 2014. "Grafting of different combinations of scions and rootstocks of passion fruit plants". *Semina: Ciências Agrárias,* 35, no. 3: 1201-1208.

Silva, F. O. R., Melo, C. C. V., Botelho, H. A. et al. 2017. "Efeito do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de maracujazeiro" *Boletim de Indústria Animal* 74, no 1: 58-64. https://doi.org/10.17523/bia.v74n1p58.

Silva, A. A. e Delatorre, C. A. 2009. "Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio". *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 8, no. 2: 152-163 https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5324/3530.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. 2017. Fisiologia Vegetal. 858. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed

Zenzen, I. L., Amarante, L., Colares, D. S. Oliveira, M. L. et al. "Área foliar e volume do sistema radicular em plantas de soja inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* e submetidas ao alagament". *Revista Brasileira de Biociências* 5, no. 2: 1092-1094. https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000200005.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116957

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO DA SANAMA PARA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE REUSO DE SANAMA PARA EL RIEGO DE CULTIVOS EN EL SEMIÁRIDO DE ALAGOAS

EVALUATION OF THE QUALITY OF REUSE WATER FROM SANAMA FOR IRRIGATION OF CROPS IN THE SEMIARID REGION OF ALAGOAS

Christian Barbosa[1], Lucas Candido[2]

[1]Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas – Campus Maceió, Maceió-AL, Brasil, camb1@ifal.edu.com.br, 0009-0000-3299-6330;
[2]Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas – Campus Maceió, Maceió-AL, Brasil, lucas.santos.candido@gmail.com, 0009-0008-7126-4755;

Eixo Temático 12 – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura.

Eje Temático 12 – Agricultura
Reúso de Efluentes Tratados en la Agricultura.

RESUMO

O reuso de águas de esgoto tratado tem se mostrado alternativa estratégica para enfrentar a escassez hídrica em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro. Este estudo avaliou a viabilidade do reuso da água da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Benedito Bentes, operada pela SANAMA, para irrigação agrícola. Foram monitorados parâmetros físico-químicos e microbiológicos em 2023, como pH, coliformes termotolerantes, nitrato, fósforo total e turbidez, comparando-se com os limites de tolerância de seis culturas regionais de relevância: cajueiro, mandioca, capim-elefante, sisal, feijão-caupi e manga. Os resultados mostraram pH adequado (7,25–7,49) e níveis de nitrato e fósforo compatíveis com a absorção vegetal. Contudo, turbidez elevada (até 42,5 NTU) e coliformes (picos de 35.145 NMP/100 mL) indicaram riscos, demandando tratamento complementar ou restrição ao uso em culturas consumidas cruas. Conclui-se que a água da ETE apresenta potencial para irrigação de culturas não destinadas ao consumo in natura, fortalecendo a agricultura regional e a sustentabilidade hídrica.

Palavras-chave: reuso de água, irrigação agrícola, ETE Benedito Bentes, sustentabilidade hídrica, semiárido.

RESÚMEN

El reúso de aguas residuales tratadas constituye una alternativa estratégica para enfrentar la escasez hídrica en regiones semiáridas, como el Nordeste de Brasil. Este estudio evaluó la viabilidad del reúso del efluente de la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (ETAR) Benedito Bentes, operada por SANAMA, para riego agrícola. En 2023 se monitorearon

parámetros físico-químicos y microbiológicos, como pH, coliformes termotolerantes, nitrato, fósforo total y turbidez, comparándolos con los límites de tolerancia de seis cultivos regionales: anacardo, mandioca, pasto elefante, sisal, caupí y mango. Los resultados mostraron pH adecuado (7,25–7,49) y niveles de nitrato y fósforo compatibles con la absorción vegetal. Sin embargo, la turbidez elevada (hasta 42,5 NTU) y los coliformes (picos de 35.145 NMP/100 mL) representaron riesgos, requiriendo tratamiento adicional o restricciones en cultivos consumidos crudos. Se concluye que el agua de la ETAR tiene potencial para riego de cultivos no destinados al consumo in natura, fortaleciendo la agricultura regional y la sostenibilidad hídrica.

Palabras clave: reuso de agua, riego agrícola, ETAR Benedito Bentes, sostenibilidad hídrica, semiárido.

ABSTRACT

The reuse of treated wastewater is a strategic alternative to address water scarcity in semiarid regions, such as Northeastern Brazil. This study evaluated the feasibility of reusing effluent from the Benedito Bentes Wastewater Treatment Plant (WTP), operated by SANAMA, for agricultural irrigation. In 2023, physicochemical and microbiological parameters were monitored, including pH, thermotolerant coliforms, nitrate, total phosphorus, and turbidity, and compared with tolerance limits of six regional crops: cashew, cassava, elephant grass, sisal, cowpea, and mango. Results indicated suitable pH (7.25–7.49) and nitrate and phosphorus levels compatible with plant uptake. However, high turbidity (up to 42.5 NTU) and coliforms (peaks of 35,145 MPN/100 mL) posed risks, requiring additional treatment or restrictions for crops consumed raw. Overall, the effluent demonstrated potential for irrigation of non-food crops or those not consumed in natura, contributing to regional agriculture and water sustainability.

Keywords: water reuse, agricultural irrigation, Benedito Bentes WWTP, water sustainability, semiarid

INTRODUÇÃO

O crescente aumento da demanda por recursos hídricos em virtude do crescimento populacional, da intensificação agrícola e da expansão urbana tem imposto grandes desafios à gestão da água no Brasil e no mundo. No cenário do semiárido nordestino, onde a escassez hídrica é uma condição estrutural e histórica, a busca por alternativas sustentáveis que permitam a utilização racional e eficiente desse recurso torna-se essencial para garantir a segurança hídrica e alimentar da população. Nesse contexto, o reuso da água proveniente do tratamento de esgoto surge como uma estratégia promissora, capaz de reduzir pressões sobre mananciais naturais e, ao mesmo tempo, contribuir para práticas agrícolas mais resilientes.

A água de reuso consiste no aproveitamento de efluentes tratados provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), adequados para diferentes finalidades, incluindo irrigação agrícola e paisagística, usos industriais e recarga de aquíferos. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2017), a utilização de

efluentes tratados na agricultura pode fornecer não apenas água, mas também nutrientes importantes para o desenvolvimento das culturas, como nitrogênio e fósforo, reduzindo custos com fertilização e promovendo a sustentabilidade do setor. No entanto, o uso dessa água deve estar em conformidade com parâmetros de qualidade estabelecidos por normas nacionais e internacionais, a fim de evitar riscos à saúde humana, ao solo e às culturas irrigadas.

No Brasil, a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelecem diretrizes para o lançamento e reuso de efluentes, enquanto normas estaduais vêm complementando essa regulamentação. Estudos realizados em diferentes regiões do país têm demonstrado a viabilidade técnica e econômica da prática, desde que haja tratamento adequado e monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água. No Nordeste, essa prática ganha ainda mais relevância devido às limitações pluviométricas, à irregularidade das chuvas e à crescente pressão sobre reservatórios e rios intermitentes.

Nesse cenário, destaca-se a Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes, localizada em Maceió, Alagoas, responsável por atender uma das maiores comunidades urbanas da capital. A ETE opera com processos de tratamento que visam reduzir a carga orgânica e remover contaminantes, gerando um efluente final com potencial para fins de reuso, desde que monitorado e enquadrado nos padrões estabelecidos pela legislação. A escolha dessa estação como objeto de estudo se deve à sua representatividade regional e ao volume significativo de esgoto tratado diariamente, o que torna sua água de reuso uma alternativa estratégica para aplicações agrícolas em áreas próximas.

Apesar das vantagens potenciais, o reuso agrícola de efluentes tratados ainda enfrenta barreiras de ordem técnica, cultural e regulatória. Entre os principais desafios, destacam-se a necessidade de garantir padrões de qualidade compatíveis com os usos pretendidos, a aceitação por parte dos agricultores e consumidores, e o estabelecimento de sistemas de gestão que assegurem segurança e eficiência no uso desse recurso.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da utilização da água de reuso oriunda do tratamento de esgoto da ETE Benedito Bentes para irrigação, com foco na realidade nordestina. Serão discutidas suas possíveis aplicações em diferentes tipos de vegetação adaptadas à região, considerando aspectos de tolerância, eficiência no uso da água e potencial econômico.

.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com base nas informações dos relatórios de monitoramento operacionais da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes, localizada em Maceió – Alagoas. A unidade atende aproximadamente 350 mil habitantes da parte alta do município, com capacidade de tratamento de 360 L/s. A ETE obteve sua construção e atual operação por intermédio de uma Parceria-Público-Privada (PPP), estabelecida pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), na função de poder concedente, e a concessionária Saneamento Alta Maceió (SANAMA), responsável pela execução dos serviços comerciais e operacionais do sistema de esgotamento sanitário.

As análises laboratoriais compreenderam os seguintes parâmetros, comumente utilizados para avaliação da qualidade da água destinada à irrigação, conforme recomendações da **FAO (1985)** e normas brasileiras:

- **Físico-químicos:** pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT).
- **Químicos:** concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO).
- **Biológicos:** coliformes totais e termotolerantes, Escherichia coli.
- **Metais pesados (quando aplicável):** chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu), zinco (Zn).

Tabela 1 - Parâmetros das amostras

Parâmetro	1º bim/23	2º bim/23	3º bim/23	4º bim/23	5º bim/23	6º bim/23
pH	7,435	7,46	7,38	7,44	7,45	7,33
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	570	18006,5	1533	262,5	143,5	353,5
Nitrato (mg/L)	1,1	1,0	5,5	1,25	0,7	0,5
Fósforo total (mg/L)	3,635	2,98	2,735	2,26	4,06	3,65
Turbidez (NTU)	19,35	42,05	21,25	28,7	29,35	37,05

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Critérios de Avaliação

A viabilidade do uso da água de reuso para irrigação foi analisada a partir da comparação dos resultados obtidos com os valores de referência estabelecidos por: (i) Resolução CONAMA nº 430/2011 – condições e padrões de lançamento de efluentes; (ii) Resolução CNRH nº 54/2005 – diretrizes nacionais para o reuso; (iii) Diretrizes da FAO

(1985) para qualidade de água destinada à irrigação.

Seleção das Espécies Vegetais

Para verificar o potencial agrícola do uso da água de reuso, foram selecionadas seis espécies vegetais adaptadas ao clima nordestino, de interesse econômico e/ou alimentar, reconhecidas pela tolerância relativa a variações na qualidade da água:

1. **Cajueiro (Anacardium occidentale L.)** – frutífera nativa, relevante para exportação.
2. **Mandioca (Manihot esculenta Crantz)** – cultura básica da alimentação regional.
3. **Capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.)** – utilizado na produção de forragem.
4. **Sisal (Agave sisalana Perrine)** – fibra de importância econômica para a região semiárida.
5. **Feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp.)** – leguminosa resistente e base alimentar.
6. **Manga (Mangifera indica L.)** – frutífera de relevância comercial e exportadora.

A escolha das espécies considerou: (i) Resistência a estresses hídricos e salinos; (ii) Potencial econômico regional; (iii) Importância para a segurança alimentar e pecuária; (iv) Relevância cultural e socioeconômica no Nordeste.

Procedimento de Análise

Após a caracterização da água e a seleção das culturas, foi realizada uma análise comparativa entre os parâmetros de qualidade do efluente e os limites máximos recomendados para irrigação. Os resultados foram discutidos sob a ótica da viabilidade técnica, riscos potenciais ao solo e às culturas, e benefícios relacionados à disponibilidade de nutrientes presentes na água de reuso.

Critérios de Resistência das Espécies ao Uso da Água de Reuso

Parâmetros de qualidade relevantes:

- **Sódio (Relação de Adsorção de Sódio – RAS):** afeta a estrutura do solo e absorção de nutrientes.
- **Cloretos e Boro:** elementos tóxicos em concentrações elevadas.

- **Nitrogênio e Fósforo:** podem ser benéficos até certo limite, mas em excesso causam toxicidade e desequilíbrios.
- **Coliformes:** devem ser controlados para culturas consumidas cruas.

Síntese Comparativa

Tabela 2 - Faixa segura para irrigação com água de reuso no Nordeste

Espécie	PH	RAS máxima	Observação principal
Cajueiro	6,0 – 8,0	8–10	Boa tolerância, risco microbiológico baixo
Mandioca	5,5 – 7,5	10	Uso seguro nas raízes, aproveita N
Capim-elefante	5,0 – 8,5	12	Muito tolerante, aproveita nutrientes
Sisal	5,5 – 8,0	15	Altíssima tolerância, baixo risco
Feijão-caupi	5,5 – 7,5	< 6	Sensível; atenção à microbiologia
Manga	6,0 – 7,5	8	Moderadamente sensível, usar gotejamento

Fonte: Elaboração própria, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 3 - Comparação entre parâmetros da água de reuso e limites de tolerância das culturas estudadas

Parâmetro	Faixa observada (2023)	Cajueiro	Mandioca	Capim-elefante	Sisal	Feijão-caupi	Manga	Situação geral
pH	7,25 – 7,49	6,0–8,0	5,5 – 7,5	5,0 – 8,5	5,5 – 8	5,5 – 7,5	6,0 – 7,5	Atende a todos
Coliformes (NMP/100 mL)	145 - 35.145	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	Atende em alguns meses
Nitrato (mg/L)	0,5 – 10,0	< 25	< 25	< 40	< 40	< 25	< 25	Atende a todos
Fósforo (mg/L)	1,96 – 0,38	< 5,0	< 5,0	< 6,0	< 6,0	< 5,0	< 5,0	Atende a todos
Turbidez	4,8 – 42,5	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	Atende em

(NTU)	alguns meses

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A avaliação dos dados evidencia que a água de reuso da ETE Benedito Bentes possui parâmetros em geral compatíveis com o uso agrícola, mas com restrições importantes em determinados meses.

O pH manteve-se estável e adequado para todas as culturas, oscilando entre 7,25 e 7,49, dentro da faixa de tolerância recomendada.

O nitrato (0,5–10,0 mg/L) e o fósforo (até 4,38 mg/L) apresentaram valores adequados e até benéficos, atuando como nutrientes complementares para as culturas, o que pode reduzir a necessidade de fertilização química.

No entanto, dois parâmetros representam desafios:

- Os coliformes termotolerantes ultrapassaram os limites em meses específicos (abr/23 e jun/23), indicando risco microbiológico que exige tratamento adicional ou restrição no uso da água para culturas consumidas cruas.
- A turbidez mostrou-se elevada em grande parte do ano (até 42,5 NTU), o que pode comprometer a eficiência da irrigação e a penetração da água no solo, além de indicar carga de sólidos em suspensão.

Em síntese, a água de reuso apresenta boa viabilidade para cajueiro, capim-elefante e sisal, devido à sua maior tolerância. Para mandioca, feijão-caupi e manga, o uso é possível, mas requer monitoramento contínuo, práticas de manejo para salinidade e, preferencialmente, um polimento adicional no tratamento (redução de turbidez e carga microbiológica) para garantir a segurança e a produtividade agrícola.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água de reuso evidenciou parâmetros dentro de faixas compatíveis para o cultivo das culturas analisadas, com ressalvas pontuais que precisam ser consideradas no manejo agrícola.

O pH manteve-se estável, em torno de 7,4, o que se encontra dentro da faixa aceitável para todas as espécies avaliadas, não representando risco de toxicidade ou limitação na absorção de nutrientes.

Os coliformes termotolerantes apresentaram valores variáveis, com picos elevados (acima de 30.000 NMP/100 mL em abril), que podem representar risco microbiológico principalmente em culturas de consumo in natura, como o feijão-caupi e a manga. Para culturas industriais ou não consumidas diretamente (cajueiro, mandioca, sisal e capim- elefante), esse parâmetro apresenta menor impacto direto, mas deve ser monitorado para fins de segurança ambiental e sanitária.

Em relação aos nutrientes, o nitrato apresentou concentração majoritariamente baixa (0,5 a 1,6 mg/L), com exceção de junho (10 mg/L), fornecendo aporte de nitrogênio benéfico para o desenvolvimento das plantas. Já o fósforo total, com valores médios entre 2 e 4 mg/L, representa uma contribuição adicional de nutrientes, podendo reduzir a necessidade de fertilização externa, especialmente para o feijão-caupi e a mandioca, que respondem bem ao nutriente.

A turbidez apresentou oscilações, com valores de até 42,5 NTU, o que pode afetar sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) por entupimento, mas não inviabiliza o uso em sistemas de irrigação convencional ou por aspersão.

De forma geral, a água de reuso apresenta potencial significativo para irrigação das culturas analisadas, desde que adotadas práticas de manejo adequadas, como:

- monitoramento contínuo da qualidade microbiológica;
- ajustes na fertirrigação para balancear o aporte de nutrientes;
- manutenção preventiva em sistemas de irrigação para evitar problemas com turbidez;
- priorização do uso em culturas não consumidas cruas, reduzindo riscos sanitários.

Portanto, o reuso agrícola desta água representa uma alternativa viável e sustentável, alinhada às práticas de economia circular e de preservação dos recursos hídricos, contribuindo para a produção agrícola regional e para a gestão eficiente dos efluentes tratados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa SANAMA – Saneamento Alta Maceió pela disponibilização dos relatórios operacionais e demais informações para condução da respectiva pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1999). *A qualidade da água na agricultura*. Estudos FAO – Irrigação e Drenagem, 29. Trad. da 2ª ed. Roma: FAO.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (2005). Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes.

Embrapa (2020). *Manual de irrigação com águas residuárias*. Brasília: Embrapa.

Metcalf & Eddy, Inc. (2016). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.

World Health Organization (WHO). (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater – Volume II: Wastewater Use in Agriculture*. Geneva: WHO.

Medeiros, S. S., Gheyi, H. R., & Dias, N. S. (2008). Tolerância de culturas à salinidade em regiões semiáridas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4), 353-360.

Oliveira, A. S., & Silva, F. L. (2019). Reuso de água na agricultura irrigada: potencialidades e desafios no semiárido brasileiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 14(2), 200–209.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116974

AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS GENÓTIPOS DE *Paspalum notatum* E *P. lepton* IRRIGADAS COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE GENOTIPOS DE Paspalum notatum E *P. lepton RIEGO CON AGUAS RESIDUALES*

EVALUATION AND DEVELOPMENT OF GENOTYPES OF Paspalum notatum E *P. lepton IRRIGATED WITH WASTEWATER*

Fábio Lopes[1], Simone Silva[2], Maria Silva[3] e Vivian Loges[4].

[1]Mestrando, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, Brasil, fabio.valerio@ufrpe.br, 0009-0007-6742-1570
[2]Pós-Doutoranda, UFRPE, Recife, Brasil, simolira36@gmail.com, 0000-0003-3101-4061
[3]Doutoranda, UFRPE, Recife, Brasil, fernanda.mfss.01@gmail.com, 0009-0005-6376-0271
[4]Profa. Titular, UFRPE, Recife, Brasil, vloges@yahoo.com, 0000-0001-9948-9501

Eixo Temático 12 – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura

Eje Temático 12 – Agricultura
Reutilización de efluentes tratados en la agricultura.

Thematic Axis 12 – Agriculture
Reuse of treated effluents in agriculture

RESUMO

A irregularidade das chuvas em regiões tropicais, como o Brasil, e o alto consumo de água pela agricultura criaram um desafio para a gestão hídrica. No semiárido de Pernambuco, a baixa e irregular precipitação e em alguns casos a condição hidrológica desfavorável aumentam a pressão por alternativas viáveis. Para mitigar os impactos da escassez, a adoção de práticas como o reuso de águas residuárias é uma alternativa sustentável, incentivada por regulamentações nacionais. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade do uso de águas residuárias na irrigação de duas gramíneas nativas, *Paspalum notatum* e *Paspalum lepton*, conhecidas por sua rusticidade e adaptabilidade. O experimento buscou analisar o efeito dessas águas residuárias na sobrevivência das plantas, além de avaliar seu crescimento na emissão de perfilhos, altura, e produção de biomassa, especificamente a massa fresca das raízes (MFR) e da parte aérea (MFA). Os resultados mostraram que a irrigação com água residuária não afetou a taxa de sobrevivência, que foi de 100% para ambos os genótipos até 60 dias após o plantio. Além disso, a utilização da água residuária promoveu um aumento significativo na emissão de perfilhos no genótipo *Paspalum lepton* e, mais notavelmente, na massa fresca das raízes e da parte aérea aos 120 dias, principalmente no mesmo genótipo. Os dados extraídos indicam que as gramíneas estudadas podem ser irrigadas com águas residuárias de forma eficaz, o que as torna promissoras para projetos de coberturas verdes.

Palavras-chave: Reciclagem hídrica, Plantas forrageiras, Gramíneas nativas, Grama-bahia

RESÚMEN

Las precipitaciones irregulares en regiones tropicales como Brasil y el alto consumo de agua para la agricultura han generado desafíos para la gestión del agua. En la región semiárida de Pernambuco, las precipitaciones bajas e irregulares y, en algunos casos, las condiciones hidrológicas desfavorables aumentan la presión para encontrar alternativas viables. Para mitigar los impactos de la escasez, la adopción de prácticas como la reutilización de aguas residuales es una alternativa sostenible, fomentada por las regulaciones nacionales. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la viabilidad de utilizar aguas residuales para regar dos gramíneas nativas, Paspalum notatum y Paspalum lepton, conocidas por su rusticidad y adaptabilidad. El experimento buscó analizar el efecto de estas aguas residuales en la supervivencia de las plantas, además de evaluar su crecimiento en términos de producción de macollos, altura y producción de biomasa, específicamente masa radicular fresca (MFR) y masa de brotes frescos (MSF). Los resultados mostraron que el riego con aguas residuales no afectó las tasas de supervivencia, que se mantuvieron en el 100% para ambos genotipos hasta 60 días después de la siembra. Además, el uso de aguas residuales aumentó significativamente la producción de macollos en el genotipo Paspalum lepton y, sobre todo, el peso fresco de raíces y brotes a los 90 días, especialmente en el mismo genotipo. Los datos indican que las gramíneas estudiadas pueden regarse eficazmente con aguas residuales, lo que las convierte en opciones prometedoras para proyectos de techos verdes.

Palabras clave: Reciclaje de agua, Plantas forrajeras, Gramíneas nativas, Pasto bahía

ABSTRACT

Irregular rainfall in tropical regions like Brazil and high water consumption for agriculture have created challenges for water management. In the semiarid region of Pernambuco, low and irregular rainfall and, in some cases, unfavorable hydrological conditions increase the pressure for viable alternatives. To mitigate the impacts of scarcity, adopting practices such as wastewater reuse is a sustainable alternative, encouraged by national regulations. This study's main objective was to evaluate the feasibility of using wastewater to irrigate two native grasses, Paspalum notatum and Paspalum lepton, known for their hardiness and adaptability. The experiment sought to analyze the effect of this wastewater on plant survival, in addition to evaluating their growth in terms of tiller production, height, and biomass production, specifically fresh root mass (FRM) and fresh shoot mass (FSM). The results showed that wastewater irrigation did not affect survival rates, which remained 100% for both genotypes up to 60 days after planting. Furthermore, the use of wastewater significantly increased tiller production in the Paspalum lepton genotype and, most notably, increased root and shoot fresh weight at 90 days, particularly in the same genotype. The data indicate that the studied grasses can be effectively irrigated with wastewater, making them promising options for green roof projects.

Keywords: Water recycling, Forage plants, Native grasses, Bahiagrass

INTRODUÇÃO

A variabilidade temporal do clima em regiões tropicais, como é o caso de grande parte do território brasileiro, expressa-se por meio de uma acentuada irregularidade na distribuição das chuvas, tanto em escala mensal quanto sazonal (Silva *et al*., 2008). Este cenário é particularmente crítico para o setor agrícola, que consome 70,46% da água retirada para uso no país (ANA, 2018), gerando uma grande demanda por recursos hídricos.

Em regiões como o semiárido de Pernambuco, a maior parte do estado possui características hidrológicas menos favoráveis e índices pluviométricos que variam de 400 a 800 milímetros, podendo em raras exceções atingir 1.000 milímetros (Regueira da Costa *et al.,* 2021). Para Santos (1979), a distribuição da precipitação ao longo do ano é um conhecimento de grande importância para a agricultura e para toda a vida econômica.

Nesse contexto, medidas inovadoras que minimizem o uso dos recursos naturais, como o manejo sustentável da irrigação são essenciais. O emprego de águas de reuso reduz os impactos das crises hídricas na produção agrícola e tem sido incentivado a nível nacional para auxiliar na redução da demanda sobre os mananciais, devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior (Resolução n. 54 de 28 de Novembro de 2005).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006) aprovou em 2006 a resolução nº 375, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto sanitário e seus produtos derivados. As águas residuárias possuem características específicas que dependem da qualidade da água fornecida, do tipo da rede de distribuição e das atividades de consumo. A carga orgânica presente pode favorecer o aumento de microrganismos decompositores e diminuir o nível de oxigênio dissolvido. Essa carga está em concentrações variáveis, dependendo do local de coleta, seja banheiro, cozinha ou lavanderia. As águas residuárias da lavagem de roupas geralmente são bem alcalinas, com pH em torno de 9, enquanto as de banheiros variam entre 7 a 9,5 (Alexandre *et al.*, 2013).

O princípio da sustentabilidade pressupõe indicar espécies de plantas adequadas para este tipo de sistema. É importante observar plantas que sobrevivem em condições semelhantes, em ecossistemas adversos, como os *Paspalum* spp. O gênero *Paspalum* compreende cerca de 400 espécies, com distribuição cosmopolita, no Brasil representa o grupo com maior diversidade entre as gramíneas nativas, contabilizando um total de 130 espécies (Magalhães,

et al. 2022). Comumente, essa gramínea tem sido empregada em pastejo, fenação e controle de erosão, se adaptando a solos arenosos, de baixa fertilidade e de alta saturação de alumínio (Almeida *et al*., 2007). Do ponto de vista ambiental, as gramíneas são de extrema importância ecológica, pois impedem a erosão e auxiliam na fixação do solo (Maximino *et al*., 2017).

Duas espécies em particular se destacam. O *Paspalum notatum* Flüggé (grama-bahia ou grama-batatais), por ser uma espécie nativa, se desenvolve muito bem em condições tropicais e em solos de baixa fertilidade, e possui alta tolerância à seca e baixa ao frio, à sombra e à salinidade (Godoy, 2020). Enquanto que o *Paspalum lepton* Schult (grama-cinzenta) possui hábitos bem rústicos, de resistência ao frio e seca moderada, adaptando-se a solos arenosos com substrato frágil. Essa gramínea apresenta potencial para ser utilizada não somente como alimento para bovinos, mas também na recuperação e conservação de solos degradados (Branco *et al.,* 2012).

Apesar da importância e dos incentivos do Governo Brasileiro para a adoção de técnicas de irrigação eficiente, há uma carência de estudos sobre o desenvolvimento de *Paspalum* spp., principalmente na seleção de genótipos para uso em coberturas verdes agregada à resistência à irrigação com águas residuárias. Neste cenário, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da utilização das águas residuárias no crescimento dos acessos de *P. notatum* e *P. lepton* até 120 dias após o plantio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos foram conduzidos no campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizado no município de Recife, sob as coordenadas 08°03’40’’ de latitude sul e 34°52’10’’ de longitude oeste. O clima da região é do tipo As’ (tropical costeiro, quente e úmido), conforme a classificação de Köppen, com regime de chuvas concentrado no outono e inverno, média anual de precipitação de aproximadamente 2460 mm e temperaturas médias mensais de 23°C.

Para os experimentos foram utilizados propágulos vegetativos nativos de *Paspalum lepton* (PLE) e *Paspalum notatum* (PNO5), oriundos do Banco Ativo de Germoplasma de Paspalum (BAG) da Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos – SP, Brasil). No Laboratório de Floricultura da UFRPE/Departamento de Agronomia (DEPA), foi realizada a limpeza do sistema radicular e padronização dos propágulos vegetativos dos genótipos (aproximadamente

6 cm de altura).

Após a limpeza e padronização as mudas foram plantadas em vasos de polietileno de diâmetro do fundo: 11,5 cm x diâmetro da boca: 19 cm x 10 cm de profundidade), preenchidos com substrato comercial Biomix® com volume padronizado e conduzido a casa de vegetação do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas da UFRPE.

As águas residuárias (AR) foram coletadas na ETE - Estação de Tratamento de Esgoto da COMPESA no bairro da Mangueira, no Recife. As AR, foram oriundas do tratamento convencional (secundário) onde são realizados apenas tratamentos convencionais, referente na remoção de matéria orgânica.

Na análise da água residuária foram verificados os seguintes parâmetros: Temperatura, Turbidez, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total, Fósforo, Coliformes Totais, *Escherichia coli;* Termotolerantes; Condutividade Elétrica (CE) (**tabela 1**).

Tabela 1. Análise laboratorial da água coletada na Estação de Tratamento de Esgoto no Bairro da Mangueira, Recife-PE

Análise da água	
Temperatura	27,3º C
Turbidez	4,96 NTU
ph	7,8
DBO	<5,0 mg/L
DQO	<15,0 mg/L
Nitrogênio Total	4 mg/L
Fósforo	0,010 mg/L
Coliformes Totais/ *E. coli* / Termotolerantes	AUSENTE
Condutividade Elétrica (CE)	403 µS/cm

Fonte: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - UFRPE (2025).

Durante todo o experimento, as mudas foram irrigadas com água de abastecimento (AB) e água residuária (AR). Inicialmente, até 7 dias após o plantio (DAP), os vasos foram irrigados diariamente com AB para adaptação das mudas. Como irrigação padrão, as parcelas recebiam 100ml de AB e AR com intervalos de 48h entre as regas aos 7, 14, 22, 37 e 52 DAP, foram avaliadas nos seguintes parâmetros: pegamento, sobrevivência, perfilhamento e altura dos propágulos.

Para obtenção de peso fresco da parte aérea e das raízes (PFA e PFR), aos 60,

90 e aos 120 DAP as plantas foram fragmentadas, separando as raízes (rizomas) da parte aérea (folhas) e em seguida pesadas separadamente. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC) com arranjo 2x2x4 (dois genótipos x dois tratamentos x quatro repetições). As médias foram submetidas à análise de variância e agrupadas pelo teste de Tukey o nível de cinco por cento de significância ($p<0,05$), pelo programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização da água residuária (AR) não afetou a taxa de pegamento (TP) e a sobrevivência (TS) das plantas. Para todos os genótipos (PLE e PNO5), a taxa foi de 100% até 60 DAP. Esse resultado inicial demonstra a capacidade de adaptação das mudas, fundamental para o estabelecimento e a cobertura do solo.

Foi observada uma diferença significativa na emissão de perfilhos no tratamento com AR (**tabela 2**). O genótipo PLE, em particular, obteve médias de 3,2 perfilhos com AR, comparado a 2,1 com água de abastecimento (AB). No entanto, a irrigação com AR e AB não teve um efeito significativo na altura dos genótipos avaliados.

Tabela 2. Médias de perfilhamento (p. planta) e altura (cm) dos genótipos de *Paspalum lepton* (PLE) e *Paspalum notatum* (PNO5), quando irrigados com águas de abastecimento (AB) e água residuária (AR)

Genótipos	Perfilhos				Altura (cm)			
	AB		AR		AB		AR	
PLE	2,65	aA	3,20	aB	12,15	aA	13,95	aA
PNO5	0,87	bB	1,30	bA	10,92	aA	10,5	aA
C.V.(%)	36		27,4		21,22		12,83	
Média geral	1,27		2,25		11,53		12,22	

Fonte: SISVAR, Ferreira (2008). *Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem pelo teste de agrupamento de Tukey ($p\leq0,05$).

Na análise da massa fresca das raízes (MFR), o genótipo PLE demonstrou uma superioridade clara e crescente com a utilização do tratamento com AR em todos os estágios (**tabela 3**). Aos 60 DAP, já era possível observar um aumento de 21.81% em sua MFR em comparação com o tratamento AB. Aos 90 DAP, essa diferença se tornou expressiva, com um aumento de 191.24%, elevando a MFR para 41.88 g. Aos 120 DAP, o efeito do AR se solidificou, resultando em um acréscimo de 110% e uma MFR final de 100.06 g. Em contrapartida, o PNO5 teve uma resposta distinta. Embora tenha apresentado aumentos iniciais de 25% aos 60 DAP e 73% aos 90 DAP com o uso de AR, o genótipo sofreu uma notável

regressão a partir desse ponto. Aos 120 DAP, a MFR do PNO5 no tratamento com AR (17.97 g) foi 49.18% menor do que no tratamento com AB (35.36 g`), evidenciando uma diminuição em sua capacidade de desenvolvimento radicular a longo prazo.

Tabela 3. Médias da massa fresca das raízes dos genótipos de *P. lepton* (PLE) e *P. notatum* (PNO5), quando irrigados com águas de abastecimento (AB) e água residuária (AR).

Genótipos	Massa fresca das raízes* (g)											
	60 DAP				90 DAP				120 DAP			
	AB		AR		AB		AR		AB		AR	
PLE	8,53	aB	10,39	aA	14,38	aB	41,88	aA	47,56	aA	100,06	aA
PNO5	4,13	bB	5,18	bA	8,54	bB	14,79	bA	35,36	bA	17,97	bA
C.V.(%)	19,31		21,16		2,62		14,59		5,83		1,81	
Média geral	6,33		7,78		11,46		28,33		41,46		59,01	

Fonte: SISVAR, Ferreira (2008). *Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem pelo teste de agrupamento de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em relação à massa fresca da parte aérea (MFA), o genótipo PLE também exibiu uma resposta extremamente positiva ao tratamento com AR (**tabela 4**). O aumento em sua MFA foi progressivo e notável, começando com 15% aos 60 DAP e saltando para 142% aos 90 DAP, onde a MFA atingiu 15.97 g. Aos 120 DAP, o efeito do AR se consolidou com um acréscimo impressionante de 251.40%, elevando a MFA para 40.06 g. O genótipo PNO5, por sua vez, também obteve benefícios do uso de AR na MFA, com aumentos de 10.79% aos 60 DAP, 63% aos 90 DAP e 40% aos 120 DAP. Esses dados demonstram que, embora o AR beneficie a MFA de ambos os genótipos, o PLE tem uma capacidade de crescimento superior e uma resposta muito mais robusta a este tratamento.

Tabela 4. Médias da massa fresca da parte aérea dos genótipos de *P. lepton* (PLE) e *P. notatum* (PNO5), quando irrigados com águas de abastecimento (AB) e água residuária (AR).

Genótipos	Massa fresca da parte aérea* (g)											
	60 DAP				90 DAP				120 DAP			
	AB		AR		AB		AR		AB		AR	
PLE	5,59	aA	6,43	aA	6,59	aB	15,97	aA	11,40	aB	40,06	aA
PNO5	4,54	bA	5,03	aA	4,55	bB	7,44	bA	8,92	bB	12,50	bA
C.V.(%)	6,43		11,04		4,42		5,97		6,13		4,97	
Média geral	5,06		5,73		5,57		11,71		10,16		26,28	

Fonte: SISVAR, Ferreira (2008). *Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem pelo teste de agrupamento de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 1. Efeito de AB e AR no desenvolvimento da parte aérea dos acessos PLE e PNO5 aos 90 DAP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os genótipos de *Paspalum lepton* e *Paspalum notatum* demonstraram ser resistentes à irrigação com águas residuárias, apresentando 100% de sobrevivência. No tratamento com a água residuária, o genótipo *P. lepton* obteve um aumento de 52,38% na média de emissão de perfilhos em relação ao tratamento com água de abastecimento aos 120 dias após o plantio.

Os resultados da análise da massa fresca das raízes e da parte aérea revelam uma notável diferença de resposta entre os genótipos *P. lepton* e *P. notatum* ao tratamento com águas residuárias (AR), em comparação com o tratamento com água de abastecimento. O genótipo *P. lepton* demonstrou uma resposta consistentemente positiva e crescente ao AR, com sua MFR aumentando de 21,81% aos 60 dias após o plantio (DAP) para impressionantes 191,24% aos 90 DAP e consolidando-se em 110% aos 120 DAP.

Aos 120 dias, o genótipo PNO5 apresentou uma resposta quanto a massa fresca da parte aérea (MFA) aumentado em cerca de 40%, a massa fresca das raízes (MFR) foi negativamente afetada, sofrendo uma redução de 49,18%, chegando a apenas 17,97 g em comparação com 35,36 g no tratamento água de abastecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexandre, Ellen Carla F., Mara Lucia Lemke-de-Castro e Marcos Antonio Pesquero. 2013. "Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis." Revista de Biotecnologia & Ciência. 2: 106-116.

Almeida, João Carlos de C., Fábio Teixeira de Pádua, Norberto Silva Rocha, et al. 2007. "Produção e Composição químico-bromatológica da grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge) dos gramados do Campus da UFRRJ." Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida, Seropédica, RJ: EDUR, 26 (2): 48-53.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). 2018. "Contas econômicas ambientais da água no Brasil, 2013–2015." Brasília: ANA, IBGE, SRHQ.

Branco, Vivian Teixeira A., Daiane da Silva dos Santos, Ana Cristina Mazzocato, Juliano Lino Ferreira. 2012. "Caracterização morfológica de quatro espécies do gênero paspalum". https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21612.97927.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2006. "Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006." Brasília, DF: CONAMA.

Ferreira, Daniel Furtado. 2008. "SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística". Revista Symposium (Lavras) 6: 36–41.

Godoy, Leandro Grava de. 2020. "Turfs and Turfgrasses in Brazil." Ornamental Horticulture 26 (3): 326-327. https://doi.org/10.1590/2447-536X.v26i3.2224

Magalhães, Felipe Antunes, Jayme, D. G.; Gonçalves, L. C. *et al.* 2022. "*Paspalum notatum*". *in*: Jayme, D. G.; Gonçalves, L. C; Ramirez, M. A. Menezes, R. A (Orgs.) Gramíneas forrageiras tropicais. p. 171-182.

Maximino, Josiane Vargas de O., Marco Aurélio Schiavon Machado, Andréa Mittelmann et al. 2017. "Potencial de produção de sementes de gramíneas para a implantação em gramados.) Ornamental Horticulture. 23(2): 200-206. http://dx.doi.org/10.14295/oh.v23i2.1011

Regueira da Costa, Margarida, Alexandre Luiz Souza Borba e Fernanda Soares de Miranda Torres. 2021. "A gestão da água subterrânea na região semiárida do estado de Pernambuco: Análise do potencial de uso." in *Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica* 2, orgs. J. G. Aguilera e Alan Mario Zuffo. https://doi.org/10.22533/at.ed.7331911071

Santos, Maria Juraci Zani dos S. 1979. "A Importância do regime pluviométrico para a produção canavieira na região de Piracicaba (SP)." Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, São Paulo. https://books.google.com.br/books?id=yzi4AAAAIAAJ

Silva, Daniela Fernanda da, Angélica Prela-Pantano e João Lima Sant' Anna Neto. 2008. "Variabilidade da precipitação e produtividade agrícola na região do médio Paranapanema, SP". Revista Brasileira de Climatologia 3 (agosto). https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25431.

Souza, Francisco H., Marcos Rafael Gusmão e Frederico de Pina Matta. 2016. "Atributos desejáveis para gramados a serem cultivados sob condições brasileiras: uma proposta." Ornamental Horticulture 22(2): 154–65. https://doi.org/10.14295/oh.v22i2.841

https://doi.org/10.5281/zenodo.19116989

COMPOSIÇÃO PRELIMINAR NITROGENADA E FOSFATADA DO LODO PÓS-CALAGEM GERADO EM UMA ETE DO CARIRI

COMPOSICIÓN PRELIMINAR DE NITRÓGENO Y FOSFATO DE LODOS POST-ENCALADO GENERADOS EN UNA EDAR DEL CARIRI

PRELIMINARY NITROGEN AND PHOSPHATE COMPOSITION OF POST-LIMING SLUDGE GENERATED IN A WWTP IN CARIRI

Ana Clarice Rocha Araujo[1], Italo Soares Freire[2], Francisco Tiago Marques de Sousa[3] e Yannice Tatiane da Costa Santos[4].

[1]Graduando, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, clarice.rocha14@aluno.ifce.edu.br, 0009-0007-8594-2812;
[2]Graduando, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, italo.soares62@aluno.ifce.edu.br, 0009-0008-2882-9765;
[3]Mestrando, IFCE, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, tiago.marques66@aluno.ifce.edu.br, 0009-0008-5890-5677;
[4]Doutora, IFCE, Juazeiro do Norte, Brasil, yannice@ifce.edu.br, 0000-0002-6730-1815.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Valorização de resíduos: biossólidos e outros.

Eje Temático 12 – Agricultura
Valorización de residuos: biosólidos y otros.

RESUMO

Para avaliar a viabilidade de utilização agrícola do lodo pós-calagem gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), torna-se indispensável conhecer sua composição química, com destaque para os teores de nitrogênio e fósforo — nutrientes fundamentais para a nutrição vegetal. Nesse sentido, o presente estudo conduziu uma avaliação preliminar das concentrações desses elementos em biossólidos produzidos em uma ETE localizada na região do Cariri, Ceará, com o objetivo de verificar seu potencial como biofertilizante de baixo custo. As coletas foram realizadas mensalmente, entre outubro de 2024 e junho de 2025, diretamente no leito de secagem onde o lodo, previamente submetido ao processo de calagem, encontra-se em fase de estabilização. As amostras obtidas foram analisadas quanto ao fósforo total, nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e frações de sólidos (totais, voláteis e fixos), utilizando metodologias adaptadas da APHA (2012) e EMBRAPA (1997). Os resultados indicaram teores expressivos de fósforo e nitrogênio, embora inferiores aos observados em fertilizantes químicos sintéticos, como uréia e superfosfato simples. Entretanto, os biossólidos analisados apresentam vantagem sob o ponto de vista ambiental por fornecerem nutrientes de maneira gradual, diminuindo o risco de perdas por lixiviação e mitigando impactos como a eutrofização de corpos hídricos — fenômeno comumente associado ao uso excessivo de fertilizantes solúveis. As concentrações observadas variaram ao longo dos meses, resultado da natureza dinâmica do processo de tratamento de esgotos e do comportamento sazonal da matéria-prima afluente. A análise das frações sólidas revelou que

grande parte do nitrogênio e do fósforo encontra-se atualmente em formas orgânicas ou pouco biodisponíveis, indicando baixo grau de mineralização. Essa característica limita a assimilação direta dos nutrientes pelas plantas, sugerindo a necessidade de tratamentos complementares, como compostagem ou digestão anaeróbica, de forma a converter parte desses compostos em formas facilmente assimiláveis, como ortofosfato e amônia. O aprimoramento dessas etapas pode ampliar consideravelmente o valor agronômico do lodo, tornando-o mais competitivo frente aos insumos convencionais. Diante do exposto, conclui-se que o lodo pós-calagem apresenta potencial promissor como alternativa sustentável de adubação, sobretudo em sistemas de agricultura familiar, onde as demandas nutricionais são moderadas e o enfoque recai sobre a redução de custos e o reaproveitamento de resíduos. Para sua utilização em larga escala, contudo, é indispensável que sejam rigorosamente observados os critérios técnicos e legais estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020, assegurando a qualidade, inocuidade e eficiência do material aplicado ao solo.

Palavras-chave: Biossólidos, Resíduos orgânicos, Reciclagem de nutrientes, Biofertilizante, Sustentabilidade agrícola

RESÚMEN

Para evaluar la viabilidad del uso agrícola del lodo post-encalado generado en Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales (ETAR), es indispensable conocer su composición química, con énfasis en los contenidos de nitrógeno y fósforo, nutrientes esenciales para la nutrición vegetal. En este contexto, el presente estudio realizó una evaluación preliminar de las concentraciones de estos elementos en biosólidos producidos en una ETAR ubicada en la región del Cariri, Ceará, con el objetivo de verificar su potencial como biofertilizante de bajo costo. Las muestras se recolectaron mensualmente, entre octubre de 2024 y junio de 2025, directamente en el lecho de secado donde el lodo, previamente sometido al proceso de encalado, se encuentra en etapa de estabilización. Las muestras obtenidas se analizaron para determinar el fósforo total, el nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y las fracciones de sólidos (totales, volátiles y fijos), utilizando metodologías adaptadas de APHA (2012) y EMBRAPA (1997). Los resultados indicaron niveles significativos de fósforo y nitrógeno, aunque inferiores a los observados en fertilizantes químicos sintéticos, como la urea y el superfosfato simple. No obstante, los biosólidos analizados presentan ventajas desde el punto de vista ambiental, ya que suministran nutrientes de forma gradual, reduciendo el riesgo de lixiviación y mitigando impactos como la eutrofización de cuerpos de agua, fenómeno comúnmente asociado al uso excesivo de fertilizantes solubles. Las concentraciones observadas variaron a lo largo de los meses, reflejando la naturaleza dinámica del proceso de tratamiento de aguas residuales y el comportamiento estacional de la materia prima afluente. El análisis de las fracciones sólidas reveló que gran parte del nitrógeno y del fósforo se encuentra actualmente en formas orgánicas o de baja biodisponibilidad, lo que indica un bajo grado de mineralización. Esta característica limita la absorción directa de los nutrientes por parte de las plantas, sugiriendo la necesidad de tratamientos complementarios, como el compostaje o la digestión anaeróbica, con el fin de convertir parte de estos compuestos en formas más fácilmente asimilables, como ortofosfato y amoníaco. El perfeccionamiento de estas etapas puede incrementar considerablemente el valor agronómico del lodo, haciéndolo más competitivo frente a los insumos convencionales. En conclusión, el lodo post-encalado

presenta un potencial prometedor como alternativa de fertilización sostenible, especialmente en sistemas de agricultura familiar donde las demandas nutricionales son moderadas y el enfoque se centra en la reducción de costos y el reaprovechamiento de residuos. Sin embargo, para su uso a gran escala, es fundamental observar rigurosamente los criterios técnicos y legales establecidos por la Resolución CONAMA nº 498/2020, garantizando la calidad, inocuidad y eficiencia del material aplicado al suelo.

Palabras clave: Biosólidos, Residuos orgánicos, Reciclaje de nutrientes, Biofertilizante, Sostenibilidad agrícola

ABSTRACT

To evaluate the agricultural feasibility of using post-liming sludge generated in Wastewater Treatment Plants (WWTPs), it is essential to understand its chemical composition, particularly the nitrogen and phosphorus contents — nutrients that are fundamental for plant nutrition. In this context, the present study carried out a preliminary assessment of the concentrations of these elements in biosolids produced at a WWTP located in the Cariri region, Ceará, with the aim of verifying their potential as a low-cost biofertilizer. Sampling was conducted monthly, from October 2024 to June 2025, directly in the drying bed where the sludge, previously submitted to the liming process, remains in the stabilization phase. The collected samples were analyzed for total phosphorus, total Kjeldahl nitrogen (TKN), and solid fractions (total, volatile, and fixed), utilizing methodologies adapted from APHA (2012) and EMBRAPA (1997). The results indicated significant levels of phosphorus and nitrogen, although lower than those observed in synthetic chemical fertilizers such as urea and single superphosphate. Nevertheless, the analyzed biosolids exhibit an environmental advantage, as they supply nutrients gradually, reducing the risk of leaching and mitigating impacts such as the eutrophication of water bodies — a phenomenon commonly associated with excessive use of soluble fertilizers. The concentrations observed varied throughout the months, reflecting the dynamic nature of the wastewater treatment process and the seasonal behavior of the incoming wastewater. The analysis of solid fractions revealed that most of the nitrogen and phosphorus are currently present in organic or poorly bioavailable forms, indicating a low degree of mineralization. This characteristic limits the direct uptake of nutrients by plants, suggesting the need for complementary treatments, such as composting or anaerobic digestion, in order to convert part of these compounds into more readily assimilable forms, such as orthophosphate and ammonia. Enhancing these stages may significantly increase the agronomic value of the sludge, making it more competitive compared to conventional inputs. In view of the above, it can be concluded that post-liming sludge presents a promising potential as a sustainable fertilization alternative, especially in family farming systems where nutrient demands are moderate and the focus is on reducing costs and reusing waste. However, for its large-scale use, it is essential that the technical and legal criteria established by CONAMA Resolution No. 498/2020 are strictly observed, ensuring the quality, safety, and efficiency of the material applied to the soil.

Keywords: Biosolids, Organic residues, Nutrient recycling, Biofertilizer, Agricultural sustainability

INTRODUÇÃO

A agricultura moderna enfrenta desafios significativos relacionados à fertilidade do solo e à sustentabilidade do uso de insumos. Fertilizantes químicos, amplamente utilizados para suprir as demandas nutricionais das plantas, apresentam concentrações elevadas de nutrientes essenciais, como o nitrogênio e o fósforo. Contudo, o uso excessivo de fertilizantes artificiais está associado a impactos ambientais, como a contaminação de corpos hídricos e a degradação do solo, o que ressalta a necessidade de buscar alternativas mais sustentáveis.

O tratamento de esgoto em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) resulta na produção de um produto residual que comumente chamamos de "lodo", que resulta na remoção de cerca de 0,1% dos sólidos dos efluentes. Nesse processo, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos são transferidos para a fase sólida, exigindo atenção na sua disposição final. O lodo é classificado, segundo a NBR n°10.004 da ABNT, em Classe I (perigoso) e Classe II (com possíveis patógenos) (ABNT, 2004).

No Brasil, a Resolução CONAMA n° 498/2020 permite o uso do lodo como biofertilizante, além do aproveitamento em energia e construção civil. O uso agrícola é particularmente comum, e apesar da presença de elementos indesejáveis, pode ser viável com o tratamento adequado e aplicação controlada. A SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), promove um programa de destinação agrícola de lodo de esgoto que atende agricultores, especialmente na Região Metropolitana de Curitiba, embora o transporte para áreas rurais seja um desafio logístico (SANEPAR, 2024).

Os fertilizantes líquidos, amplamente utilizados na agricultura devido à sua facilidade de aplicação e eficiência, contêm altas concentrações de nutrientes prontamente disponíveis, porém têm um custo elevado, o que representa uma barreira para pequenos e médios agricultores. O lodo de esgoto surge como uma alternativa economicamente viável, especialmente pela riqueza de frações nitrogenadas, e frações fosfatadas.

O uso do lodo de esgoto pode substituir total ou parcialmente os fertilizantes químicos na agricultura, especialmente em sistemas de agricultura familiar para a produção de culturas alimentícias e não alimentícias, além de atividades silviculturais. Essa substituição não só reduz os custos de produção, mas também contribui para o reaproveitamento de resíduos, promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na etapa de gerenciamento de lodo, conforme ilustrado na figura 1, os diferentes tipos de lodo são encaminhados separadamente para o leito de secagem. O lodo do reator UASB vai diretamente para um leito específico, enquanto o lodo do decantador passa primeiro pelo reator UASB para tratamento adicional (tratamento biológico anaeróbio) antes de seguir para o leito de secagem. Nesse processo, realiza-se a calagem do lodo, processo no qual é despejado cal virgem em cima do lodo, processo esse que reduz a carga de patógenos e melhora a estabilidade do material para disposição final ou aproveitamento (após esse processo o lodo já é considerado um "lodo higienizado").

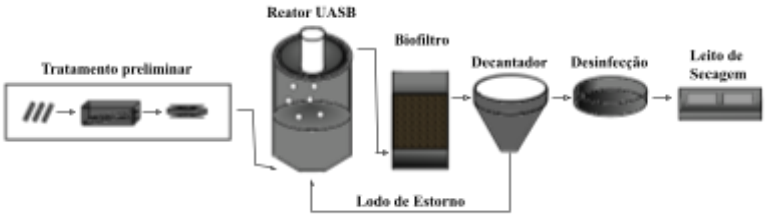


Figura 1. Etapas de gerenciamento de lodo em ETE.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

As coletas foram realizadas mensalmente, no período de outubro de 2024 a junho de 2025, utilizando um béquer para a amostragem. Em cada coleta, foi retirado 1 litro de lodo higienizado de quatro diferentes pontos do leito de secagem, totalizando 4 litros por amostragem. Esses 4 litros foram homogeneizados in loco, e, por meio do método de quarteamento, foi retirada uma fração de 500 gramas de lodo seco. Essa fração é acondicionada em frascos de vidro de boca larga, devidamente esterilizados, para garantir a preservação e integridade das amostras. Na figura 2 é possível ver imagens do leito de secagem e das amostras coletadas.

Figura 2. Leito de secagem e amostras coletadas para as análises.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

As metodologias analíticas dos parâmetros analisados, mostradas no quadro 1, foram adaptações das metodologias descritas em APHA et al., (2012) e Embrapa. (1997).

Quadro 1. Parâmetros e Métodos de Análise de Nitrogênio e fósforo.

Parâmetros	Métodos	Referências
Fósforo Total(PT) (mgP/L)	Espectrometria de Absorção Atômica	Adaptação: APHA et al., (2012); EMBRAPA. (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. p.89-92.
Fósforo disponível(P) (mgP/L)		
Nitrogênio Total Kjeldahl(NTK) (mgN/L)	Titulométrico (Micro-Kjeldahl)	

Fonte: Elaboração própria (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de fósforo e nitrogênio total foram feitas em duplicatas durante todos os meses, os resultados das concentrações médias encontradas são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos das análises do Biossólido.

Amostras	Umidade média (%)	Teor de Sólidos Secos (%)	Concentração média (mgP/Kg)	Desvio Padrão (mgP/Kg)	Concentração média (mgN/Kg)	Desvio Padrão (mgN/Kg)
Outubro	74,40%	26,60%	885,33	448,11	6.054,69	276,21
Janeiro	55,20%	44,80%	1.097,73	189,78	35.937,50	947,02
Fevereiro	35,04%	64,96%	2.266,11	257,68	5.987,52	189,87
Abril	21,06%	78,94%	6.689,04	215,68	5.138,11	692,04
Maio	34,07%	65,93%	10.175,18	379,45	4.366,18	1.218,38
Junho	26,85%	73,15%	15.473,90	462,85	5.376,14	844,78
Médias			6.097,88		10.476,69	

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados obtidos para fósforo total e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) demonstram que o lodo contém quantidades consideráveis de fósforo e nitrogênio, embora inferiores às concentrações típicas encontradas em fertilizantes artificiais, onde a concentração de fósforo é aproximadamente 10 vezes maior e a de NTK cerca de 46 vezes maior. Os fertilizantes industriais, frequentemente comercializados em forma líquida, possuem concentrações muito elevadas de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, o que pode levar a desperdícios substanciais. Essa alta disponibilidade imediata de nutrientes, embora benéfica para o crescimento rápido das plantas, também resulta em impactos ambientais significativos, especialmente em condições de chuva.

Durante eventos de precipitação, a lixiviação do solo contendo fertilizantes líquidos favorece a transferência de grandes quantidades de nitrogênio e fósforo para corpos hídricos próximos, intensificando processos de eutrofização. A eutrofização é caracterizada pelo aumento excessivo de nutrientes na água, levando à proliferação de algas, redução de

oxigênio dissolvido e consequente perda de biodiversidade aquática.

Em contraste, os biossólidos apresentam uma matriz sólida, o que limita a disponibilidade imediata dos nutrientes. Essa característica reduz a lixiviação e o impacto ambiental associado. Além disso, os biossólidos possuem um equilíbrio natural entre nitrogênio e fósforo, aliado a uma liberação mais controlada, contribuindo para a sustentabilidade do manejo agrícola.

Conforme a EMBRAPA (2022), fertilizantes fosfatados, como o superfosfato simples, apresentam teores de fósforo variando de 12% a 20% de P2O5, o que corresponde a aproximadamente 52.000 mgP/kg a 86.000 mgP/kg. Comparativamente, o teor de fósforo no lodo é muito menor. Para o nitrogênio, fertilizantes como a ureia possuem cerca de 46% de N, ou 460.000 mgN/kg, enquanto o lodo apresenta concentrações consideravelmente mais baixas. Apesar disso, o lodo pode ser uma fonte complementar de nutrientes, especialmente em solos deficientes e como parte de uma estratégia de manejo agrícola mais sustentável.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 498/2020, o uso de resíduos em solos deve atender a critérios específicos, incluindo limites para metais pesados, higienização e concentrações mínimas de nutrientes. Os teores de fósforo e nitrogênio mostram que o lodo possui potencial para aplicação agrícola. No entanto, seria indispensável verificar a presença de metais pesados e confirmar que o lodo passa por tratamento adequado para atender aos requisitos normativos.

Um ponto importante é que o lodo analisado apresenta baixa mineralização, como podemos observar na tabela 2, ou seja, grande parte do fósforo e do nitrogênio está presente em formas orgânicas ou pouco biodisponíveis. Processos como compostagem ou digestão anaeróbica poderiam aumentar a disponibilidade desses nutrientes, transformando o fósforo em formas como ortofosfato e o nitrogênio em amônia, que são prontamente assimiláveis pelas plantas. Isso indica que, embora o lodo ainda esteja pouco mineralizado, ele pode se tornar uma fonte eficiente de P e N após esses tratamentos, aumentando seu valor agronômico.

Tabela 2 - Concentração das frações de sólidos da amostra.

Amostra	STV (g/Kg)	STF (g/Kg)	ST (g/Kg)
Outubro	503,17	128,40	632

Janeiro	677,54	229,90	907
Fevereiro	724,19	131,10	855,34
Abril	522,63	74,50	597,17
Maio	765,38	133,10	898,47
Junho	786,21	147,90	934,07

Fonte: Elaboração própria (2025).

Onde

STV= sólidos totais voláteis

STF= sólidos totais fixos

ST= sólidos totais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares deste estudo indicam que o lodo pós-calagem gerado em uma ETE apresenta concentrações relevantes de fósforo e NTK. Embora esses valores sejam inferiores aos encontrados em fertilizantes sintéticos, eles demonstram que o lodo possui potencial para ser utilizado como biofertilizante, especialmente em solos deficientes, promovendo uma alternativa mais sustentável para a agricultura.

Contudo, foi constatada uma baixa biodisponibilidade dos nutrientes no estado atual do lodo. Esse fator reforça a necessidade de tratamentos complementares, como a compostagem ou a digestão anaeróbica, que podem aumentar a eficiência agronômica ao transformar os nutrientes em formas mais acessíveis para as plantas.

A substituição parcial ou complementar dos fertilizantes industriais pelos biossólidos é uma abordagem viável, especialmente em contextos de agricultura familiar e silvicultura. Essa prática não apenas reduz os custos associados à compra de fertilizantes, mas também minimiza os impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade e o aproveitamento de resíduos urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22 ed. Washington: American Public Health Association; 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 1004- Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília, DF, 2020.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. p. 89-92.

EMBRAPA. Adubos e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/pre-producao/insumos/adubos-e-fertilizantes. Acesso em: 3 jan. 2025.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Em: 20https://site.sanepar.com.br/sustentabilidade/destinacao-agricola-lodo-esgoto#:~:text=A%20Sanepar%20fornece%20o%20lodo,cerca%20de%2023%20mil%20toneladas. Acesso em: 3 jul. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117018

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NO DESENVOLVIMENTO DE *Axonopus parodii* e *A. compressus*

EFECTO DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL EN EL DESARROLLO DE Axonopus parodii y A. compressus

EFFECT OF IRRIGATION WITH WASTEWATER ON THE DEVELOPMENT OF Axonopus parodii and A. compressus

Simone Silva[1], Fábio Lopes[2], Maria Silva[3] e Vivian Loges[4].

[1]Pós-Doutoranda, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, Brasil, simolira36@gmail.com, 0000-0003-3101-4061
[2]Mestrando, UFRPE, Recife, Brasil, fabio.valerio@ufrpe.br, 0009-0007-6742-1570
[3]Doutoranda, UFRPE, Recife, Brasil, fernanda.mfss.01@gmail.com, 0009-0005-6376-0271
[4]Profa. Titular, UFRPE, Recife, Brasil, vloges@yahoo.com, 0000-0001-9948-9501

Eixo Temático 12 – Agricultura
Integração entre saneamento e agricultura sustentável: estratégias de gestão hídrica

Eje Temático 12 – Agricultura
Integración entre Saneamiento y Agricultura Sostenible: Estrategias de Gestión Hídrica

RESUMO

O Brasil apresenta ampla diversidade de espécies nativas com potencial ornamental ainda pouco explorado no paisagismo. A inserção dessas plantas, aliada ao manejo eficiente da água, representa uma prática sustentável especialmente no setor agrícola. Em consonância, a Agenda 2030 da ONU e os Objetivos de Desenvolvimento sustentável (ODS) promovem o uso racional dos recursos naturais, prevenindo o desperdício e estimulando o reuso de águas residuárias na irrigação. Essas medidas contribuem tanto para a preservação ambiental quanto para atender às demandas do mercado de paisagismo, unindo conservação da natureza e inovação econômica. O trabalho objetivou avaliar o efeito da irrigação com águas residuárias, como alternativa hidrica no desenvolvimento das gramineas nativas *Axonopus compressus* (ACO) e *Axonopus parodii* (APA). Foram analisados os parametros de pegamento, sobrevivência e crescimento das plantas, considerando emissão de perfilhos, altura e produção de biomassa fresca da parte aérea e das raizes aos 60 e 90 dias após o plantio (DAP). Os resultados evidenciaram que ACO e APA demonstraram estabelecimento inicial vigoroso e excelente capacidade de sobrevivência, independentemente da fonte de irrigação, evidenciando a robustez e adaptabilidade dessas espécies nativas. ACO destacou-se pela intensa emissão de perfilhos, formando um dossel denso e competitivo, enquanto o APA apresentou crescimento vertical acentuado e notável desenvolvimento radicular, características que conferem elevada capacidade de adaptação a recursos hídricos. Aos 90 DAP, observou-se no ACO acúmulo significativo de biomassa aérea, especialmente quando irrigado com água residuária. Conclui-se que a utilização de águas residuárias mostrou-se uma estratégia eficiente e ambientalmente responsável, promovendo crescimento vigoroso das plantas, representando alternativa sustentável para o manejo hídrico no paisagismo.

Palavras-chave: Gramas nativas, paisagismo, plantas forrageiras, recurcos hídricos

RESÚMEN

Brasil presenta una amplia diversidad de especies nativas con potencial ornamental aún poco explorado en el paisajismo. La inserción de estas plantas, junto con el manejo eficiente del agua, representa una práctica sostenible, especialmente en el sector agrícola. En consonancia, la Agenda 2030 de la ONU y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promueven el uso racional de los recursos naturales, evitando el desperdicio y estimulando la reutilización de aguas residuales en el riego de plantas ornamentales. Estas medidas contribuyen tanto a la preservación ambiental como a atender las demandas del mercado de paisajismo, uniendo conservación de la naturaleza e innovación económica. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la irrigación con aguas residuales, como recurso hídrico alternativo, en el desarrollo de las gramíneas nativas *Axonopus compressus* (ACO) y *Axonopus parodii* (APA). Se analizaron los parámetros de establecimiento, supervivencia y crecimiento de las plantas, considerando la emisión de macollos, altura y producción de biomasa fresca de la parte aérea y de las raíces a los 60 y 90 días después de la plantación (DDP). Los resultados evidenciaron que ACO y APA mostraron un establecimiento inicial vigoroso y excelente capacidad de supervivencia, independientemente de la fuente de riego, lo que resalta la robustez y adaptabilidad de estas especies nativas. ACO se destacó por su intensa producción de macollos, formando un dosel denso y competitivo, mientras que APA presentó un crecimiento vertical acentuado y un notable desarrollo radicular, características que le confieren gran capacidad de adaptación a distintos recursos hídricos. A los 90 DDP, ACO mostró una acumulación significativa de biomasa aérea, especialmente cuando fue regado con aguas residuales. Se concluye que la utilización de aguas residuales se mostró como una estrategia eficiente y ambientalmente responsable, favoreciendo un crecimiento vigoroso de las plantas y representando una alternativa sostenible para el manejo hídrico en el paisajismo.

Palabras clave: Gramíneas nativas, paisajismo, plantas forrajeras, recursos hídricos

ABSTRACT

Irregular rainfall Brazil presents a wide diversity of native species with ornamental potential that remains little explored in landscaping. The inclusion of these plants, combined with efficient water management, represents a sustainable practice, especially in the agricultural sector. In line with this, the UN 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals (SDGs) promote the rational use of natural resources, preventing waste and encouraging the reuse of wastewater in the irrigation of ornamental plants. These measures contribute both to environmental preservation and to meeting the demands of the landscaping market, linking nature conservation with economic innovation. This study aimed to evaluate the effect of irrigation with wastewater, as an alternative water source, on the development of the native grasses *Axonopus compressus* (ACO) and *Axonopus parodii* (APA). Parameters of establishment, survival, and plant growth were analyzed, considering tiller emission, height, and fresh biomass production of shoots and roots at 60 and 90 days after planting (DAP). The results showed that ACO and APA demonstrated vigorous initial establishment and excellent survival capacity, regardless of the irrigation source, highlighting the robustness and adaptability of these native species. ACO stood out for its intense tillering, forming a dense and competitive canopy, while

APA exhibited marked vertical growth and notable root development, traits that provide high adaptability to different water resources. At 90 DAP, ACO showed significant aerial biomass accumulation, especially when irrigated with wastewater. It is concluded that the use of wastewater proved to be an efficient and environmentally responsible strategy, promoting vigorous plant growth and representing a sustainable alternative for water management in landscaping.

Keywords: Native grasses, landscaping, forage plants, water resources

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta ampla diversidade de espécies nativas com potencial ornamental, porém ainda desconhecida para aplicação no paisagismo. As gramíneas, do ponto de vista ambiental, são de extrema importância ecológica, pois oferece múltiplas vantagens, como por exemplo, impedem a erosão, auxiliando na fixação do solo, uma vez que suas raízes, estolões e rizomas formam uma rede sob a superfície (Maximino *et al.,* 2017), assim como, a valorização estética do espaço, produção de oxigênio, fixação de gás carbônico, biodegradação de compostos orgânicos sintéticos e a supressão de plantas indesejáveis. Como também contribui para mitigar os efeitos das ilhas de calor, nos grandes centros urbanos (Santos et al., 2016; Souza et al., 2016).

Para isso, a adoção de práticas sustentáveis, como o emprego de plantas nativas e o manejo racional da água são essenciais, tendo em vista que o setor agrícola é responsavel por 70,46% do consumo hídrico nacional e com uma baixa taxa de retorno ao meio ambiente de 29,54% (ANA, 2018). Diante deste cenário, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, aprovou em 2006 a Resolução nº 375, que estabelece critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto sanitário e seus produtos derivados (CONAMA, 2006).

As águas residuárias apresentam características próprias que dependem da qualidade da água de abastecimento, pelo tipo de rede de distribuição e pelas atividades de consumo. A carga orgânica presente pode favorecer a proliferação de microrganismos decompositores e reduzir os níveis de oxigênio dissolvido. Essas concentrações variam conforme o ponto de coleta, seja banheiro, cozinha ou lavanderia. No geral as águas residuárias provenientes da lavagem de roupas possuem elevada alcalinidade, com pH em torno de 9, enquanto aquelas provenientes de banheiros podem variar entre 7 a 9,5 (Alexandre *et al.*, 2013).

Nesse contexto, a cidade do Recife desenvolveu um plano estrategico de longo prazo que estabelece diretrizes para a sustentabilidade urbana, contemplando metas relacionadas à recuperação de áreas verdes e à valorização dos recursos hidricos. O Projeto propõe, com base em uma gestão participativa, a regulação do uso, controle e proteção das bacias hidrográficas com a ampliação do saneamento, gerenciamento e conservação dos mananciais, bem como ao incentivo ao uso racional e sustentável da água (RECIFE 500 anos, 2022).

O mercado de grama, também conhecido como gramicultura é um setor milionário. Atualmente, *Zoysia japonica* Steud, popularmente conhecida como grama esmeralda é a gramínea mais utilizadas em gramados e paisagismo. Essa espécie exótica, responde por 74% a 81% do mercado nacional (MAPA, 2020). Contudo, espécies de gramíneas nativas apresentam potencial para uso como gramados no Brasil, destacando o *Paspalum notatum* (grama batatais), o *Paspalum lepton* (grama azul ou cinzenta) e *Axonopus parodii.*

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da utilização das águas residuárias no crescimento e desenvolvimento das gramineas nativas, *Axonopus compressus* e *Axonopus parodii*. A proposta busca compreender o comportamento das gramíneas frente ao uso de recursos hidricos alternativos, considerando sua adaptação, rusticidade, e capacidade de estabelecimento.

Estas iniciativas estão alinhadas à Agenda 2030 da ONU e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ao promoverem o uso mais racional dos recursos, prevenindo o desperdício e incentivando o reuso de águas residuárias na irrigação de plantas ornamentais. Estas medidas contibuiem não apenas para enfrentar os desafios ambientais como também responde às demandas do mercado de paisagismo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE/SEDE, Recife-PE, sob as coordenadas 08°03’40’’ S e 34°52’10’’ W. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a região apresenta clima do tipo Ama, caracterizado como tropical de monção. A estação chuvosa ocorre principalmente entre os meses de abril e agosto, com uma média anual entre 1.732,9 mm e 2.155,6 mm. A temperatura média anual é de 26 °C, com médias máximas de 29,7 °C e mínimas de 22,3°C. (APAC, 2023).

Inicialmente foram utilizados propágulos vegetativos nativos de *Axonopus parodii* (APA) e *Axonopus compressus* (ACO), proveniente do Banco Ativo de Germoplasma de Paspalum (BAG), da Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos – SP, Brasil). Posteriormente, no Laboratório de Floricultura da UFRPE, procedeu-se à limpeza do sistema radicular e padronização dos propágulos à altura de aproximadamente 6 cm. Após a uniformização, as mudas foram plantadas para vasos de polietileno (21 cm diâmetro superior x 11 cm de diâmetro inferior x 11 cm de altura), preenchidos com substrato comercial Biomix® com volume padronizado de 1kg.

As águas residuárias (AR) foram coletadas na Estação de Tratamento de Esgoto da COMPESA, localizada no bairro da Mangueira, Recife. As amostras foram provenientes do tratamento convencional secundário, voltado principalmente para a remoção de matéria organica. Na caracteriazação das AR, foram avaliados os seguintes parâmetros: Temperatura, Turbidez, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo, Condutividade Elétrica, Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Termotolerantes (**tabela 1**).

Tabela 1. Caracterização laboratorial da água residuária coletada na Estação de Tratamento de Esgoto da Mangueira, Recife-PE

Análise da água	
Temperatura	27,3º C
Turbidez	4,96 NTU
pH	7,8
Demanda Bioquímica de Oxigênio	<5,0 mg/L
Demanda Química de Oxigênio	<15,0 mg/L
Nitrogênio Total	4 mg/L
Fósforo	0,010 mg/L
Condutividade Elétrica	403 µS/cm
Coliformes Totais	AUSENTE
Escherichia coli	AUSENTE
Coliformes Termotolerantes	AUSENTE

Fonte: Programa de Pós graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, 2025.

Todas a mudas foram irrigadas diariamente com água de abastecimento (AB) até o 7º dias após o plantio (DAP), para adaptação das mesmas. Posteriomente, a irrigação passou a ser realizada a cada 48 horas, aplicando-se 100 ml de água de abastecimento (AB) e água residuária (AR). Semanalmente foram avaliadas os seguintes parâmetros: taxa de pegamento, taxa de sobrevivência, perfilhamento e altura das mudas. Também foram obtidos o peso da biomassa

fresca da parte aérea (PFA) e radicular (PFR) do material vegetal aos 60 e 90 DAP.

Para avaliar a biomassa fresca, as plantas foram fragmentas com auxilio de uma tesoura, em parte aérea (folhas e estolões) e raízes, e pesadas separadamente.

O estudo utilizou um delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com um arranjo fatorial 2x2x4 (dois genótipos x dois tratamentos x quatro repetições). As médias obtidas foram avaliadas por meio de análise de variância e comparadas pelo teste de Tukey a um nível de 5% de significância ($p<0,05$), pelo programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os genótipos ACO e APA apresentaram taxa de 100% até os 60 DAP para taxa de pegamento (TP) e para taxa de sobrevivência (TS), demostrando que ambos tiveram respostas positivas tanto para a irrigação utilizando água residuária (AR) quanto para água de abastecimento (AB).

A análise estatística realizada para variáveis de média de perfilhamento (p. planta) e altura (cm) apresentou difereça significativa apenas quando comparados os dois genótipos aos diferentes tratamentos (**tabela 2**).

Tabela 2. Médias de perfilhamento (p. planta) e altura (cm) de *Axonopus compressus* (ACO) e *Axonopus parodii* (APA) e quando irrigados com águas de abastecimento (AB) e água residuária (A).

Genótipos	Perfilhos *		Altura* (cm)	
	AB	AR	AB	AR
ACO	1,8 aA	3,45 aA	7,1 bA	8,35 bA
APA	0,4 bA	0,65 bA	12,4 aA	12,8 aA
C.V.(%)	33,2	33,66	26,36	22,7
Média geral	1,1	2,05	9,75	10,57

Fonte: SISVAR, Ferreira (2008). *Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p\leq0,05$).

O perfilhamento foi superior em ACO, independentemente da fonte de irrigação. Quando submetido a AB, o ACO apresentou em média 1,8 (p. planta), superior ao de APA 0,4 (p. planta). Esse padrão se manteve também sob irrigação com AR, onde o ACO alcançou 3,45 (p. planta), contrastando com apenas 0,65 (p. planta) em APA.

Já em relação a altura das plantas, o comportamento foi distinto. O APA apresentou maiores valores médios, tanto sob AB (12,4 cm) quanto sob AR (12,8 cm), enquanto o ACO obteve 7,1 cm e 8,35 cm, respectivamente. Isso demonstra que o APA tende a apresentar um

maior crescimento vertical, quanto que o ACO apresenta maior perfilhamento, característica importante para a formação de dossel mais denso e competitivo.

Na análise da massa fresca das raízes (MFR), o genótipo APA demonstrou uma resposta mais consistente ao tratamento com AR. Aos 60 DAP, a MFR do APA apresentou um aumento expressivo de 131% em relação ao tratamento com AB, enquanto a do ACO aumentou 88.05%. Embora o ACO tenha tido uma ligeira diminuição de 5.35% na MFR aos 90 DAP, o APA manteve um crescimento positivo, com aumento de 29.04% no mesmo período. Aos 120 DAP, o APA manteve-se superior, com um acréscimo de 104%, elevando sua MFR para 17.95 g, enquanto o ACO apresentou um aumento de apenas 7.21% (**tabela 3**).

Em relação à massa fresca da parte aérea (MFA), ambos os genótipos apresentaram uma resposta muito positiva ao tratamento com AR. O ACO teve um crescimento notável, com a MFA aumentando 23% aos 60 DAP, 184% aos 90 DAP (atingindo 20.19 g), e 130.80% aos 120 DAP, chegando a 56.13 g. O APA também demonstrou um crescimento considerável, com um aumento de 48% aos 60 DAP e um pico de crescimento de 114% aos 90 DAP, elevando sua MFA para 26.28 g. Aos 120 DAP, o aumento da MFA do APA foi de 43.37% (**tabela 3**).

Tabela 3. Médias da massa fresca das raízes e massa fresca da parte aérea de *Axonopus compressus* (ACO) e *Axonopus parodii* (APA) quando irrigados com águas de abastecimento (AB) e água residuária (AR).

Massa fresca das raízes* (g)

	60 DAP				90 DAP				120 DAP			
	AB		AR		AB		AR		AB		AR	
ACO	1.59	aA	2.99	aA	6.73	aA	6.37	aA	8.18	aA	8.77	bA
APA	1.61	aA	3.72	aA	6.44	aA	8.31	aA	8.79	aB	17.95	aA
C.V.(%)	17.12		21.75		17.09		14.75		4.66		5.81	
M.G	1.60		3.35		6.59		7.34		8.49		13.36	

Massa fresca da parte aérea* (g)

	60 DAP				90 DAP				120 DAP			
	AB		AR		AB		AR		AB		AR	
ACO	5.59	aB	6.90	aA	7.12	bB	20.19	aA	24.32	bB	56.13	aA
APA	4.54	bB	6.7	aA	12.26	aB	26.28	aA	29.79	aB	42.71	bA
C.V.(%)	17.12		21.75		17.09		14.75		4.66		5.81	
M.G	1.60		3.35		6.59		7.34		8.49		13.36	

Fonte: SISVAR, Ferreira (2008). *Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A **Figura 1** evidencia o efeito positivo da irrigação com AR sobre o desenvolvimento dos genótipos de *Axonopus*. Ambos apresentaram crescimento limitado sob irrigação com AB, porém responderam positivamente à AR, aumentando o número de perfilhos e a densidade da

parte aérea aos 90 DAP.

Esses resultados reforçam a maior eficiência fisiológica dos genótipos de espécies nativas, bem como a importância do uso da água residuaria como estrategia sustentável, alinhada as demandas ambientais e as práticas de manejo dos recursos ambientais. Segundo Souza *et al.* (2016), características como a altura, a cobertura do solo e a densidade são de alta relevância para as gramíneas.

Figura 1. Efeito de AB e AR no desenvolvimento da parte aérea dos acessos ACO e APA aos 90 DAP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os genótipos *Axonopus compressus* (ACO) e *Axonopus parodii* (APA) demonstraram excelente capacidade de sobrevivência e estabelecimento inicial vigoroso, independentemente da fonte de irrigação, evidenciando a robustez e adaptabilidade dessas espécies nativas. O ACO destacou-se pelo maior perfilhamento, formando um dossel denso e competitivo, enquanto o APA apresentou crescimento vertical acentuado e notável desenvolvimento radicular, características que conferem elevada capacidade de adaptação a condições de estresse hídrico e utilização eficiente de recursos hídricos alternativos. Aos 90 DAP, o ACO acumulou significativa biomassa aérea, especialmente quando irrigado com água residuária.

A utilização de água residuária mostrou-se uma estratégia eficiente e ambientalmente responsável, promovendo crescimento vigoroso e saúde das plantas, além de representar uma alternativa sustentável para o manejo hídrico. Esses resultados ressaltam o grande potencial dos genótipos de *Axonopus* na revegetação de áreas degradadas, na cobertura do solo e na conservação de recursos hídricos, reforçando seu valor em sistemas produtivos e ecologicamente sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexandre, Ellen Carla F., Mara Lucia Lemke-de-Castro e Marcos Antonio Pesquero. 2013. "Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis." Revista de Biotecnologia & Ciência. 2: 106-116.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). 2018. "Contas econômicas ambientais da água no Brasil, 2013–2015." Brasília: ANA, IBGE, SRHQ.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. 2023. "Atlas climatológico do Estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991-2020". Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas. – Recife: APAC, GMMC.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. "Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006." Brasília, DF: CONAMA.

Ferreira, Daniel Furtado. 2008. "SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística". Revista Symposium (Lavras) 6: 36–41.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2020. "CultivarWeb". http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php.>

Maximino, Josiane Vargas de O., Marco Aurélio Schiavon Machado, Andréa Mittelmann et al. 2017. "Potencial de produção de sementes de gramíneas para a implantação em gramados.) Ornamental Horticulture. 23(2): 200-206. http://dx.doi.org/10.14295/oh.v23i2.1011

RECIFE 500 ANOS: plano estratégico de longo prazo para o desenvolvimento da cidade = *Recife 500 years: long-term strategic plan for city development* / organizador: Agência Recife de Inovação e Estratégia – ARIES; prefácio: João Campos. 2. ed. revisada e atualizada. Recife: Cepe, 2022.

Santos, Patrick Luan Ferreira dos, Jéssica Pigatto de Queirz Barcellos, Regina Maria Monteiro de Castilho. 2016. "Diferentes substratos no desenvolvimento de um gramado ornamental para uso em telhados verdes. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, 4(10): 81-94. https://doi.org/10.17271/2317860441020161393

Souza, Francisco Humberto Dubbern de, Marcos Rafael Gusmão e Frederico de Pina Matta, et al. 2016. "Atributos desejáveis para gramados a serem cultivados sob condições brasileiras: uma proposta." Ornamental Horticulture 22(2): 154–65. https://doi.org/10.14295/oh.v22i2.841

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117044

EFLUENTE DE BIODIGESTOR NA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O CULTIVO DE VIDEIRAS

EFUENTE DE BIODIGESTOR EN RIEGO LOCALIZADO: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA EL CULTIVO DE VIDES

BIOFERTILIZER FROM DIGESTER EFFLUENT IN LOCALIZED IRRIGATION: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR VINEYARD CULTIVATION

Eduardo da Silva Santos[1], Gabriel dos Santos Barros[2], Paula Capita Siqueira[3] e Pedro Henrique Rodrigues Dantas[4].

[1]Engenheiro Agrônomo, UNIVASF, Petrolina, Brasil, eduardosantossilva63@gmail.com, 0009-0003-6914-2752;
[2]Graduando em Engenharia Agronômica, UNIVASF, Petrolina, Brasil, gdossantosbarros2003@gmail.com, 0009-0009-6802-3309;
[3]Graduando em Engenharia Mecânica, UNIVASF, Petrolina, Brasil, pedrudantas123@gmail.com, 0009-0000-9502-9823.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Integração entre saneamento e agricultura sustentável: estratégias de gestão hídrica.

Eje Temático 05 – agricultura
Integración entre saneamiento y agricultura sostenible: estrategias de gestión hídrica.
.

RESUMO

Este estudo investigou a viabilidade técnica e os efeitos agronômicos da aplicação do efluente líquido de biodigestor como biofertilizante em videiras cultivadas em sistema de cerca viva, utilizando irrigação localizada por gotejamento, o trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho das plantas submetidas a esse tratamento, comparando-as com videiras irrigadas exclusivamente com água, a pesquisa destacou não apenas os aspectos nutricionais e de desenvolvimento vegetal, mas também a sustentabilidade do sistema, que integra o reaproveitamento de resíduos orgânicos à produção agrícola. O experimento foi conduzido com 16 videiras, irrigadas por gotejadores reguláveis com vazão de 6,0 L h^{-1} por planta, o protocolo consistiu na aplicação diária de efluente bruto do biodigestor por 6 minutos (aproximadamente 9,6 L), seguida de irrigação com água limpa por 54 minutos (cerca de 86,4 L), totalizando uma diluição final estimada de 1:10 (biofertilizante:água), o efluente foi aplicado três vezes por semana, intercalado com dias de irrigação convencional, para evitar entupimentos, foram utilizados filtros de disco, e a avaliação dos resultados baseou-se em análises visuais do desenvolvimento das plantas. As videiras tratadas com o efluente apresentaram maior vigor vegetativo, folhas com coloração uniforme e ausência de sintomas de deficiência nutricional, além de um bom pegamento de frutos e ausência de estresse ou queda prematura, em contraste, as plantas irrigadas apenas com água exibiram clorose foliar, crescimento reduzido e abortamento de cachos em formação, tais observações, ainda que preliminares, reforçam o papel do biofertilizante como uma fonte eficaz de nutrientes, capaz de suprir parcialmente as demandas da cultura e melhorar sua resistência a fitopatógenos. Além dos benefícios

agronômicos, o sistema mostrou-se operacionalmente viável, sem ocorrência de entupimentos, desde que mantida a limpeza regular dos filtros, a facilidade de manejo e a possibilidade de automatização tornam essa técnica acessível para pequenas propriedades rurais que já utilizam biodigestores, do ponto de vista ambiental, a prática promove a circularidade na agricultura, reduzindo a dependência de fertilizantes minerais e valorizando resíduos orgânicos que, de outra forma, poderiam ser descartados. Em conclusão, a aplicação do efluente de biodigestor via irrigação localizada mostrou-se uma alternativa tecnicamente viável e sustentável para o cultivo de videiras, os resultados indicaram melhorias visíveis no desenvolvimento das plantas, tanto em termos nutricionais quanto produtivos, além de contribuir para uma agricultura mais integrada e resiliente, a técnica apresenta potencial para ser replicada em outras culturas, reforçando seu papel na transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Biodigestor, biofertilizante, viticultura, irrigação localizada, agricultura sustentável

RESÚMEN

Este estudio investigó la viabilidad técnica y los efectos agronómicos de la aplicación de efluente líquido de biodigestor como biofertilizante en vides cultivadas en sistema de cerca viva, utilizando riego localizado por goteo. El objetivo principal fue evaluar el desempeño de las plantas bajo este tratamiento en comparación con vides irrigadas solo con agua. La investigación destacó no solo los aspectos nutricionales y de desarrollo vegetal, sino también la sostenibilidad del sistema, que integra el reaprovechamiento de residuos orgánicos con la producción agrícola. El experimento se realizó con 16 vides irrigadas por goteadores ajustables con caudal de 6,0 L h^{-1} por planta. El protocolo consistió en aplicación diaria de efluente crudo del biodigestor durante 6 minutos (aproximadamente 9,6 L), seguido de riego con agua limpia por 54 minutos (unos 86,4 L), totalizando una dilución final estimada de 1:10 (biofertilizante:agua). El efluente se aplicó tres veces por semana, alternando con días de riego convencional. Se utilizaron filtros de disco para evitar obstrucciones, y los resultados se evaluaron mediante análisis visual del desarrollo de las plantas. Los resultados mostraron diferencias expresivo entre ambos grupos. Las vides tratadas con efluente presentaron mayor vigor vegetativo, hojas de coloración uniforme, ausencia de síntomas de deficiencia nutricional, buen cuajado de frutos y ausencia de estrés o caída prematura. En contraste, las plantas irrigadas solo con agua mostraron clorosis foliar, crecimiento reducido y aborto de racimos. Estos hallazgos refuerzan el papel del biofertilizante como fuente efectiva de nutrientes que puede satisfacer parcialmente las demandas del cultivo y mejorar su resistencia a patógenos. Además de los beneficios agronómicos, el sistema demostró ser operacionalmente viable sin problemas de obstrucción cuando se mantuvieron los filtros adecuadamente. La facilidad de manejo y potencial de automatización hacen accesible esta técnica para pequeñas fincas que ya utilizan biodigestores. Ambientalmente, la práctica promueve la circularidad agrícola al reducir la dependencia de fertilizantes minerales y valorizar residuos orgánicos que de otro modo serían descartados. En conclusión, la aplicación de efluente de biodigestor mediante riego localizado demostró ser una alternativa técnicamente viable y sostenible para el cultivo de vides. Los resultados mostraron mejoras visible en el desarrollo de las plantas, tanto nutricional como productivamente, contribuyendo a una agricultura más integrada y resiliente. La técnica tiene potencial para replicarse en otros cultivos, reforzando su papel en la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles.

Palabras clave: Biodigestor, biofertilizante, viticultura, riego localizado, agricultura sostenible

ABSTRACT

This study investigated the technical feasibility and agronomic effects of applying liquid biodigester effluent as biofertilizer in grapevines grown in a living fence system using localized drip irrigation. The main objective was to evaluate plant performance under this treatment compared to vines irrigated with water only. The research highlighted not only the nutritional and plant development aspects but also the system's sustainability, integrating organic waste reuse with agricultural production.The experiment was conducted with 16 grapevines irrigated by adjustable drippers with a flow rate of 6.0 L h^{-1} per plant. The protocol consisted of daily application of raw biodigester effluent for 6 minutes (approximately 9.6 L), followed by clean water irrigation for 54 minutes (about 86.4 L), totaling a final estimated dilution of 1:10 (biofertilizer:water). The effluent was applied three times per week, alternating with conventional irrigation days. Disk filters were used to prevent clogging, and results were evaluated through visual analysis of plant development.

Results showed expressive differences between the two groups. Effluent-treated vines exhibited greater vegetative vigor, uniformly colored leaves, no signs of nutritional deficiency, good fruit set, and absence of stress or premature dropping. In contrast, water-only irrigated plants showed leaf chlorosis, reduced growth, and cluster abortion. These findings reinforce the biofertilizer's role as an effective nutrient source that can partially meet crop demands and improve resistance to pathogens. Beyond agronomic benefits, the system proved operationally viable with no clogging issues when filters were regularly maintained. The easy management and potential for automation make this technique accessible for small farms already using biodigesters. Environmentally, the practice promotes agricultural circularity by reducing dependence on mineral fertilizers and valorizing organic waste that would otherwise be discarded. In conclusion, biodigester effluent application through localized irrigation proved to be a technically viable and sustainable alternative for grapevine cultivation. Results showed expressive improvements in plant development, both nutritionally and productively, while contributing to more integrated and resilient agriculture. The technique has potential for replication in other crops, reinforcing its role in transitioning to more sustainable agricultural systems.

Keywords: Biodigester, biofertilizer, viticulture, localized irrigation, sustainable agriculture

INTRODUÇÃO

Os biofertilizantes são insumos obtidos pela decomposição de compostos orgânicos, ricos em microrganismos vivos ou latentes, capazes de transformar e disponibilizar nutrientes, produzidos por processos aeróbios ou anaeróbios, apresentam composição variável conforme o método de preparo, tempo de decomposição e condições ambientais, sua elevada atividade microbiológica libera substâncias bioativas que melhoram a nutrição e a proteção vegetal

(MEDEIROS; LOPES, 2006), na agricultura, destacam-se por aumentar a fertilidade do solo, reduzir o uso de fertilizantes químicos e promover sistemas produtivos mais sustentáveis, com destaque para a aplicação na cultura da soja no Brasil (FAPESP, 2023).

A escolha dessa temática insere-se no contexto da busca por soluções sustentáveis para a agricultura familiar, com ênfase no reaproveitamento de resíduos orgânicos por meio de tecnologias de baixo custo e fácil aplicação, o uso de biofertilizantes obtidos por digestão anaeróbica configura-se como uma alternativa eficiente para a adubação de culturas e para a valorização de subprodutos rurais, essa prática contribui para a integração entre produção agropecuária e saneamento rural, reduzindo a dependência de insumos químicos, em grande parte importados, e promovendo sistemas produtivos mais resilientes, além disso, o aproveitamento de efluentes de biodigestores está alinhado aos princípios da agricultura de baixo carbono, favorecendo a mitigação de emissões e o uso racional de recursos naturais (EMBRAPA, 2023), a aplicação dessa tecnologia no cultivo da videira fortalece o conhecimento técnico sobre estratégias de manejo que conciliam produtividade, sustentabilidade e eficiência econômica.

O presente estudo avaliou a viabilidade técnica da aplicação do efluente líquido de biodigestores como biofertilizante na cultura da videira, conduzida em sistema de espaldeira como cerca viva, para tanto, comparou-se o desenvolvimento das plantas submetidas à irrigação localizada com o efluente e o de videiras irrigadas exclusivamente com água.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na sede do Projeto Proágua Rural, situada no Projeto de Irrigação Nilo Coelho, S/N, C1, CEP 56300-000, zona rural de Petrolina – PE. O experimento foi conduzido com 16 plantas de videira da variedade BRS Vitória, enxertadas sobre o porta-enxerto SO4, a videira apresentava idade de 2 anos, irrigadas por meio de gotejadores reguláveis modelo IM-R70, com vazão ajustada para 6,0 L h^{-1} por planta, totalizando 96 L h^{-1} no sistema, a irrigação foi realizada conforme o seguinte protocolo diário:

1. Aplicação de **efluente bruto de origem humana**, proveniente de biodigestor, por 6 minutos (~9,6 L);
2. Irrigação complementar com água limpa por 54 minutos (~86,4 L), totalizando 60 minutos de irrigação, com **diluição final estimada de 1:10** (biofertilizante: água).

A aplicação com efluente ocorreu três vezes por semana, intercalada com irrigação apenas com água nos demais dias. Filtros de disco foram instalados para prevenir entupimentos com limpeza diária, e a avaliação foi realizada por análise visual, comparando-se as videiras tratadas com aquelas irrigadas apenas com água.

Quadro 1 – Parâmetros operacionais do sistema de irrigação com biofertilizante

Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade	Observações
Número de plantas	Quantidade total de videiras	16	plantas	-
Vazão por gotejador	Vazão ajustada do modelo IM-R70	6,0	L h^{-1}	Vazão por planta
Vazão total do sistema	Soma da vazão de todos os gotejadores	96,0	L h^{-1}	16 plantas × 6 L h^{-1}
Tempo com biofertilizante	Duração da aplicação direta de efluente	6	minutos	~10% do tempo total
Volume de biofertilizante	Volume aplicado durante os 6 minutos	9,6	litros	96 L h^{-1} × 0,1 h
Tempo com água limpa	Irrigação com água após o biofertilizante	54	minutos	Complemento para 60 minutos
Volume de água aplicada	Volume total de água nos 54 minutos	86,4	litros	96 L h^{-1} × 0,9 h
Tempo total de irrigação diária	Tempo total do ciclo de irrigação	60	minutos	-
Diluição final estimada	Proporção entre efluente e água	1:10	-	Aproximada, segura para o sistema radicular

Fonte: Elaboração própria (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As videiras irrigadas com efluente bruto de origem humana apresentaram melhor desempenho visual em comparação ao tratamento controle. Observou-se maior vigor vegetativo, coloração foliar uniforme e ausência de sintomas de deficiência nutricional, além de bom pegamento de frutos, sem sinais de estresse hídrico ou queda prematura (**Figuras 1 e 2**).

Figura 1. Planta sem sintomas de deficiência nutricional.
Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Figura 2. Primeiro cacho de uma planta bem nutrida.
Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Por outro lado, as plantas irrigadas exclusivamente com água manifestaram sintomas visuais típicos de deficiências nutricionais, como **clorose internerval** e **marginal** nas folhas mais velhas (**Figuras 3 e 4**). Estes sintomas são classicamente **indicativos de carências de magnésio e potássio, respectivamente, em videiras** (FRÁGUAS; KUHN, 1989; TECCHIO et al., 2011), além de internódios encurtados (relacionados à deficiência de zinco), menor crescimento vegetativo por limitação de nitrogênio e abortamento floral em cachos em formação.

Figura 3. Folhas indicando deficiência de magnésio.
Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Figura 4. Folhas indicando deficiência de potássio.
Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Esses resultados qualitativos indicam que o uso do efluente biodigestor atua como uma fonte complementar de nutrientes, capaz de suprir parcialmente as exigências da cultura e melhorar o estado nutricional das plantas, mesmo sem adubações minerais adicionais, estudos prévios corroboram esses achados, demonstrando que a aplicação de biofertilizantes em videiras pode promover melhor desenvolvimento vegetativo e maior uniformidade foliar, além de contribuir para o equilíbrio nutricional, principalmente em cultivares rústicas ou adaptadas, como a Isabel (SILVA et al., 2019), de forma semelhante, a observação de maior vigor vegetativo e coloração uniforme nas videiras tratadas está de acordo com os achados de Lemes et al. (2020), que constataram resultados análogos em cafeeiros fertirrigados com efluente líquido de biodigestor.

O sistema de irrigação mostrou-se eficiente durante todo o período experimental, operando de forma estável e sem entupimentos, desde que realizada a limpeza diária dos filtros, a ausência de obstruções no sistema, mediante manejo adequado, é um resultado crucial que reforça a viabilidade técnica e corrobora o trabalho de Machado (2022), o qual demonstrou que a aplicação de efluentes domésticos tratados pode aumentar o desenvolvimento de culturas perenes sem causar entupimentos nos sistemas de irrigação, a facilidade de manejo e a possibilidade de automatização tornam essa forma de bio-irrigação uma alternativa viável para pequenas propriedades rurais que já dispõem de biodigestores, promovendo a integração entre manejo de resíduos e produção agrícola sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do efluente líquido de biodigestor via irrigação localizada demonstrou-se uma alternativa tecnicamente viável e agronomicamente eficaz para o cultivo de videiras em sistema de cerca viva, as plantas apresentaram melhor desempenho nutricional, com redução de sintomas visuais de deficiência e maior uniformidade na formação dos frutos. Além de promover ganhos produtivos, essa prática representa uma solução ambientalmente sustentável, ao valorizar resíduos orgânicos, diminuir a dependência de fertilizantes minerais e fortalecer uma agricultura mais circular, integrada e resiliente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto de Extensão ProÁgua Rural, desenvolvido pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), pelo suporte técnico, acadêmico e institucional fundamental à realização deste trabalho, estendemos nossa gratidão à Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e ao Governo Federal, cujo apoio e financiamento foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa e para a promoção do acesso à água de qualidade nas comunidades rurais atendidas. O fortalecimento das ações integradas entre universidade, governo e sociedade tem sido determinante para a geração de conhecimento e transformação social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. Bahia Agrícola, Salvador, v. 7, n. 3, p. 24-26, 2006.

TECCHIO, M. et al. Nutrição, Calagem e Adubação da Videira. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/FIC_Uva/Aduba%C3%A7%C3%A3oUva/NUTRIcaO%20CALAGEM%20E%20ADUBAcaO%20DA%20VIDEIRA_IAC.pdf>.

MACHADO, L. T. S. Aproveitamento de efluente gerado na biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos de origem doméstica na agricultura irrigada. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 2022. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/entities/publication/de742a12-ddc6-4725-92d9-915b1814c320. Acesso em: 29 set. 2025.

LEMES, E. M.; MOURA, D. N.; OLIVEIRA, B. S.; VALLONE, H. S.; TORRES, J. L. R. Crescimento inicial do cafeeiro fertirrigado com efluente líquido de biodigestor. *Revista Agroecossistemas*, Belém, v. 12, n. 2, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/7715. Acesso em: 29 set. 2025.

SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI JÚNIOR, L. F. A.; MAGNONI JÚNIOR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. *Química Nova*, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 35–40, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/yKqrG7WxRkFqcbt4PmVvbxG/?lang=pt. Acesso em: 29 set. 2025.

FRÁGUAS, J. C.; KUHN, G. B. **Diferenças entre sintomas de deficiências minerais e de viroses em videira**. Comunicado Técnico, n. 3. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1989. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/535786/diferencas-entre-sintomas-de-deficiencias-minerais-e-de-viroses-em-videira. Acesso em: 10 out. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117069

ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIO COM APORTE DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM CRATO, CE.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE UN RÍO CON APORTE DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EN CRATO, CE

STUDY OF THE WATER QUALITY OF A RIVER WITH DOMESTIC EFFLUENT INPUT IN CRATO, CE

Ana Millene dos Santos Silva[1], Janisi Sales Aragão[2], Maria Lucilene Queiroz da Silva[3] e Ana Karoline Pinheiro Bezerra[4].

[1]Mestranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, anasantosmillene@gmail.com, 0000-0003-2110-8056;
[2]Doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, janisi.aragao@ifce.edu.br, 0000-0002-5756-5067
[3]Doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, marialucilene@ifce.edu.br, 0000-0002-4040-2288;
[4]Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, Brasil, ana.karolinepinheiro61@aluno.ifce.edu.br, 0009-0003-5043-7083.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Impactos do saneamento na qualidade do solo e da água.

Eje Temático 12 – Agriculture
Impacts of sanitation on soil and water quality.

Thematic Axis 12 – Agricultura
Impactos del saneamiento en la calidad del suelo y del agua.

RESUMO

A insuficiência na coleta e no tratamento de esgoto exerce forte influência sobre a qualidade da água superficial, sobretudo em rios e córregos. No município de Crato-CE, o rio Granjeiro, que atravessa a área urbana da cidade, recebe continuamente efluentes domésticos ao longo de seu percurso, alcançando áreas rurais e comprometendo fontes de abastecimento destinadas a múltiplos usos. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água em um trecho do rio Granjeiro, por meio da análise de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos. Os resultados indicaram que, embora os ensaios de fitotoxicidade não tenham evidenciado toxicidade para as espécies testadas, a não conformidade de parâmetros físico-químicos como amônia, oxigênio dissolvido (OD) e fósforo total, associada às elevadas concentrações de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e *Klebsiella* spp., demonstram comprometimento significativo da qualidade da água, refletindo os impactos negativos do aporte de esgoto doméstico no rio Granjeiro.

Palavras-chave: Rio Granjeiro, Contaminação microbiológica, Ecotoxicologia.

RESÚMEN

La insuficiencia en la recolección y el tratamiento de aguas residuales ejerce una fuerte influencia sobre la calidad del agua superficial, especialmente en ríos y arroyos. En el municipio de Crato-CE, el río Granjeiro, que atraviesa el área urbana de la ciudad, recibe continuamente efluentes domésticos a lo largo de su recorrido, alcanzando zonas rurales y comprometiendo las fuentes de abastecimiento destinadas a múltiples usos. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua en un tramo del río Granjeiro mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y ecotoxicológicos. Los resultados indicaron que, aunque los ensayos de fitotoxicidad no evidenciaron toxicidad para las especies evaluadas, el incumplimiento de parámetros fisicoquímicos como amoníaco, oxígeno disuelto (OD) y fósforo total, asociado a las altas concentraciones de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y *Klebsiella* spp., demuestra un deterioro significativo de la calidad del agua, reflejando los impactos negativos del aporte de aguas residuales domésticas en el río Granjeiro.

Palavras-chave: Río Granjeiro, Contaminación microbiológica, Ecotoxicología.

ABSTRACT

The insufficiency in sewage collection and treatment has a strong influence on surface water quality, especially in rivers and streams. In the municipality of Crato-CE, the Granjeiro River, which crosses the urban area of the city, continuously receives domestic effluents along its course, reaching rural areas and compromising water sources intended for multiple uses. In this context, the present study aimed to evaluate the water quality of a section of the Granjeiro River through the analysis of physicochemical, microbiological, and ecotoxicological parameters. The results indicated that, although phytotoxicity tests did not show toxicity for the tested species, the non-compliance of physicochemical parameters such as ammonia, dissolved oxygen (DO), and total phosphorus, associated with high concentrations of thermotolerant coliforms, Escherichia coli, and Klebsiella spp., demonstrates significant impairment of water quality, reflecting the negative impacts of domestic sewage input in the Granjeiro River.

Palavras-chave: Granjeiro River, Microbiological contamination, Ecotoxicology.

INTRODUÇÃO

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU visam, entre outros, acabar com a pobreza e proteger o meio ambiente. O ODS 6, relacionado à água potável e saneamento, estabelece metas para 2030, incluindo a melhoria da qualidade da água, a redução da poluição e a diminuição pela metade das águas residuais não tratadas. Além disso, prevê a proteção e restauração de ecossistemas como aquíferos, lagos e rios.

De acordo com o relatório do Trata Brasil (2024), a coleta de esgoto nacional média, subiu de 55,8% para 56% entre 2021 e 2022, e o tratamento de esgoto nacional médio de 51,2% para 52,2%. Além disso, vários artigos na literatura mostram o quanto nossas águas, como rios

e riachos estão contaminados, inclusive pela entrada de efluentes domésticos (Konzen, 2023; Bobato *et al.,* 2023).

No município de Crato, Ceará, localizado no sopé da chapada do Araripe, O rio Granjeiro, que atravessa a área urbana da cidade, recebe efluentes domésticos ao longo de praticamente todo o seu percurso, o que compromete significativamente a qualidade da água (Silva; Nascimento, 2020). Dessa forma, ao atingir a zona rural do município, o rio já se encontra altamente contaminado, trazendo riscos à saúde pública e ao equilíbrio ambiental.

Nas zonas rurais, as principais formas de abastecimento de água são as fontes naturais, poços e rios (Souza *et al.,* 2017). Segundo Yamaguchi *et al*., (2013), a maioria das pessoas que utilizam essas águas acreditam que estão consumindo água de boa qualidade por essas serem inodora, incolor e insípida. Todavia, a água para consumo humano deve ser ausente de contaminantes assim como, livres de microrganismos patogênicos, os quais não são perceptíveis a olho nu.

A qualidade de corpos hídricos pode ser avaliada por análises físico-químicas, microbiológicas e testes de toxicidade, aplicados isoladamente ou de forma integrada, o que proporciona maior compreensão dos riscos ecológicos e à saúde humana. As análises físico-químicas permitem identificar substâncias e seus níveis de impacto (Parron; Muniz; Pereira, 2011), enquanto as microbiológicas avaliam a presença de microrganismos patogênicos responsáveis por doenças de veiculação hídrica (Otsuka *et al.,* 2015). Já os ensaios de toxicidade destacam-se pela capacidade de mensurar efeitos adversos em organismos, como peixes, algas, invertebrados e plantas (Silva *et al*., 2024; Vieira *et al.,* 2024).

Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da água de um trecho do rio Granjeiro localizado em Crato-Ce, utilizando parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho localiza-se no rio Granjeiro, nas proximidades da Vila São Bento no município de Crato, Ceará. O ponto de coleta está situado a jusante da confluência entre os rios Granjeiro e Batateiras, com coordenadas 7°13’12”S e 39°23’15”W e elevação aproximada de 397,83 m (Figura 1).

Foram realizadas duas coletas nos meses de maio e junho de 2025 para análises de fitotoxicidade, físico-químicas e microbiológicas. Os parâmetros físico-químicos analisados

foram: pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, amônia, nitrato, nitrito, seguindo a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2012).

O teste confirmativo para coliformes termotolerantes (CTT) foi realizado em meio A1, pela técnica dos tubos múltiplos com diluições seriadas (1:1 a 1:100.000), seguido de incubação a 35 °C/3 h e 45 °C/48 h. A formação de gás nos tubos de Durham indicou teste positivo para CTT, permitindo a estimativa do Número Mais Provável (NMP) (APHA *et al.*, 2012). Para confirmação da presença de *Escherichia coli* e de *Klebsiella* spp., os tubos positivos para CTT foram repicados em meio ágar *Eosin Methylene Blue* (ágar EMB) e incubadas a 35 °C/24 h, sendo colônias com brilho verde metálico indicativas de *E. coli* e colônias rosadas com centro negro, de aparência brilhante, com consistência mucoide, sugestivas de *Klebsiella* spp (Macedo *et al.,* 2020).

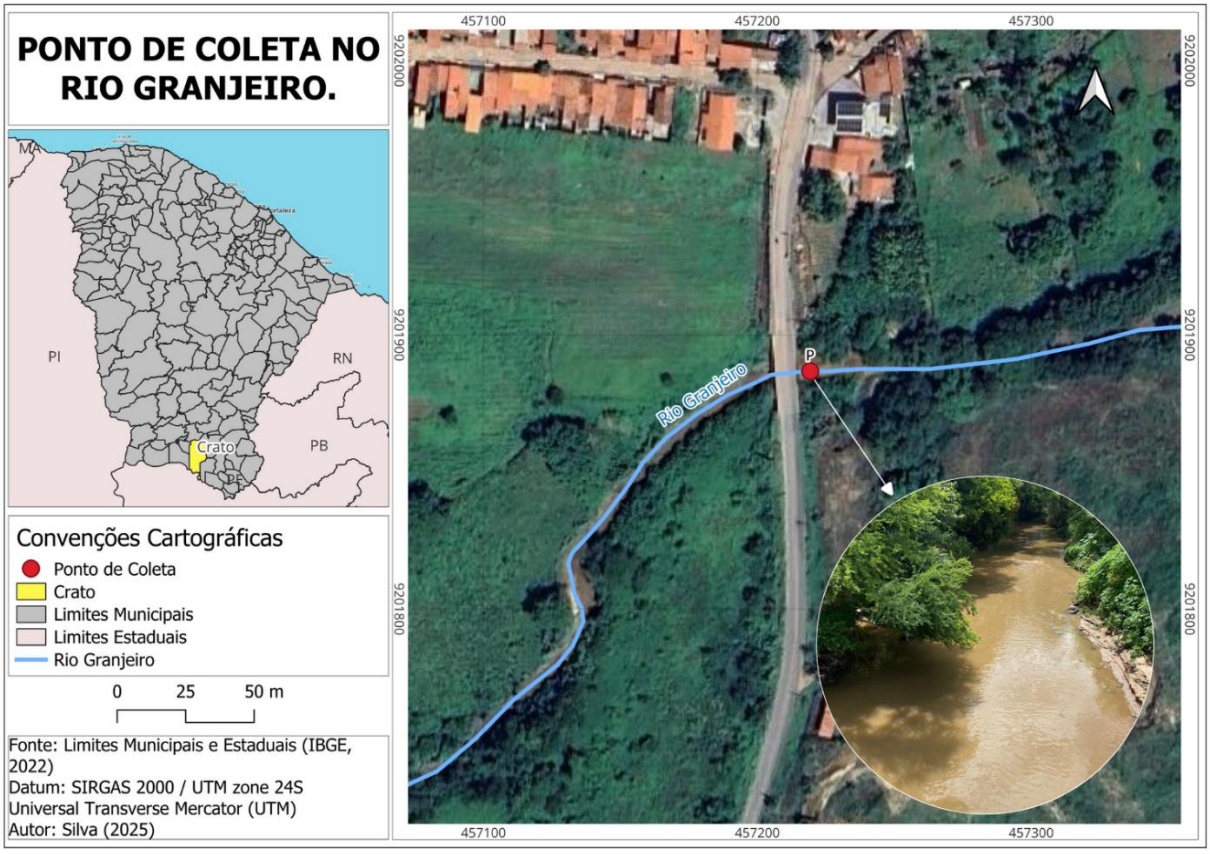


Figura 1: Ponto de coleta no Rio Granjeiro em Crato, CE.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O ensaio de fitotoxicidade foi realizado segundo a metodologia da EPA (1996), com adaptações, utilizando sementes de pepino (*Cucumis sativus*) e couve (*Brassica oleracea*). Foram dispostas 50 sementes (em 5 réplicas) por teste em placas de Petri com papel filtro

embebido em 4 mL da amostra, incubadas a 24 ± 2 °C por 120 h. Utilizou-se sulfato de zinco 1% como controle positivo e água destilada como controle negativo. Após o período, avaliaram-se a germinação e o crescimento radicular, sendo válidos os testes com ≥ 65% de germinação e radículas ≥ 20 mm no controle negativo.

Os resultados de toxicidade foram quantificados em termos do Índice de Crescimento Relativo (CRR) das radículas, dado pela equação 1 (Tiquia; Tam, 1998):

$$ICR = \frac{CRa}{CRc} \qquad (1)$$

Onde:
CRa = comprimento da radícula na amostra;
CRc = comprimento da radícula no controle negativo.

Os efeitos da toxicidade para o ICR foram divididos em três categorias:

a) Inibição da taxa de alongamento radicular: 0< ICR<0,8;

b) Sem efeitos significativos: 0,8 ≤ ICR ≤ 1,2;

c) Estimulação da taxa de alongamento: ICR> 1,2.

E pelo o Índice germinação (IG), conforme equação 2 (Tiquia; Tam, 1998):

$$IG(\%) = \frac{\%\,GA\ x\ \%ICR}{100} \qquad (2)$$

Onde:
%GA= razão entre sementes germinadas na amostra e germinadas no controle, em porcentagem;
%ICR= razão entre o comprimento das radículas na amostra e comprimento no controle, em porcentagem.

Os efeitos da toxicidade, quanto ao índice de germinação, foram classificados como **não tóxicos** quando IG>80% (Tiquia; Tam; Hodgkiss, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados microbiológicos indicam níveis elevados de contaminação por coliformes totais (CTT), *E.coli coli e Klebsiella* spp. para ambos os testes realizados, sendo observadas maiores concentrações para o segundo teste (tabela 1).

A *E.coli* é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos (Brasil, 2005). Sua presença em ambientes aquáticos indica contaminação fecal, muitas vezes ligada ao lançamento de efluentes especialmente domésticos (Von Sperling, 2014). Já a *Klebsiella* spp. trata-se de um patógeno oportunista de interesse especialmente nas análises de resistência bacteriana a antibióticos e questões de saúde pública (Pillai *et al*., 2022; Macedo *et al.,* 2020).

Macedo *et al.,* (2020), identificaram em seus estudos a presença de *E.coli* e *K. pneumoniae* em diferentes fontes de água na região do Cariri Cearense, incluindo um trecho do rio salgado, em Juazeiro do norte (CE), que recebe contribuições dos rios batateiras e granjeiro. De modo semelhante, Nunes *et al*., (2019), relataram a presença de níveis elevados de CTT em amostras do rio Salgadinho, também em Juazeiro do Norte. Em ambos os estudos, a elevada carga microbiológica pode ser atribuída a deficiência do saneamento básico e pelo lançamento de efluente contendo material fecal nos corpos hídricos. Visto que, não foram identificadas contaminações em áreas de nascentes preservadas na região (Felix *et al.,* 2024).

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados. Esses valores foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) considerando os padrões de qualidade para águas doces classe II, uma vez que o rio granjeiro não possui enquadramento definido.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras da água do rio Granjeiro.

Parâmetros	Teste 1 (T1)	Teste 2 (T2)	Padrão de Referência CONAMA n° 357/05
Físico-químicos			
pH	6,68	7,1	6 à 9
Turbidez (UNT)	14,51	12,90	Até 100 UNT
Temperatura (°C)	22,2	27,70	-
OD (mg/L)	6,0	3,30	> 5 mg/L
Fósforo Total (mg/L P)	0,10	0,20	≤ 0,1 mg/L P
Amônia (mg/L N)	5,60	13,55	≤3,7 mg/L N pH ≤ 7,5
Nitrato (mg/L N)	0,07	0,17	≤ 10 mg/L N
Nitrito(mg/L N)	0,06	0,04	≤ 1,0 mg/L N
Microbiológicos			
CTT (NMP/100mL)	$2,4 \times 10^6$	$4,3 \times 10^6$	≤ 1.000 por 100 ml
E.Coli (NMP/100mL)	$>1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^8$	-
Klebsiella spp. (NMP/100mL)	$1,1 \times 10^6$	$4,6 \times 10^6$	-

Fonte: Elaboração própria (2025)

A entrada de efluentes pode ser ainda indicada pelos valores de amônia (5,6 e 13,55 mg/L N) que apresentam-se acima do padrão de referência estabelecido em norma em ambas as coletas (3,7mg/L N, pH ≤ 7,5), enquanto nitrito (T1=0,06 e T2=0,04 mg/L N) e nitrato (T1=0,07 e T2=0,17) estiveram dentro do esperado (≤ 1,0 e ≤ 10 mg/L N, respectivamente).

Von Sperling (2014) explica que a determinação da forma predominante de nitrogênio em cursos d'água pode fornecer indicações sobre o estágio de poluição, sendo a amônia a principal forma do nitrogênio em contaminações recentes enquanto a presença de nitrato indica

contaminações antigas. Neste trabalho, a predominância da amônia pode ser indicativa do aporte constante de efluentes no corpo hídrico, lançados majoritariamente na área urbana a montante, que posteriormente alcançam as áreas rurais.

Soma-se a isso, os valores de pH (T1=6,68 e T2=7,1), dentro do valor de referência (6 à 9), e temperatura (T1=22,2 e T2=27,7) têm importantes consequências ambientais, pois influenciam diretamente na forma de apresentação e distribuição da amônia. Edwards *et al.,* (2024) demonstra que os ciclos diários de temperatura e pH modificam a proporção entre amônia livre (NH_3) e amônia ionizada (NH_4^+) em sistemas aquáticos, o que reflete na disponibilidade relativa de NH_3. Na faixa usual de pH, próximo a neutralidade (pH <8), a amônia se apresenta praticamente na forma ionizada, menos tóxica especialmente para peixes, entretanto, em temperaturas mais elevadas, a sua proporção pode duplicar, tornando esse elemento mais disponível (Von Sperling, 2014).

Outro parâmetro importante para avaliação da qualidade da água é o oxigênio dissolvido que esteve abaixo do valor recomendado (> 5mg/L) no segundo teste, apresentando queda expressiva de 6,0 mg/L (teste 1) para 3,30 mg/L (teste 2). A disponibilidade desse parâmetro em corpos hídricos pode ser influenciada por diversos processos biogeoquímicos, como a nitrificação (conversão da amônia em nitrato) que demanda consumo de oxigênio (Fonseca; Tibiriçá, 2021). Processo este que pode ter ocorrido no segundo teste, onde foi observada maior concentração da fração de nitrato (0,17 mg/L N).

Ressalta-se, estudo realizado na Bacia do Rio Pará, em Minas Gerais, evidenciou uma correlação negativa entre os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio (N) e fósforo (P), indicando que concentrações reduzidas de OD estão frequentemente associadas a níveis mais elevados de N e P, especialmente em áreas modificadas, visto que o OD apresentou melhores resultados para as regiões com floresta plantada, vegetação nativa e cabeceira da bacia (Sousa, 2022). Retoma-se a tabela 1, onde o parâmetro de fósforo total, para este trabalho, também obteve aumento no segundo teste (0,20 mg/L P), corroborando com essa tendência.

Estudos têm relatado que o aporte de nutrientes advindos de carga orgânica de efluente domésticos podem contribuir para o aumento do crescimento relativo das radículas em testes de fitotoxicidade (Rodrigues *et al*., 2013; Guevara *et al*., 2019).

No presente estudo, a presença de frações nitrogenadas e fósforo, relatadas anteriormente para as duas coletas, podem ter contribuído para o estímulo no crescimento radicular para as sementes de couve em ambos os testes (T1, ICR=2,09 e T2, ICR=1,43) com

índice de germinação sem efeito significativo (T1, IG= 229,35 e T2, IG=153,24). Já as sementes de pepino, não obtiveram efeito significativo no crescimento das raízes (T1, ICR=0,88 e T2, ICR=0,85), embora o índice de germinação para o segundo teste possa ser apontado como moderadamente tóxico com IG<80% (T2, IG=77,49%). Conforme tabela 2.

Tabela 2. Fitotoxicidade com sementes de couve e pepino para amostras de água do rio granjeiro.

	Semente	***IG (%)***	***Classificação***	***ICR***	***Classificação***
Teste 1	Couve	229,35	Não fitotóxico	2,09	Estímulo do alongamento
	Pepino	83,53	Não fitotóxico	0,88	Sem efeito significativo
Teste 2	Couve	153,24	Não fitotóxico	1,43	Estímulo do alongamento
	Pepino	77,49	-	0,85	Sem efeito significativo

Fonte: Elaboração própria (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a análise de fitotoxicidade não indique toxicidade para as espécies de pepino (*Cucumis sativus*) e couve (*Brassica oleracea*), a não observância de parâmetros físico-químicos como amônia, OD e fósforo total a norma e elevadas concentrações de CTT, *E. coli* e *Klebsiella* spp. prejudicam significativamente a qualidade da água no rio granjeiro, que pode tornar essas águas impróprias para atividades preconizadas para águas doces de Classe II, como a irrigação de hortaliças e plantas frutíferas. Reduzindo recursos hídricos disponível para usos múltiplos, em áreas rurais, como consequência da carência de saneamento básico e aporte de efluente.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap). Ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS). Ao Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAM). Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPGMA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, and WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd ed. Washington, DC: APHA.

Bobato, D. S., R. P. Bisognin, D. Guerra, M. E. Lanzanova, D. Weiss, D. H. Maciel, T. Rossini,

and G. S. Bobato. 2023. "Avaliação do índice de qualidade da água superficial na zona rural e urbana de município no noroeste do Rio Grande do Sul." *Observatório de la Economía Latinoamericana* 21, no. 9: 11859–79. https://doi.org/10.55905/oelv21n9-073.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. *Resolução n. 357, de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

Edwards, T. M., H. J. Puglis, D. B. Kent, J. L. Durán, L. M. Bradshaw, and A. M. Farag. 2024. "Ammonia and aquatic ecosystems — a review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish." *Science of the Total Environment* 907: 167911. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1996. "Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test." *OPPTS 850.4200*, 6 p.

Felix, K. R. S., I. N. S. Alcântara, L. D. Martins, F. A. F. Simões, and Y. T. C. Santos. 2024. "Avaliação da qualidade microbiológica da Fonte Batateira em Crato, Ceará." In *Inovações Tecnológicas e o Uso de Ferramentas de Análise Ambiental*, 77–83. Amplla Editora. https://doi.org/10.51859/amplla.icts437-10.

Fonseca, W. C., and C. E. J. D. A. Tibiriçá. 2021. "Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 26, no. 1: 181–91. https://doi.org/10.1590/S1413-415220180157.

Guevara, M. D. F., A. G. D. Mello, É. K. Corrêa, H. A. S. Guedes, L. B. Corrêa, and M. T. Nazari. 2019. "Fitotoxicidade em águas residuárias domésticas utilizando sementes como bioindicadores." *Revista DAE* 67, no. 216: 44–51. https://doi.org/10.4322/dae.2019.014.

Konzen, I. S. 2023. "Avaliação da qualidade da água e influência do uso e ocupação do solo em microbacias do Lajeado Três Passos no noroeste do Rio Grande do Sul." Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Maria. http://repositorio.ufsm.br/handle/1/28062.

Macedo, L. H. C., M. L. Q. da Silva, J. H. da Silva, and F. R. de L. Caldas. 2020. "Sensibilidade a antibióticos e metais pesados em *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* isoladas de diferentes fontes de água do Cariri Cearense, Brasil." *Research, Society and Development* 9, no. 9: e404997327. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7327.

Nunes, L. M., M. D. F. G. Monteiro, D. L. de Sousa Júnior, P. E. A. de Aquino, C. R. N. Saraiva, M. K. D. N. S. Leandro, and L. M. G. Leandro. 2019. "Pesquisa de coliformes totais e termotolerantes no rio Salgadinho no município de Juazeiro do Norte, CE." *Revista Eletrônica Acervo Científico* 7: e2243. https://doi.org/10.25248/reac.e2243.2019.

Otsuka, A. A., D. Attili-Angelis, M. A. M. Morales, and D. F. Angelis. 2015. "Microorganismos também existem nas águas: por que precisamos conhecê-los." *Revista Conexão Águas*: 1–9.

Parron, L. M., D. H. F. Muniz, and C. M. Pereira. 2011. *Empresa Brasileira de Pesquisa*

Agropecuária — Embrapa Florestas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Florestas. www.cnpf.embrapa.br.

Pillai, D., S. G. Kalasseril, and R. Paul. 2022. "Genetic diversity and prevalence of extended spectrum beta-lactamase producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* in aquatic environment receiving untreated hospital effluents." *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1398021/v1.

Rodrigues, L. C. A., S. Barbosa, M. Pazin, B. D. S. Maselli, L. A. Beijo, and F. Kummrow. 2013. "Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17: 1099–1108. https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000012.

Silva, A. M. S., L. P. Figueirêdo, G. M. Araújo, and J. S. Aragão. 2024. "Phytotoxicity of domestic effluent before and after treatment by stabilization ponds." *Ecotoxicology and Environmental Contamination* 19, no. 1: 50–60. https://doi.org/10.5132/EEC.2024.01.06.

Silva, F. R. M., and D. C. do Nascimento. 2020. "Funções públicas de interesse comum e governança na Região Metropolitana do Cariri." *Redes: Revista do Desenvolvimento Regional* 25, no. 3: 1096–1122. https://doi.org/10.17058/redes.v25i3.15246.

Sousa, R. G. D., A. S. D. Freitas, A. S. D. Oliveira, and H. R. Silva. 2022. "Mapeamento da distribuição espacial da qualidade da água em função do uso e da ocupação do solo e da precipitação na Bacia do Rio Pará, MG." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 27, no. 4: 817–29. https://doi.org/10.1590/S1413-415220200369.

Souza, D. S., C. O. Rayanne, M. V. S. Araújo, F. S. Pedro Filho, M. J. Maria, and A. Madeira. 2017. "Estudo socioambiental na Amazônia Brasileira com foco na qualidade da água." *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales* 13, no. 1: 76–92. https://doi.org/10.5216/AG.V6I2.

Tiquia, S. M., and N. F. Y. Tam. 1998. "Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge." *Bioresource Technology* 65: 43–49. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00024-8.

Tiquia, S. M., N. F. Y. Tam, and I. J. Hodgkiss. 1996. "Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter." *Environmental Pollution* 93, no. 3: 249–56. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00052-8.

Vieira, J. L., I. C. D. Dantas, A. V. S. Oliveira, M. T. T. Rodríguez, F. G. R. Menezes, and K. V. Mendonça. 2024. "Toxicological risks assessment in the Jaguaribe River watershed (Ceará, Brazil) using anthropogenic contamination reports and ecotoxicological analysis." *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 96, no. 4: e20240226. https://doi.org/10.1590/0001-3765202420240226.

Von Sperling, M. 2014. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4th ed. Belo Horizonte: Editora UFMG.

Yamaguchi, M. U., L. R. Cortez, et al. 2013. "Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR." *O Mundo da Saúde* 37, no. 3: 312–20.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117084

GUARDIÃ DAS ÁGUAS: MONITORANDO A QUALIDADE DA ÁGUA DE UM TRECHO DO RIACHO DAS TIMBAÚBAS, JUAZEIRO DO NORTE-CE

GUARDIANA DE LAS AGUAS: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE UN TRAMO DEL ARROYO DE LAS TIMBAÚBAS, JUAZEIRO DO NORTE-CE

GUARDIAN OF THE WATERS: MONITORING THE WATER QUALITY OF A SECTION OF THE TIMBAÚBAS STREAM, JUAZEIRO DO NORTE-CE

Maria Aparecida Nascimento Silva[1], Ana Millene dos Santos Silva[2], Francisca Adriana Fernandes Simões[3] e Janisi Sales Aragão[4].

[1]Graduanda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, aparecidans255@gmail.com, 0009-0005-9005-8859;
[2]Mestranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, anasantosmillene@gmail.com, 0000-0003-2110-8056;
[3]Mestre, Técnica em laboratório, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, adriana.fernandes@ifce.edu.br, 0000-0003-2411-411X;
[4]Doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte/CE, Brasil, janisi.aragao@ifce.edu.br, 0000-0002-5756-5067.

Eixo Temático 12 – AGRICULTURA
Impactos do saneamento na qualidade do solo e da água

Eje Temático 12 – AGRICULTURA
Impactos del Saneamiento en la Calidad del Suelo y del Agua

RESUMO

Os rios e riachos urbanos, em seu estado natural, mantêm a biodiversidade por processos hidrológicos e geomorfológicos, mas sofrem degradação pela falta de saneamento. Em Juazeiro do Norte, o riacho das Timbaúbas, recebe esgoto e resíduos sólidos ao longo de seu percurso, acumulando e transportando contaminantes, que poderão impactar até às áreas rurais. Nesse contexto, testes de fitotoxicidade aliados a análises físico-químicas, são ferramentas eficazes para avaliar a qualidade de corpos hídricos. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade ambiental de um trecho do riacho das Timbaúbas em Juazeiro do Norte – Ceará, através de testes de toxicidade com sementes de couve e pepino, além de parâmetros físico-químicos. Para isso, amostras de água do riacho foram coletadas e analisados os parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, turbidez, nitrato, nitrito, amônia e fósforo. Já os testes de fitotoxicidade foram realizados seguindo a metodologia da EPA (1996) com adaptações. Como resultado foi observado que a temperatura, pH e turbidez, permaneceram dentro dos padrões estabelecidos pela resolução, enquanto nitrito, amônia e fósforo, variam de um mês para outro. Em relação aos testes com sementes, foram observados tanto inibição como estímulo do crescimento das radículas. Vale salientar que esta pesquisa terá continuidade, incorporando novos organismos testes, de modo a ampliar a compreensão dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Fitotoxicidade, Bioensaios, *Brassica oleracea, Cucumis sativus.*

RESÚMEN

Los ríos y arroyos urbanos, en su estado natural, mantienen la biodiversidad mediante procesos hidrológicos y geomorfológicos, pero sufren degradación por la falta de saneamiento. En Juazeiro do Norte, el arroyo Timbaúbas recibe aguas residuales y residuos sólidos a lo largo de su recorrido, acumulando y transportando contaminantes que pueden afectar incluso a las zonas rurales. En este contexto, las pruebas de fitotoxicidad, junto con los análisis físico-químicos, son herramientas eficaces para evaluar la calidad de las masas de agua. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad ambiental de un tramo del arroyo Timbaúbas en Juazeiro do Norte (Ceará), mediante pruebas de toxicidad con semillas de col y pepino, además de parámetros físico-químicos. Para ello, se recogieron muestras de agua del arroyo y se analizaron los parámetros físico-químicos: temperatura, pH, turbidez, nitrato, nitrito, amoníaco y fósforo. Las pruebas de fitotoxicidad se realizaron siguiendo la metodología de la EPA (1996) con algunas adaptaciones. Como resultado, se observó que la temperatura, el pH y la turbidez se mantuvieron dentro de los estándares establecidos por la resolución, mientras que el nitrito, el amoníaco y el fósforo variaron de un mes a otro. En relación con las pruebas con semillas, se observó tanto inhibición como estimulación del crecimiento de las radículas. Cabe destacar que esta investigación continuará, incorporando nuevos organismos de prueba, con el fin de ampliar la comprensión de los impactos ambientales.

Palabras clave: Fitotoxicidad, Bioensayos, *Brassica oleracea, Cucumis sativus*

ABSTRACT

Urban rivers and streams, in their natural state, maintain biodiversity through hydrological and geomorphological processes. However, these watercourses can suffer degradation due to inadequate sanitation. For instance, in Juazeiro do Norte, the Timbaúbas stream receives sewage and solid waste along its course, which accumulate and transport contaminants that can impact even rural areas. To address such impacts, phytotoxicity tests combined with physical-chemical analyses serve as effective tools for assessing water quality. In this context, the objective of this study was to evaluate the environmental quality of a section of the Timbaúbas stream in Juazeiro do Norte, Ceará, by conducting toxicity tests with kale and cucumber seeds alongside physical-chemical measurements. Specifically, water samples from the stream were collected and analyzed for temperature, pH, turbidity, nitrate, nitrite, ammonia, and phosphorus. In addition, phytotoxicity tests were conducted using adaptations of the EPA (1996) methodology. Regarding the results, temperature, pH, and turbidity remained within established standards, while nitrite, ammonia, and phosphorus levels varied on a monthly basis. In seed tests, both inhibition and stimulation of rootlet growth were observed. Notably, this research is ongoing and will include new test organisms to broaden the understanding of environmental impacts.

Keywords: Phytotoxicity, Bioassays, *Brassica oleracea, Cucumis sativus*

INTRODUÇÃO

Em seu estado natural, os rios formam um mosaico dinâmico de habitats que são constantemente moldados pelo fluxo e pelo movimento de sedimentos ao longo de seu curso,

contando com a interação entre o fluxo de água, a vegetação e os processos geomorfológicos para manter sua biodiversidade e estrutura (Gurnell, Lee, Souch 2007).

No entanto, fontes pontuais e difusas de poluição podem causar diversas alterações físicas, químicas e/ou biológicas no corpo d'água. Vários artigos na literatura, mostram, a desconfiguração desses rios, assim como dos riachos que alimentam esses rios, por obras de infraestrutura, supressão das matas ciliares, poluição e contaminação pela falta de saneamento básico. Tudo isso têm causado perda de qualidade e disponibilidade hídrica, resultando em consequências ambientais, sociais e econômicas (Chan-Keb *et al*. 2018; Gonçalves *et al*. 2021).

Em Juazeiro do Norte, local de desenvolvimento dessa pesquisa, um dos cursos d'água de maior relevância é o riacho das Timbaúbas, que em sua zona aluvial possui uma importante bateria de poços tubulares utilizados para abastecimento público de consumo humano, e vem sofrendo diversas interferências antrópicas.

Com a finalidade de proteger o lençol freático que compõe a bacia hidrográfica do Salgado e preservar as margens do riacho das Timbaúbas, foi criada a Unidade de Proteção Integral Parque das Timbaúbas (Arrais *et al*. 2014). Contudo, diariamente, este riacho recebe elevadas cargas de poluentes oriundos do lançamento de esgotos sanitários e descarte de resíduos sólidos em suas margens. Além disso, um agrave é a falta de saneamento. Segundo o Trata Brasil (2024), Juazeiro do Norte, conta com apenas 23,41% da população com serviços de esgotamento sanitário.

Em relação ao meio ambiente, a região do Cariri Cearense, onde Juazeiro do Norte está localizada, é uma região pertencente ao Geopark Araripe, o qual conecta a diversidade paleontológica, ambiental, histórica e cultural existente na região do Cariri. Além disso, a Chapada do Araripe situada nessa região, também abriga a Floresta Nacional do Araripe-Apodi, primeira unidade de conservação criada no Brasil (Ceará 2021).

No Brasil, a Resolução CONAMA 357/2005, classifica os corpos d'água em diferentes classes de uso, e apresenta as diretrizes ambientais para a qualidade dessas. Contudo, os principais parâmetros analisados são os físicos e químicos, trazendo apenas que, as possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados na resolução, deveriam ser investigadas através de ensaios ecotoxicológicos e toxicológicos.

Entretanto, segundo Brack *et al*. (2017), as avaliações de toxicidade utilizando bioensaios, combinadas com os resultados de análises físicas e químicas, deveriam ser consideradas na determinação da qualidade dos corpos d'água que recebem pressão antrópica.

Nessa perspectiva, os testes ecotoxicológicos complementam a metodologia tradicionalmente adotada através de padrões de emissão e de qualidade, para controle de poluição das águas, servindo de instrumento à melhor compreensão dos efeitos na biota. E assim, vários organismos podem ser utilizados, como as microalgas, microcrustáceos, peixes, além de sementes de vegetais superiores como cebola, alface, couve, dentre outros.

Em relação às sementes de vegetais superiores, essas são consideradas eficientes na avaliação e no monitoramento da toxicidade de poluentes a partir de estudos sobre fitotoxicidades. Para Peduto; Jesus e Kohatsu (2019), esses testes apresentam vantagens pela simplicidade, baixo custo e diferentes sensibilidades na indicação em ensaios de fitotoxicidade, para espécies variadas como: cebola, pepino, alface, mostarda e rúcula. Já Cotrim (2024), aponta a diversidade de parâmetros que podem ser utilizados, como, a taxa de germinação, ganho de biomassa, comprimento de raízes e análise de aspectos bioquímicos.

Dessa forma, os testes ecotoxicológicos, incluíndo os testes com sementes, são fundamentais para avaliar a qualidade da água e identificar potenciais riscos de contaminação. Rios e riachos que atravessam áreas urbanas transportam e acumulam poluentes, os quais podem atingir regiões rurais. Nessas localidades, o uso de água contaminada em atividades agrícolas e na criação de animais pode gerar impactos ambientais e sanitários relevantes para as comunidades. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade ambiental de um trecho do riacho das Timbaúbas, Juazeiro do Norte – Ceará, através de testes de fitotoxicidade com sementes de couve e pepino, além de parâmetros físico-químicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada em um trecho do riacho das Timbaúbas localizado na cidade de Juazeiro do Norte-Ce , com coordenadas geográficas 7°12′10″ S e 39°17′30″ W (Figura 1). As coletas foram realizadas nos meses de junho e agosto de 2025. A escolha desse trecho se deu pelo fato de ser uma área que, apesar de ser considerada urbana no zoneamento da cidade, apresenta características de zona rural, como a criação de animais, plantações e sítios. Ademais, de acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juazeiro do Norte (PDDU 2000), o ponto de amostragem está delimitado em uma Zona Especial (ZE), classificada oficialmente como ZE2 – Parque Ecológico das Timbaúbas, área considerada sensível e de interesse ambiental.

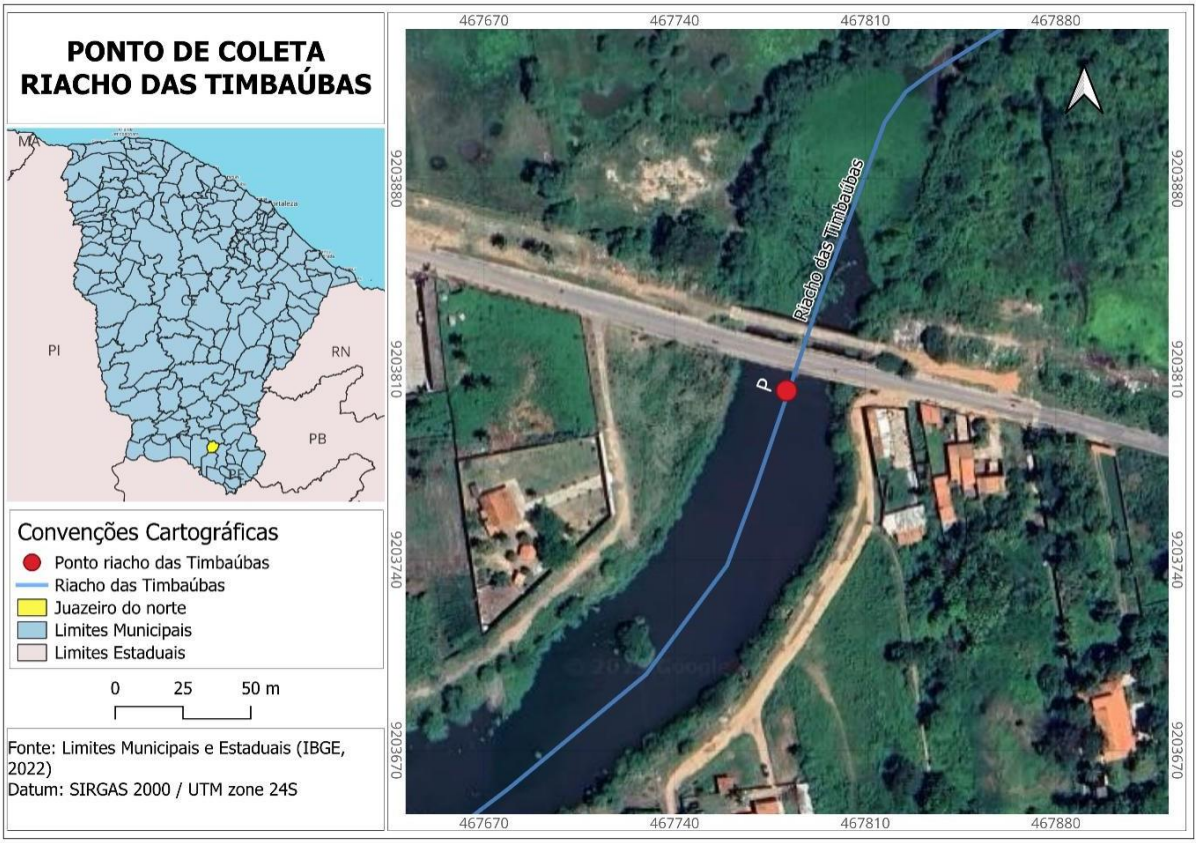


Figura 1. Localização do ponto de coleta no riacho das Timbaúbas em Juazeiro do Norte-CE.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Testes de Fitotoxicidade e Análises Físico-Químicas

As sementes de couve (*Brassica oleracea L.)* e pepino (*Cucumis sativus L.*) foram adquiridas em lojas especializadas, e sem tratamento com químicos. Os testes de fitotoxicidade da água do riacho estudado foram realizados de acordo a metodologia da EPA (1996), com adaptações. As sementes foram colocadas em água destilada por 30 minutos para acelerar a quebra de dormência. Placas de Petri forradas com papel filtro, receberam 4,0 mL da amostra e 10 sementes, em seguida embaladas com plástico filme e papel alumínio, e incubadas, em estufa, à 25ºC±2º por 120 horas. Para cada teste foram realizados três réplicas, perfazendo um total de 30 sementes por amostra. Como controle negativo foi utilizada água destilada. Após 120h, foi analisado a germinação e medido através de paquímetro digital o alongamento das radículas.

A taxa de germinação (%G) foi calculada através da equação:

$$\%G = (Sg/Sn)\times 100 \qquad (1)$$

Onde:
Sg = nº total de sementes germinadas
Sn = nº total de sementes

O Índice de Crescimento Relativo (ICR) (alongamento das radículas em mm), foi calculado através da equação (Tiquia; Tam, 1998):

$$ICR = CRa/CRc \quad (2)$$

Onde:
CRa = comprimento da radícula na amostra
CRc = comprimento da radícula no controle negativo

Para avaliar os efeitos da toxicidade os valores de ICR foram divididos em três categorias:

a) inibição da taxa de alongamento radicular: $0 < ICR < 0,8$

b) sem efeitos significativos: $0,8 \leq ICR \leq 1,2$

c) estimulação da taxa de alongamento: $> 1,2$ ICR

Para as análises físico-químicas temperatura, pH, turbidez, nitrato, nitrito, amônia e fósforo seguiu-se a metodologia estabelecida pelo Standard Methods (APHA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros físico-químico da água do riacho das Timbaúbas foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, considerando o enquadramento do corpo hídrico como Classe 2, visto que o riacho não possui classificação pré-definida. Os resultados apresentados na tabela 1 mostraram variações no período de coleta, indicando alterações na qualidade da água que auxiliam na interpretação dos efeitos fitotoxicológicos observados.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da água do riacho das Timbaúbas

Coleta	OD (mg/L)	Temp. (ºC)	pH	Turbidez (NTU)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Fósforo (mg/L)
Junho	5,1	23,6	6,90	28,05	0,088	0,280	10,696	0,096
agosto	4,6	30,0	6,50	95,60	1,520	1,512	0,140	0,121
Valores CONAMA 357/2005	Min. 5 mg/L (O_2)	Máx. 40 ºC	6 à 9	Máx. 100 NTU	Máx. 10 mg/L N	Máx. 1 mg/L N	Máx. 3,7 mg/L N (pH≤7,5)	0,1 mg/L P

Fonte: Elaboração própria (2025)

Os resultados demonstraram que a temperatura, o pH e a turbidez, permaneceram dentro dos limites legais. Contudo, o oxigênio dissolvido apresentou redução para 4,6 mg/L em agosto, valor inferior ao mínimo recomendado (5 mg/L), sugerindo baixa oxigenação e possível aumento da carga orgânica.

Os parâmetros nitrato, nitrito e amônia são importantes indicadores de poluição por

matéria orgânica e, em junho, nitrato e nitrito, apresentaram valores dentro dos limites

estabelecidos pela legislação, enquanto, a amônia excedeu em mais de 100% o limite de 3,7 mg/L (pH≤7,5), atingindo o valor expressivo de 10,92 mg/L. Vale ressaltar que altas concentrações de amônia são tóxicas para organismos aquáticos e podem indicar contaminação recente por efluentes domésticos ou pecuários.

Em agosto, o aumento expressivo de nitrito (1,512 mg/L) e fósforo (0,121 mg/L), associado à elevada turbidez (95,6 NTU), reforça a tendência à eutrofização, evidenciando contribuição antrópica e favorecendo o crescimento de macrófitas e algas, corroborando observações de cobertura vegetal intensa sobre o corpo d'água. Esses resultados sugerem impacto antrópico significativo, capaz de alterar as condições ambientais e influenciar a germinação e o crescimento vegetal, justificando os efeitos observados nos ensaios de fitotoxicidade.

Em relação aos testes de fitotoxicidade as sementes de pepino e couve apresentaram respostas distintas à exposição às amostras. Para o pepino, houve redução na germinação e no crescimento radicular nas amostras da água, principalmente em junho (de 83,33% para 73,33%) e ICR de 0,94 sem efeito significativo. Em agosto o ICR reduziu para 0,76 apresentando efeito inibitório. Já em couve, ocorreu o efeito oposto, com estímulo no crescimento radicular ICR de 1,28 e 1,33 em junho e agosto, respectivamente, sugerindo baixa toxicidade e possível efeito estimulante devido à presença de nutrientes na água, como observado na tabela 2.

Tabela 2. Taxa de germinação (G%) e Índice de Crescimento Radicular (ICR) das sementes expostas à água do riacho das Timbaúbas.

Semente	Teste	Amostra	G(%)	ICR	Efeito Fitotóxico
Pepino	Junho	CN	83,33	-	-
		A	73,33	0,94	Sem efeito significativo
	Agosto	CN	93,33	-	-
		A	86,67	0,76	Inibição do crescimento
Couve	Junho	CN	80,00	-	-
		A	73,33	1,28	Estimulação do crescimento
	Agosto	CN	80,00	-	-
		A	80,00	1,33	Estimulação do crescimento

Fonte: Elaboração própria (2025)

A fitotoxicidade é um fenômeno complexo que pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo a concentração e a natureza das substâncias presentes na amostra, a sensibilidade da espécie vegetal testada e as condições ambientais do ensaio (Peduto; Jesus e Kohatsu 2019).

A diferença na resposta entre pepino e couve observada no presente estudo, pode ser

explicada pela diferença nos limites de tolerância e mecanismos de resposta distintos a compostos químicos, o que pode levar a efeitos variados, desde a inibição até a estimulação do crescimento (Guevara et al. 2019).

Vários autores também concordam que o aumento da concentração de contaminantes pode gerar efeitos de estimulação ou inibição nas sementes (Alves 2015; Silva et al. 2024), isso devido, principalmente, à presença de nutrientes como nitrogênio e fósforo, substâncias comumente encontradas em efluentes (Oliveira 2021).

Vale ressaltar que, no mês de agosto, foi verificado aumento na concentração de nitrato e fósforo, o que pode ter causado estímulo do crescimento nas sementes de couve. Caso semelhante foi observado por Silva *et al* (2024), onde os autores observaram um estímulo no alongamento das radículas de sementes de couve, expostas a efluentes domésticos.

O equilíbrio entre nitrogênio e fósforo é fundamental para o desenvolvimento vegetal, uma vez que ambos atuam como macronutrientes essenciais. O nitrogênio participa diretamente na síntese de proteínas e clorofila, enquanto o fósforo está relacionado ao metabolismo energético e à formação de ácidos nucleicos (Clayton et al. 2024). Em ambientes aquáticos, o excesso desses nutrientes pode intensificar a eutrofização, promovendo o crescimento excessivo de algas e macrófitas, o que compromete o equilíbrio ecológico e a qualidade da água (Ogura et al. 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes de fitotoxicidade em amostras de água do riacho das Timbaúbas indicaram, em agosto, inibição do crescimento radicular no pepino e, nos demais casos, estímulos de crescimento, possivelmente indicativos de contaminação por matéria orgânica, conforme observado nas análises físico-químicas. A detecção de baixos níveis de oxigênio dissolvido e concentrações elevadas de amônia, nitrito e fósforo, excedendo os limites da CONAMA nº 357/2005, indica comprometimento da qualidade da água, classificando-a como inadequada para os usos previstos para corpos d'água doce de Classe II. Esses resultados destacam a importância do uso integrado de bioensaios e análises físico-químicas como ferramenta essencial para avaliar a qualidade da água.

Vale salientar que essa pesquisa terá continuidade com duração prevista para um ano com inclusão de novos pontos para monitoramento.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/MCTI/Mmulheres - Edital nº 31/2023 Meninas nas Ciências Exatas, Engenharias e Computação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, J. B. M. 2015. *Avaliação Ecotoxicológica da Água do Rio Siriri, Sergipe.* TCC (Graduação em Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe, Sergipe.

APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association; WEF – Water Environment Federation. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 22nd ed. Washington, D.C.

Arrais, A. M. A. C., C. T. F. Costa, E. R. N. Lopes, and M. R. Silva. 2014. "Preservação das Áreas Verdes Urbanas: Um Estudo sobre o Parque Ecológico das Timbaúbas." *Revista NAU Social* 5(8): 9–19. https://doi.org/10.14393/SN-v19-2007-9350

Brack, W., V. Dulio, M. Ågerstrand, I. Allan, R. Altenburger, M. Brinkmann, and B. Vrana. 2017. "Towards the Review of the European Union Water Framework Directive: Recommendations for More Efficient Assessment and Management of Chemical Contamination in European Surface Water Resources." *Science of the Total Environment* 576: 720–37. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.104.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005.

Ceará. 2021. "Geopark Araripe: A História da Vida na Terra Recontada no Ceará." https://www.ceara.gov.br/2021/11/16/geopark-araripe-a-historia-da-vida-na-terra-recontada-no-ceara/. Acessado em 20 agosto 2025.

Chan-Keb, C. A., C. M. Agraz-Hernández, R. A. Perez-Balan, M. I. Gómez-Solano, T. D. Maldonado-Montiel, B. Ake-Canche, and E. J. Gutiérrez-Alcántara. 2018. "Acute Toxicity of Water and Aqueous Extract of Soils from Champotón River in *Lactuca sativa* L." *Toxicology Reports* 5: 593–97. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.05.009.

Clayton, Jessica, Kathleen Lemanski, Marcel Dominik Solbach, Vicky M. Temperton, and Michael Bonkowski. 2024. "Two-way NxP fertilisation experiment on barley (Hordeum vulgare) reveals shift from additive to synergistic N-P interactions at critical phosphorus fertilisation level." *Frontiers in Plant Science 15:1346729.* https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1346729.

Cotrim, C. F. C. 2024. *Avaliação dos Efeitos Ecotoxicológicos de Pesticidas: Aplicação de Bioensaios e Estratégia de Mitigação.* Tese (Doutorado em Recursos Naturais do Cerrado) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO.

EPA – United States Environmental Protection Agency. 1996. *OPPTS 850.4200 Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test.* April, 6 p.

Google Earth. 2025. "Imagem de Satélite da Região de Juazeiro do Norte – CE."

https://earth.google.com/. Acessado em 24 setembro 2025.

Gonçalves, E. V., L. S. Frâncica, T. N. Tofolli, et al. 2021. "Water Quality of Rivers in the Eastern Region of Cianorte (Paraná, Brazil) Under Relevant Influence of Industrial and Agricultural Waste." *Research, Society and Development* 10(8): e27610817336. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17336

Guevara, M. D. F., A. G. Mello, É. K. Corrêa, H. A. S. Guedes, L. B. Corrêa, and M. T. Nazari. 2019. "Fitotoxicidade em Águas Residuárias Domésticas Utilizando Sementes como Bioindicadores." *Revista DAE* 216. https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2019.014

Gurnell, A., M. Lee, and C. Souch. 2007. "Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change." *Geography Compass* 1(5): 1118–37. https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00058.x.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. "Malha Municipal e Estadual." Rio de Janeiro: IBGE. https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html. Acessado em 24 setembro 2025.

Juazeiro do Norte (CE). 2000. *Lei nº 2.572, de 08 de setembro de 2000. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) de Juazeiro do Norte e dá outras providências.* Juazeiro do Norte: Prefeitura Municipal.

Ogura, A. P., T. J. Pinto, L. C. M. da Silva, et al. 2022. "Environmental Analysis of the Eutrophication and Spread of Aquatic Macrophytes in a Tropical Reservoir: A Case Study in Brazil." *Environmental Science and Pollution Research* 29: 89426–37. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22070-4.

Oliveira, D. C. D. S., P. G. F. D. Azevedo, and L. A. P. Cavalcanti. 2021. "Processos Biológicos para o Tratamento de Efluentes: Uma Revisão Integrativa." *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 8(18): 397–415. https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081826

Peduto, T. A. G., T. A. Jesus, and M. Y. Kohatsu. 2019. "Sensibilidade de Diferentes Sementes em Ensaio de Fitotoxicidade." *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação* 4(2): 200–12. https://doi.org/10.18554/rbcti.v4i2.3698.

Ranking do Saneamento. 2024. Instituto Trata Brasil. https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/.

Silva, A. M. S., L. P. Figueiredo, G. M. Araújo, and J. S. Aragão. 2024. "Phytotoxicity of Domestic Effluent Before and After Treatment by Stabilization Ponds." *Ecotoxicology and Environmental Contamination* 19(1): 50–60. https://doi.org/10.5132/eec.2024.01.06

Tiquia, S. M., and N. F. Y. Tam. 1998. "Elimination of Phytotoxicity during Co-Composting of Spent Pig-Manure Sawdust Litter and Pig Sludge." *Bioresource Technology* 65. 43–49. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00024-8.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117095

NUTRIBIOIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DA PISCICULTURA NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DA UVA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

NUTRIBIOIRRIGACIÓN CON EFFLUENTE DE LA PISCICULTURA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA UVA EN CONDICIONES SEMIÁRIDAS

BIO-FERTIGATION WITH FISH FARMING EFFLUENT IN GRAPE PRODUCTION AND QUALITY IN SEMIARID CONDITIONS

Maurício da Silva de Araújo[1], César Fernandes Aquino [2], Lívia de Souza Gomes Pereira[3] e Anderson Miranda de Souza[4].

[1]Engenheiro Agrônomo, UFOB, Barra-BA, Brasil, mauricio.a7413@ufob.edu.br, 0009-0009-7752-667X;
[2]Professor, UFOB, Barra-BA, Brasil, cesar.aquino@ufob.edu.br , 0000-0003-0725-011X;
[3]Estudante de Agronomia, UFOB, Barra-BA, Brasil, livia.p0502@ufob.edu.br, 0009-0005-2602-9578;
[4]Professor, Petrolina-PE, Brasil, anderson.souza@univasf.edu.br , 0000-0002-4736-0340.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura.

Eje Temático 12 – Agricultura
Reutilización de efluentes tratados en la agricultura.

Thematic Axis 12 – Agriculture
Reuse of treated effluents in agriculture.

RESUMO

A gestão correta dos recursos hídricos na agricultura é muito importante para produção sustentável de alimentos, notadamente em condições semiáridas que podem sofrer com a indisponibilidade de água nos períodos de seca. Neste contexto, a utilização de água residuária na agricultura surge como alternativa viável na produção sustentável de frutas, além de otimizar a renda do produtor. O objetivo foi avaliar o efeito da adubação convencional associada ou não a nutribioirrigação com efluente da piscicultura, na produção e qualidade da uva 'BRS Vitória', possibilitando o uso da nutribioirrigação como alternativa na nutrição de uvas finas de mesa em condições semiáridas. O experimento foi conduzido em um parreiral com três anos de plantio, na Universidade Federal do Oeste da Bahia, conduzido seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos, distribuídos da seguinte forma: T1 – Adubação convencional (AC); T2 – Adubação convencional + Nutribioirrigação (AC + NU) e T3 – Nutribioirrigação (NU), com 18 repetições, sendo uma planta por unidade amostral. Avaliou-se os seguintes parâmetros: número de cacho por plantas (NCP), número de bagas por cacho (NBC), circunferência de cacho (CC), comprimento de cacho (COC), massa fresca do cacho (MFC) comprimento de baga (CB), diâmetro de baga (DB), massa fresca da baga (MFB) sólidos solúveis (ºBRIX), pH (pH), acidez titulável (AT), relação de sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT). Verificou-se que os tratamentos não apresentaram diferença estatística nas variáveis analisadas, com diferença apenas na média de 62,33 cachos por planta no T3 que usou Nutribioirrigação + adubação convencional. O diâmetro de baga (DB) 16,0 mm da

nutribioirrigação apresentou melhor resultado agronômico, as demais análises foram estatisticamente iguais. Nas plantas que receberam nutribioirrigação as bagas foram mais ácidas, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Conclui-se que a nutribioirrigação associada ou não a adubação convencional mostrou-se eficiente na nutrição promovendo desempenho agronômico na produção e qualidade da uva 'BRS Vitoria'.

Palavras-chave: *Vitis vinifera*, Água Residuária, Viticultura, Nutrição

RESÚMEN

La gestión adecuada de los recursos hídricos en la agricultura es muy importante para la producción sostenible de alimentos, especialmente en condiciones semiáridas que pueden sufrir la falta de agua en períodos de sequía. En este contexto, el uso de aguas residuales en la agricultura surge como una alternativa viable para la producción sostenible de frutas, además de optimizar los ingresos del productor. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización convencional, asociada o no a la nutribioirrigación con efluentes de piscicultura, en la producción y calidad de la uva 'BRS Vitória', lo que permite el uso de la nutribioirrigación como alternativa en la nutrición de uvas finas de mesa en condiciones semiáridas. El experimento se llevó a cabo en un viñedo de tres años de antigüedad, en la Universidad Federal del Oeste de Bahía, siguiendo un diseño completamente aleatorio, con tres tratamientos, distribuidos de la siguiente manera: T1 – Fertilización convencional (AC); T2 – Fertilización convencional + Nutribiorriego (AC + NU) y T3 – Nutribiorriego (NU), con 18 repeticiones, siendo una planta por unidad de muestra. Se evaluaron los siguientes parámetros: número de racimos por planta (NCP), número de bayas por racimo (NBC), circunferencia del racimo (CC), longitud del racimo (COC), masa fresca del racimo (MFC), longitud de la baya (CB), diámetro de la baya (DB), masa fresca de la baya (MFB), sólidos solubles (ºBRIX), pH (pH), acidez titulable (AT), relación entre sólidos solubles y acidez titulable (SS/AT). Se comprobó que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas en las variables analizadas, con una diferencia solo en la media de 62,33 racimos por planta en el T3 que utilizó Nutribioirrigación + fertilización convencional. El diámetro de la baya (DB) de 16,0 mm de la nutribioirrigación presentó el mejor resultado agronómico, los demás análisis fueron estadísticamente iguales. Las plantas que recibieron nutribioirrigación y bagazo fueron más ácidas, difiriendo estadísticamente de los demás tratamientos.. Se concluye que la nutribioirrigación, asociada o no a la fertilización convencional, demostró ser eficaz en la nutrición, promoviendo el rendimiento agronómico en la producción y la calidad de la uva 'BRS Vitoria'.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, Aguas residuales, Viticultura, Nutrición

ABSTRACT

Proper management of water resources in agriculture is very important for sustainable food production, especially in semi-arid conditions that can suffer from water shortages during periods of drought. In this context, the use of wastewater in agriculture emerges as a viable alternative for sustainable fruit production, in addition to optimizing producer income. The objective was to evaluate the effect of conventional fertilization, associated or not with nutribioirrigation with fish farming effluent, on the production and quality of 'BRS Vitória'

grapes, enabling the use of nutribioirrigation as an alternative in the nutrition of fine table grapes in semi-arid conditions. The experiment was conducted in a three-year-old vineyard at the Federal University of Western Bahia, following a completely randomized design with three treatments distributed as follows: T1 – Conventional fertilization (AC); T2 – Conventional fertilization + Bio-fertigation (AC + BF) and T3 – Bio-fertigation (BF), with 18 replicates, one plant per sample unit. The following parameters were evaluated: number of clusters per plant (NCP), number of berries per cluster (NBC), cluster circumference (CC), cluster length (COC), fresh bunch weight (FBW), berry length (BL), berry diameter (BD), fresh berry weight (FBW), soluble solids (ºBRIX), pH (pH), titratable acidity (TA), and soluble solids to titratable acidity ratio (SS/TA). It was found that the treatments did not show statistical differences in the variables analyzed, with the only difference being in the average of 62.33 bunches per plant in T3, which used Nutribioirrigation + conventional fertilization. The berry diameter (BD) of 16.0 mm from nutribioirrigation showed the best agronomic result, while the other analyses were statistically equal. Plants that received nutribioirrigation and bagasse were more acidic, differing statistically from the other treatments. It was concluded that Nutribioirrigação, whether or not associated with conventional fertilization, proved to be efficient in nutrition, promoting agronomic performance in the production and quality of the 'BRS Vitoria' grape.

Keywords: *Vitis vinifera*, Wastewater, Viticulture, Nutrition

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro colocado na lista mundial dos principais países produtores de frutas (Carvalho; Beling, 2020), sendo um setor importante na geração de emprego e renda ao país. Em 2024 o país produziu cerca de 1,7 milhão de toneladas de uvas, usando uma área total de 82.902 ha, sendo 2,5% superior à produzida em 2023. Tendo como a produtora a Região Sul responde por 44,2% da produção nacional (IBGE, 2025)

Sabe-se que a agricultura irrigada consome elevado volume de água, necessitando de gestão correta e eficiente dos recursos hídricos, sobretudo nas regiões semiáridas que podem sofrer com a indisponibilidade de água nos períodos de seca (Baioni et al., 2017). Neste contexto, a utilização de água residuária da piscicultura na agricultura tem despertado grande interesse, desencadeando estudos sobre os seus benefícios e impactos gerados sobre as propriedades físicas e químicas do solo, a absorção de nutrientes pelas plantas ou sua toxidez (Kummer et al., 2012, Baioni et al., 2017). Dentre os beneficios, residem a conservação da água, possibilidade de aporte e ciclagem de nutrientes, reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos aplicados às plantas (Saraiva; Preto 2023), apresentando grande importância para uma agricultura sustentável e insumos agrícolas ecologicamente viáveis.

Nesse sentido, suge-se um novo conceito, a nutribioirrigação, que consiste na

biofertirrigação, por meio do reuso de água na agricultura, proporcionando não somente o fornecimento dos nutrientes para as plantas, mas sobretudo proporciona benefícios socioeconômicos e ambientais, através da redução da utilização de água de qualidade e insumos agrícolas como fertilizantes (Aquino et al., 2023; Saraiva; Preto 2023). Quando incorporado à viticultura nas condições de Barra-BA com os altos preços dos insumos, pode trazer diversos benefícios, pois poderá aumentar a produção de biomassa e a melhora da produtividade das culturas (Jang et al., 2012).

Na literatura científica estão disponíveis alguns trabalhos que demonstram resultados satisfatórios da nutribiorrigação como em cafeeiro (Medeiros et al., 2008); tomate cereja (Araújo et al., 2017), açaízeiro (Oliveira; Silva; Paixão 2025), maracujazeiro (Aquino et al., 2023). Com isso enxerga-se o potencial de produtividade, sustentabilidade para elevar a rentabilidade da cultura na região, que é bastante dependente de políticas públicas sociais. Para tanto, se faz necessário o desenvolvimento de experimentos que possa avaliar o comportamento agronômico da viticultura na região de Barra-BA e suas condições edafoclimáticas incorporando a nutribioirrigação.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da nutribioirrigação com efluente da piscicultura, na produção e qualidade de frutos da videira BRS Vitória, comparada ao sistema convencional de adubação, possibilitando o uso da nutribiorrigação como alternativa de destinação adequada do efluente da piscicultura no cultivo de uvas finas de mesa em Barra-BA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um parreiral com três anos de plantio, na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), em Barra-BA, em um Neossolo Quartzarênico. O clima da região é tipo BSh-semiárido quente, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger, com médias anuais de precipitação de 649 mm, umidade relativa de 67%, e temperatura de 25,7 °C.

O experimento foi conduzido seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos, distribuídos da seguinte forma: T1 – Adubação convencional (AC); T2 – Adubação convencional + Nutribioirrigação (AC + NU) e T3 – Nutribioirrigação (NU), com 18 repetições, sendo uma planta por unidade amostral. A adubação convencional foi realizada de acordo com as recomendações para a cultura da videira (Soares; Leão 2009).

A água para irrigação foi coletada em reservatório com capacidade de 30 m^3. Já a água residuária em tanque de piscicultura com capacidade para 15 m^3 com sistema de aeração intermitente, povoado com tilápia do Nilo com peso médio de 200 g, alocando-se aproximadamente 40 peixes m^3. Nos três tratamentos utilizou-se uma lâmina d'água conforme a exigência da cultivar "BRS Vitória" com uniformidade, calculada de acordo com as recomendações de Soares e Leão (2009). O parreiral foi irrigado com difusores, espaçados entre si com 1,2 m e vazão de 64 L h^{-1}.

Após o período de repouso de 60 dias, as plantas passaram por manejo pré-poda (10 dias antes da poda) que consistiu na intensificação de adubação e aplicação da nutribioirrigação e irrigação convencional com vistas ao amadurecimento de ramos e obtenção de reservas para a planta. No momento da poda, a mesma foi realizada na quinta gema do ramo maduro, deixando de 3 a 4 ramos por saída. Logo após, no mesmo dia, foi aplicado o regulador vegetal, cianamida hidrogenada (Dormex®) a 8% v/v para uniformizar as brotações nas plantas, onde surgiram as inflorescências. A aplicação do regulador foi realizada de forma manual, com auxílio de pincel e rolinho para pintura.

A avaliação da quantidade de cachos produzidos por planta foi realizada por meio da contagem direta de todos os cachos da planta, 10 dias antes da colheita dos mesmos. Após, os cachos foram colhidos quando apresentarem coloração adequada associada ao ºBrix aceitos pelo mercado consumidor (Leão et al., 2020). A colheita realizou-se manualmente e imediatamente os cachos foram levados ao laboratório para a análise dos mesmos.

Após, foram avaliadas as características relacionadas à produção e qualidade dos frutos, da seguinte forma: produção por planta, sendo os cachos acondicionados em contentores de colheita e aferida a massa em balança digital tarada; massa fresca média de cachos, sendo avaliados 10 cachos escolhidos aleatoriamente por planta em balança analítica, sendo os dados expressos em gramas; comprimento do cacho (cm), aferido do ápice do cacho até a outra extremidade e o diâmetro do cacho (cm), medido na parte central do cacho com fita flexível, ambos feitos 10 amostragens; quantidade de bagas por cacho; comprimento, diâmetro (mm) e massa fresca da baga; teor de sólidos solúveis SS (°Brix), sendo obtido com o emprego de uma gota de suco no refratômetro; acidez titulável-AT (% ácido tartárico) e relação SS/AT (Instituto Adolfo Lutz, 2008). O vigor das plantas foi mensurado pela massa média dos cachos, e obtido pela relação entre massa da produção total da planta e número de cachos por planta.

Os dados das variáveis experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no software Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o número de cacho por plantas, número de bagas por cacho, circunferência de cacho, comprimento de cacho e massa fresca do cacho (Tabela 1). As plantas que receberam o tratamento com adubação convencional + Nutribioirrigação (ACN) se destacaram das demais com maior média (62,33 cachos por planta), sendo em média 17 cachos por planta, a mais do que as plantas que receberam os demais tratamentos (Tabela 1). Leão et al. (2019) avaliando a iinfluência do porta enxerto na produtividade e características das uvas BRS Vitória no Vale do Submédio São Francisco, obtiveram média de 87,0 cachos por planta com a cultivar BRS Vitória e o mesmo porta enxerto.

Para o número de bagas por cacho, circunferência de cacho, comprimento de cacho, massa fresca do cacho as médias gerais foram 72,63 bagas por cacho; 19,13 cm; 15,74 cm e 173,20 g, respectivamente. Quando comparado com Leão e Lima (2016), no Vale do Submédio do São Francisco, os cachos apresentam valores médios de massa fresca de 220 g, e comprimento de 15,43 cm, que são equivalente a pesquisa em Barra com a nutribioirrigação.

Tabela 1 - Número de cacho por plantas (NCP), número de bagas por cacho (NBC), circunferência de cacho (CC), comprimento de cacho (COC), massa fresca do cacho (MFC), comprimento de baga (CB), diâmetro de baga (DB), obtidos de plantas da videira BRS Vitória submetidas a nutribioirrigação e adubação convencional nas condições edafoclimáticas de Barra-BA.

Tratamentos[(1)]	NCP	NBC	CC	COC	MFC	CB	DB
			….....cm...….....		….g….	.....mm.....	
AC	45,72b	68,61a	19,16a	15,38a	170,30a	20,95a	15,51a
AC + NU	62,33a	75,00a	19,51a	15,91a	182,50a	20,75a	15,86a
NU	49,50b	74,27a	18,72a	15,91a	166,80a	20,52a	16,00a
Média Geral	52,51	72,63	19,13	15,74	173,20	20,74	15,79
CV (%)	29,86	15,59	6,44	12,36	18,44	5,84	7,49

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). CV (%): coeficiente de variação. [(1)]AC, Adubação convencional; AC + NU, Adubação convencional + Nutribioirrigação; NU, Nutribioirrigação.

As plantas que receberam a nutribioirrigação apresentaram desempenho semelhante comparadas às que receberam a adubação convencional, pois efluente da piscicultura, apresenta composição variável de minerais presente na água como (N, Na, P, Ca, K, Mg, B, Cl, Fe e SO_4^{2-}). A água residuária é composta principalmente por partículas de matéria orgânica dissolvida e substâncias inorgânicas, e microrganismos que atuam na mineralização da matéria orgânica assim favorecendo a nutrição das plantas (Chen et al., 2013). Estudos apontam que aproximadamente 36% da ração ingerida pelos peixes são excretados, mas dessa porcentagem 75% são compostas por fósforo e nitrogênio que são liberados junto a água usada na piscicultura (efluentes), sendo esses dois minerais principais macronutrientes com formas de amônia e ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico (Araújo et al., 2017).

Verificou-se que para o comprimento de baga, diâmetro de baga e massa fresca da baga não houve diferença estatística entre os tratamentos aplicados (Tabela 1). As bagas apresentam tamanho mediano com comprimento de baga de 20,70 mm e formato globoso com diâmetro de baga de 15,79 mm, textura carnosa e coloração negra uniforme com massa fresca da baga 3,38 g. Leão e Lima (2016) encontraram, bagas com massa fresca média de 3,70 g, medindo 22,5 mm de comprimento e 16,8 mm de diâmetro. Com isso observa-se um desempenho favorável dentre os tratamentos demonstrando a eficiência da nutribioirrigação com média de 16,0 mm em diâmetro de baga. Pode-se observar a uniformidade da baga da 'BRS Vitória' em função da quantidade de nutrientes presentes na água residuária. Assim, verifica-se que a nutribioirrigação quando comparada às adubações convencionais, pode ser uma alternativa viável e que consegue proporcionar produção da videira, e reduzir os custos de produção, pois reduz o uso de insumos e adubos minerais além de usar métodos ecologicamente sustentáveis.

Na análise qualitativa de bagas observa-se resultados semelhantes nos diferentes tratamentos apresentando uma pequena diferença, onde o pH de bagas de plantas nutribioirrigadas produziram frutos com menor teor de acidez. Ademais, o teor de sólidos solúveis, variou de 19 °Brix a 22,5 °Brix e acidez titulável das bagas na faixa entre 0,6 g e 0,8 g de ácido tartárico/100 mL no momento da colheita (Tabela 2). Leão e Lima (2016) afirmam que a cultivar 'BRS Vitória' apresenta importante apelo comercial em mercados consumidores que preferem uma combinação mais característica entre os teores de açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos. Assim, observa-se que as videiras submetidas a nutribioirrigação nas condições edafoclimáticas de Barra apresentam um baixo teor °Brix e (SS/AT) podendo ser ocasionado pelo menor acúmulo de açúcares nas bagas.

Tabela 2 - Massa fresca da baga (MFB), teor de sólidos solúveis (ºBRIX), pH (pH), acidez titulável (AT), relação de sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT) de frutos produzidos de plantas da videira BRS Vitória submetidas a nutribioirrigação e adubação convencional nas condições edafoclimáticas de Barra-BA.

Tratamentos[(1)]	MFB	BRIX^{ns}	pH	AT^{ns}	SS/AT^{ns}
	...g...			.....%.....	
AC	3,40a	17,75a	4,23a	0,50a	36,44a
AC + NU	3,41a	18,58a	4,23a	0,51a	36,73a
NU	3,34a	17,69a	3,96b	0,50a	35,62a
Média Geral	3,38	18,00	4,14	0,50	36,26
CV(%)	15,15	6,33	3,88	13,17	16,52

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). CV (%): coeficiente de variação. [(1)]AC, Adubação convencional; AC + NU, Adubação convencional + Nutribioirrigação; NU, Nutribioirrigação.

Na fase final, açúcares são translocados das folhas para as bagas, enquanto os brotos e folhas novas apresentam uma inibição do seu desenvolvimento. Aumentando os teores de acido abscísico e etileno, coincidindo com o amadurecimento das bagas e o acúmulo máximo dos açúcares solúveis. Esta fase caracteriza-se também pelo aparecimento das xantofilas, e síntese das antocianinas e substâncias voláteis que também são produzidas, conferindo à fruta seu aroma característico (Assis et al., 2004).

Tendo em vista que a nutrição com água residuária da piscicultura atua em cada processamento fisiológico na planta, a necessidade da adubação com potássio para acelerar esse processo de síntese, pois o potássio atua para a formação de carboidratos das folhas papel fundamental na translocação desses assimilados para as diversas partes da planta atuando principalmente nos frutos, que demonstra uma relação com os teores de açúcares totais presentes na uva e o acúmulo de reservas nutricionais nas bagas, alterando características como cor e brilho das bagas, a formação, maturação dos sarmentos e frutos (Soares; Leão, 2009; Stefanelli et al., 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nutribioirrigação associada ou não a adubação convencional mostrou-se eficiente na nutrição promovendo desempenho agronômico na produção e qualidade da uva ‘BRS Vitória’.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino, C. F., Silva, C. R. Souza, A. M. de, et al. 2023. "Uso de água residuária da piscicultura no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo". *Recital* 5, 1: https://doi.org/10.46636/recital.v5i1.308.

Araujo, T. S.; Almeda, A. S.; araujo, F. S., et al. 2017. "Produção e qualidade de tomates cereja fertirrigados com água residuária da piscicultura". *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 12, no* 3: 392-396. 2017. http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS.

Assis, J. S., Lima Filho, J. M. P., Lima, M. A. C. 2004. Fisiologia da videira. Petrolina: Embrapa Semiárido. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/157816/1/OPB705.pdf

Baioni, J. C., Squassoni, G. H, Cultri, G. R. S. et al 2017. " Efluente de Piscicultura na Produção Consorciada ". *Nucleus Animalium* 9, no. 1: 10.3738/21751463.2809. https://nucleus.feituverava.com.br/index.php/animalium/article/view/2809/2537.

Carvalho, C. de and Beling, R. R. 2020. Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2020.*Gazeta Santa Cruz*. Santa Cruz do Sul: 96 p. http: //www.editoragazeta.com.br/sitewp/ wp content/uploads/2020/05/HORTIFRUTI_2020

Chen, W., Lopes, A. R., Vaz, M.I., et al. 2013. "Reclaimed water: A safe irrigation water source". *Environmental development* 8: 74-83.

IBGE. 2025. "Indicadores IBGE:Levantamento Sistemático da Produção Agrícola." IBGE. https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/42a86ef6d8cbdb0a25e13cdc830799e6.pdf.

Instituto Adolfo Lutz. 2008. "Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz". In Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 83-160 e 739-758, 4ª. ed., 1ª Ed. Digital, São Paulo: IAL.

Jang, T. I.; Kim, H. K., Seong, C. H, et al. 2012 "Assessing nutrient losses of reclaimed wastewater irrigation in paddy fields for sustainable agriculture". *Agricultural Water Management* 104: 235-243. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.022.

Kummer, C.B.; Silva, I.P.F.; Lobo, T.F.; Filho, H.G. 2012. " Qualidade da água residuária para irrigação do trigo". *Irriga*, Edição especial. https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/454/251.

Leão, P. C. D. S. and Lima, M. A. C. 2016. Uva de mesa sem semente "BRS Vitória" comportamento e qualidade dos frutos no Submédio do Vale do São Francisco. *Comunicado Técnico 168*, Petrolina: Embrapa Semiárido.

Leão, P. C. D. S., Nascimento, J. H. B. D., Moraes, D. S. D., and Souza, E. R. D. 2020. "Porta enxertos para a nova cultivar de uva de mesa sem sementes 'BRS Vitória' em condição

tropical semiárida do Vale do São Francisco". *Ciência e Agrotecnologia* 44: https://doi.org/10.1590/1413-7054202044025119

Leão, P. D. S., do Nascimento, J. H. B., de Moraes, and D. S., Souza, E. R. "Influência do porta enxerto na produtividade e características das uvas BRS Vitória no Vale do Submédio São Francisco". CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26., Juazeiro, BA/Petrolina, Embrapa Semiárido: UNIVASF: SBF, 2019.

Medeiros, S. D. S., Soares, A., Ferreira, P. A, et al. 2008. "Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12, no 2: 109-115. https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200001

Leão, P. D. S., do Nascimento, J. H. B., de Moraes, and D. S., Souza, E. R. "Influência do porta enxerto na produtividade e características das uvas BRS Vitória no Vale do Submédio São Francisco". CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26., Juazeiro, BA/Petrolina, Embrapa Semiárido: UNIVASF: SBF, 2019.

Oliveira, N. de J. F. de, Silva, R. C. R. da, and Paixão, D. J. Dd M. 2025 " so de efluentes da piscicultura na fertirrigação de mudas de açaizeiro em Castanhal (PA)". *Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana* 23, no 6: 10.55905/oelv23n6-177

Saraiva, V. S., and Preto, B. de L. 2023 " Uso de efluentes da piscicultura na agricultura irrigada". *Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana* 21, no 12: 1696-8352.

Soares, J. M. and Leão, P. C. S. 2009. A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. *Informação Tecnológica*, Petrolina: Embrapa Semiárido.

Stefanelli, L. E. P., Costa, R. N., Nascimento, D. A. do, et al. 208 " A importância da adubação potássica na cultura da uva" 7ª Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu, Botucatu- São Paulo: 2018. http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIJTC/VIIJTC/paper/viewFile/1520/1922.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117112

PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM UNIDADE DE PRODUÇÃO FAMILIAR

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO RIEGO CON EFLUENTES RESIDUALES DOMÉSTICOS TRATADOS EN UNA UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR

CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL IRRIGATED WITH DOMESTIC SEWAGE EFFLUENT TREATED IN A FAMILY PRODUCTION UNIT

Marcondes Ferreira Costa Filho[1], Rita De Cassia Braga Assuncao[2], Maria Alaide Dos Santos[3] e Nildo da Silva Dias[4].

[1]Eng. Agrônomo, UFERSA, Mossoró, RN, Brasil, marcondes1410@gmail.com , 0009-0006-6592-4265;
[2] Graduanda em C&T, UFERSA, Angicos, RN, Brasil, rita.assuncao@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0000-7907-3277
[3] Graduanda em C&T, UFERSA,Angicos, RN, Brasil, maria.santos62469@alunos.ufersa.edu.br, 0009-0009-6354-2839;
[4]Prof. Doutor, UFERSA, Mossoró, RN, Brasil, nildo@ufersa.edu.br, 0000-0002-1276-5444.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura.

Eje Temático 12 – Agricultura
Reutilización de efluentes tratados en la agricultura.

Thematic Axis 12 – Agriculture
Reuse of treated effluents in agriculture.

RESUMO

O uso de águas residuais surge como uma solução promissora, alivia a pressão sobre as fontes hídricas e contribui para o saneamento ambiental, especialmente para agricultores familiares. Deste modo, objetivou-se analisar os impactos sobre as propriedades físico-químicas do solo sob uso de águas residuárias de efluentes domésticos tratados na unidade familiar do PA do assentamento Maurício de Oliveira, município de Assú, Rio Grande do Norte. Foram realizadas três campanha de coleta de amostras compostas deformadas de solo irrigados com efluente de esgoto doméstico, nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 cm para a caracterização físico-químicas do solo que incluíram a determinação do pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), fósforo (P), carbono orgânico total (COT), matéria orgânica do solo (MOS) e nitrogênio (N). Os dados médios foram submetidos a estatística multivariada por meio da à Análise Fatorial (AF) e Análise de Componentes Principais (ACP). O pH apresentou correlação negativa com a condutividade elétrica (CE), matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), potássio (K^{+}) e sódio (Na^{+}), enquanto mostrou correlação positiva com o nitrogênio (N). A análise fatorial agrupou 10 variáveis químicas em três fatores, sendo F1: cálcio (Ca^{2+} e Mg^{2+}); F2: (CE e K^{+}) F3: (P e Na^{+}). O uso de efluente de água residuária tratada como fonte hídrica para a irrigação da unidade de produção familiar melhorou a fertilidade do solo, fornecendo água e nutrientes essenciais para as plantas.

Palavras-chave: Gestão hídrica, Reuso de água, Sustentabilidade, Agricultura familiar

RESÚMEN

l uso de aguas residuales surge como una solución prometedora, aliviando la presión sobre las fuentes de agua y contribuyendo al saneamiento ambiental, especialmente para los agricultores familiares. Por lo tanto, el objetivo fue analizar los impactos en las propiedades fisicoquímicas del suelo bajo el uso de aguas residuales de efluentes domésticos tratados en la unidad familiar del AP del asentamiento Maurício de Oliveira, municipio de Assú, Rio Grande do Norte. Se realizaron tres campañas para recolectar muestras compuestas perturbadas de suelo irrigado con efluentes de aguas residuales domésticas, en las capas de 0,00-0,20 y 0,20-0,40 cm. Para la caracterización fisicoquímica del suelo, que incluyó la determinación de pH (potencial de hidrógeno), conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}), potasio (K^{+}), fósforo (P), carbono orgánico total (COT), materia orgánica del suelo (MOS) y nitrógeno (N). Los datos medios se sometieron a estadísticas multivariadas mediante Análisis Factorial (AF) y Análisis de Componentes Principales (ACP). El pH mostró una correlación negativa con la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica del suelo (MOS), el carbono orgánico total (COT), el potasio (K^{+}) y el sodio (Na^{+}), mientras que mostró una correlación positiva con el nitrógeno (N). El análisis factorial agrupó 10 variables químicas en tres factores: F1: calcio (Ca^{2+} y Mg^{2+}); F2: (CE y K^{+}); y F3: (P y Na^{+}). El uso de efluentes de aguas residuales tratadas como fuente de agua para el riego de la unidad de producción familiar mejoró la fertilidad del suelo, proporcionando agua y nutrientes esenciales para las plantas.

Palabras clave: Gestión del agua, Reutilización del agua, Sostenibilidad, Agricultura familiar

ABSTRACT

The use of wastewater appears to be a promising solution, relieving pressure on water sources and contributing to environmental sanitation, especially for family farmers. Therefore, the objective was to analyze the impacts on the physical and chemical properties of soil when using wastewater from domestic effluents treated in the family unit of the PA of the Maurício de Oliveira settlement, municipality of Assú, Rio Grande do Norte. Three campaigns were carried out to collect deformed composite samples of soil irrigated with domestic sewage effluent, in the 0.00-0.20 and 0.20-0.40 cm layers for the physicochemical characterization of the soil, which included the determination of pH (hydrogen potential), electrical conductivity (EC), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^{+}), potassium (K^{+}), phosphorus (P), total organic carbon (TOC), soil organic matter (SOM) and nitrogen (N). The average data were subjected to multivariate statistics through Factor Analysis (FA) and Principal Component Analysis (PCA). pH showed a negative correlation with electrical conductivity (EC), soil organic matter (SOM), total organic carbon (TOC), potassium (K^{+}) and sodium (Na^{+}), while showing a positive correlation with nitrogen (N). Factor analysis grouped 10 chemical variables into three factors: F1: calcium (Ca^{2+} and Mg^{2+}); F2: (EC and K^{+}); and F3: (P and Na^{+}). The use of treated wastewater effluent as a water source for irrigation of the family production unit improved soil fertility, providing water and essential nutrients for plants.

Keywords: Water management, Water reuse, Sustainability, Family farming

INTRODUÇÃO

A redução dos recursos hídricos é uma realidade recorrente no semiárido brasileiro, sendo acentuada pela má gestão, inadequada distribuição da população em relação à disponibilidade hídrica e pelas mudanças climáticas globais, que agravam gradualmente os períodos de seca ao longo dos anos (SOUZA, ARTIGAS & LIMA, 2015).

A ágestão eficiente da água na agricultura torna-se indispensável para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Nesse contexto, a relação direta entre o aumento da produção de alimentos e a maior demanda por recursos hídricos coloca o tema como uma questão prioritária em regiões tropicais. Por isso, é essencial buscar soluções sustentáveis para assegurar tanto a segurança hídrica quanto a alimentar (Chekli et al., 2017).

Uma provável alternativa é o uso controlado de águas residuais na irrigação, que surge como uma proposta eficaz para aliviar a pressão sobre os mananciais e garantir água de melhor qualidade para consumo humano e dessedentação animal. Essa prática, inserida no âmbito da gestão hídrica, contribui para o saneamento ambiental, ao mesmo tempo em que permite a aplicação de efluentes tratados na agricultura, reduzindo a poluição e promovendo a reciclagem de nutrientes (MENDES et al., 2016).

A reutilização de água é um aspecto essencial na gestão hídrica de áreas com recursos escassos, especialmente em zonas semiáridas. Nessas localidades, a limitação de água tem se tornado um obstáculo significativo para o desenvolvimento de setores como o industrial, urbano e, principalmente, o agrícola (Souza, 2019). Entre as opções de reuso, destaca-se a água cinza, frequentemente destinada a usos menos exigentes, como a irrigação agrícola. Esse tipo de água é caracterizado por sua baixa carga orgânica, o que possibilita seu aproveitamento em aplicações não potáveis com a utilização de tratamentos simplificados (Manfrin et al., 2019).

Com base nas potencialidades e limitações do reuso de efluente tratado na irrigação, este trabalho tem como objetivo, analisar os impactos do uso de efluente de esgoto doméstico na qualidade e nas propriedades químicas do solo, bem como, avaliar sua viabilidade e sustentabilidade para famílias rurais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma unidade familiar localizada na comunidade rural PA Maurício de Oliveira (5°36'02.2"S 37°00'53.9"W), situada no município de Assú, mesorregião

Oeste Potiguar, no Rio Grande do Norte. O solo da área estudada é classificado como latossolo. Para a avaliação, foram selecionados pontos de coleta em áreas irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado, onde predominam cultivos de frutíferas, como bananeira (*Musa spp*.), coqueiro (*Cocos nucifera*) e graviola (*Annona muricata*) (Figura 1 A e B). De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger, a região apresenta clima do tipo BSh, caracterizado por temperatura média anual de 27,7 °C e precipitação anual em torno de 646 mm.

As campanhas de coleta foram realizadas ao longo de seis meses, com a primeira ocorrendo em fevereiro, a segunda em maio e a última em agosto, ambas no ano de 2024. Foram coletadas três amostras compostas deformadas, por coleta, nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 cm com o auxílio de um trado e identificadas em sacos plásticos em seguida destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina ao ar (TFSA), com posterior determinação de análises químicas. As análises químicas do solo foram conduzidas de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Para a determinação do carbono orgânico total (COT), utilizou-se o método da oxidação úmida com dicromato de potássio em meio ácido, seguido da adição de ácido ortofosfórico e indicador fenilamina. A quantificação foi realizada por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,05 M. A determinação do nitrogênio (N) foi realizada conforme o método de Kjeldahl.

O efluente de esgoto doméstico tratado, utilizado na irrigação apresentou condutividade elétrica média de 0,53 a 0,11 dS m^{-1}, variando conforme a origem, indicando baixa a moderada salinidade e baixo teor de sódio. A dureza variou entre 75 e 150 mg L^{-1}, sendo considerada moderada, com predominância de íons cálcio e magnésio.

Tabela 1. Valores médios da análise química do efluente tratado utilizado na unidade familiar.

ÁGUA	pH	CE	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	RAS	Dureza
	(água)	dS/m	"---------- mmol$_c$/L ----------"								mg/L
CI	7,22	0,53	0,27	0,78	0,65	0,94	1,0	-	1,28	0,9	79,5
CII	6,50	0,11	1,07	4,41	0,35	0,50	3,0	-	4,93	6,8	42,5
CIII	6,71	0,20	0,76	4,08	1,25	1,43	2,8	-	4,36	3,5	134

Nota: CI: Campanha I; CII: Campanha II; CIII: Campanha III; pH H_2O: Potencial de hidrogênio; CE: Condutividade elétrica; K^+: Potássio; Na^+: Sódio; Ca^{2+}: Cálcio; Mg^{2+}: Magnésio; Cl^-: Cloro; CO_3^{2-}: Carbonato; HCO_3^-: Bicarbonato; RAS: Razão de Adsorção de Sódio; Dureza: Concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} expressa em mg/L de carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

Os dados médios foram analisados utilizando técnicas de análise multivariada, permitindo a identificação dos atributos mais sensíveis à irrigação com efluentes de esgoto

doméstico tratadas. Inicialmente, aplicou-se a correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para determinar as correlações mínimas relevantes para inclusão na matriz de dados. Posteriormente, os dados foram padronizados com base na matriz de correlação e submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF), utilizando o software Statistica 7.0 (Statsoft, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) (Tabela 2) revelou correlações significativas entre os atributos químicos do solo. De modo geral, o pH apresentou correlação negativa com a condutividade elétrica (CE), matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), potássio (K^+) e sódio (Na^+), indicando que solos mais ácidos tendem a apresentar maiores respostas dessas variáveis. Esse resultado evidencia a influência do pH na disponibilidade de nutrientes e na qualidade do solo. Na área CI, o solo mais ácido apresenta maior condutividade elétrica (0,17 dS m^{-1}), enquanto na CII, o pH mais alcalino na camada de 0 a 20 cm está associado a uma menor CE (0,03 dS m^{-1}), impactando a disponibilidade de nutrientes. Segundo Kaseker et al. (2022), o aumento do pH afeta diretamente a distribuição do potássio entre suas diferentes formas no solo. Por outro lado, verificou-se uma correlação positiva entre o pH e o nitrogênio (N), sugerindo que solos menos ácidos favorecem a disponibilidade desse elemento. Essa relação reforça o papel do pH nos processos biogeoquímicos.

Tabela 2. Matriz de correlação dos atributos químicos.

	pH	CE	MOS	COT	P	K	Ca	Mg	Na	N
pH	1,00									
CE	-0,68	1,00								
MOS	-0,66	0,51	1,00							
COT	-0,66	0,51	1,00	1,00						
P	0,54	-0,12	-0,64	-0,64	1,00					
K	-0,66	0,96	0,39	0,39	-0,03	1,00				
Ca	-0,08	0,25	-0,56	-0,56	0,55	0,29	1,00			
Mg	-0,05	-0,18	-0,38	-0,38	0,55	-0,15	0,66	1,00		
Na	-0,70	0,00	0,56	0,56	-0,77	-0,06	-0,26	0,09	1,00	
N	0,67	-0,62	-0,90	-0,90	0,40	-0,60	0,47	0,32	-0,37	1,00

Nota: pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; MOS – Matéria orgânica do solo; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K^+ – Potássio; Na^+ – Sódio; Ca^{2+} – Cálcio; Mg^{2+} – Magnésio; N – Nitrogênio.

A matéria orgânica do solo (MOS) e o carbono orgânico total (COT) apresentaram correlação negativa com o fósforo (P) e o nitrogênio (N), sugerindo que maiores teores de

matéria orgânica podem reduzir a disponibilidade desses elementos. Abdala et al. (2012) associam essa correlação inversa entre matéria orgânica e fósforo à competição entre ácidos orgânicos e fosfatos pelos sítios de adsorção nos coloides do solo. Considerando que a adubação utilizada na unidade familiar é à base de esterco curtido, isso também pode influenciar a disponibilidade de nitrogênio, que se encontra predominantemente na forma orgânica, tornando-se indisponível para absorção imediata pelas plantas.

A correlação negativa entre fósforo (P) e sódio (Na^+), assim como entre potássio (K^+) e nitrogênio (N), pode ser explicada pela competição desses íons nos processos de absorção e adsorção no solo. Conforme observado nas tabelas, a água de irrigação das classes CII e CIII apresenta altas concentrações de Na^+ e K^+ (Tabela 3), favorecendo a competição por sítios de adsorção no solo e nas raízes das plantas, reduzindo a disponibilidade de P e N.

Tabela 3. Atributos químicos dos solos da área estudada do PA Maurício de Oliveira.

SOLO	pH	CE	MOS	COT	P	K	Na	Ca	Mg	N
		dS/m	g/kg	g/kg	------mg/dm^3------			---cmol$_c$/dm^3---		g/kg
CI 0-20	5,47	0,17	23,07	39,77	15,36	91,04	27,36	1,81	0,53	0,20
CI 20-40	5,71	0,08	34,05	58,71	5,85	39,08	52,97	0,83	0,65	0,14
CII 0-20	7,73	0,03	12,52	21,58	29,97	31,00	9,44	1,21	0,71	0,42
CII 20-40	7,39	0,05	15,81	27,25	10,03	28,00	22,51	1,13	0,23	0,56
CIII 0-20	6,81	0,09	11,67	20,12	28,23	44,00	20,50	2,44	1,08	0,59
CIII 20-40	6,49	0,01	8,49	14,63	15,23	23,00	42,63	1,82	0,95	0,62

Nota: CI, CII e CIII referem-se às campanhas 1, 2 e 3, respectivamente. As profundidades 0-20 cm e 20-40 cm indicam as camadas do solo em que foram realizadas as coletas. pH – Potencial hidrogeniônico em água (1;2,5); CE – Condutividade elétrica; MOS – Matéria orgânica do solo; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Na – Sódio; N – Nitrogênio.

Os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) apresentaram correlação positiva, evidenciando a interação entre esses cátions na solução do solo. Esses elementos, presentes na água de irrigação, influenciam diretamente a nutrição mineral das plantas por meio de sua dinâmica de adsorção e troca no solo. De acordo com Mateo-Sagasta (2017), além de ser uma fonte adicional de água para irrigação, a água de reuso contribui para o aumento desses macronutrientes essenciais, favorecendo o desenvolvimento das plantas. Esse equilíbrio entre cálcio e magnésio, portanto, pode resultar em um incremento significativo na produção agrícola.

A análise de componentes principais representadas pelo círculo de correlação e nuvens de variáveis com formação de dois eixos explicam 76,71% dos resultados obtidos, discriminando os atributos químicos do solo e as frações em que essas relações ocorreram (Figura 1 A e B).O carbono orgânico total (COT), a matéria orgânica do solo (MOS) e o sódio (Na) se discriminaram principalmente na fração de 20-40 cm durante a primeira campanha (Figura 1 A e B). A irrigação com efluentes de esgoto doméstico pode levar ao aumento da matéria orgânica do solo (MOS) e do carbono orgânico total (COT) em diferentes camadas do solo. De acordo com Adejumobi et al. (2014), esse acréscimo é benéfico para a fertilidade do solo, podendo contribuir para a melhoria da estabilidade dos agregados, o aumento da retenção de água e a disponibilização de nitrogênio na forma de amônio, um nutriente essencial para as plantas. A água de irrigação (efluente tratado) da II e III coleta, apresenta teores mais elevados de sódio (4,41 e 4,08 mmolc L^{-1}, respectivamente). Tal condição contribui para maiores acúmulos no solo, principalmente na camada mais profunda (20-40 cm). Isso sugere que parte do sódio presente na água de irrigação está se acumulando ao longo do tempo, podendo afetar a estrutura do solo e sua capacidade de retenção de água (SCHOSSLER et al., 2012).

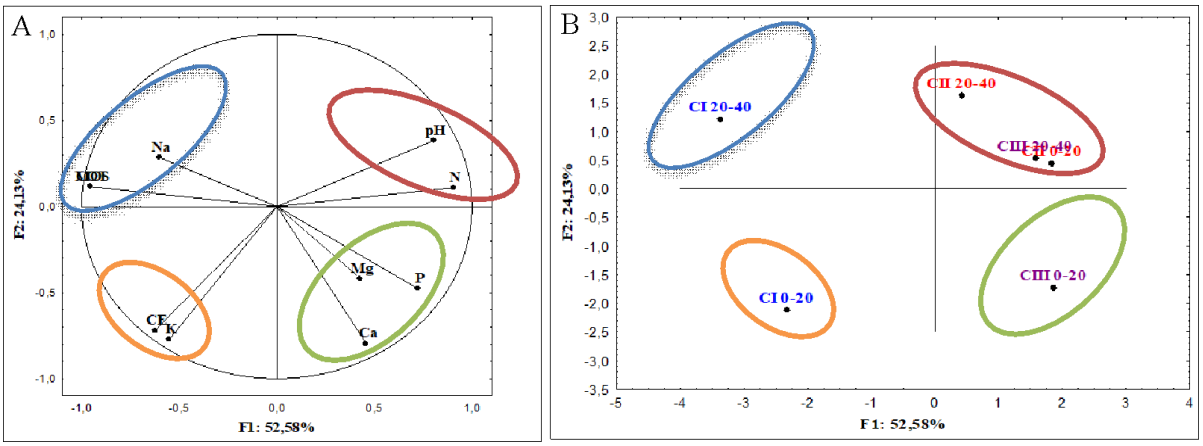


Figura 4. Distribuição dos atributos químicos, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 2 (B).

A condutividade elétrica e o potássio foram discriminantes na camada superficial (0-20cm) na primeira coleta. Apesar da variação observada na tabela 1, quanto à qualidade da água de irrigação, há uma indicação de proporcionalidade com a condutividade elétrica (CE) do solo, mantendo-se dentro de uma faixa segura, sem risco imediato de salinização. Ao limitar a análise à fração de 0-20 cm em CI (Tabela 3), observamos uma concentração de potássio no solo significativamente alta (91,04 mg/dm³), o que indica boa disponibilidade desse nutriente

para as plantas. Além disso, a concentração de potássio na água é de 0,27 mmol/L (Tabela 1), sugere que o potássio no solo de CI é retido de forma eficiente, com poucas perdas para a água. Já para o potencial hidrogeniônico (pH) e o nitrogênio (N), esses, apresentaram discriminação em ambas as frações do solo na segunda campanha e na camada de 20-40 cm na terceira campanha. (Tabela 3).

A discriminação do pH e do nitrogênio observada nas frações de 0-20 cm e 20-40 cm, especialmente nas campanhas de CII e CIII, pode indicar que os solos com pH mais elevado (como em CII) têm maior concentração de nitrogênio disponível. Resultados semelhantes foram observados por De Amorim et al. (2021), que relataram que um pH de 7,5 não interferiu no processo de nitrificação, essencial para a disponibilização do nitrogênio em uma forma assimilável, no solo. Já na fração de 0-20 cm, durante a terceira campanha, cálcio, magnésio e fósforo foram os principais elementos discriminados, possivelmente influenciados pela composição química da água de irrigação.

Em CIII, onde as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} na água são mais elevadas, houve maior acúmulo desses elementos no solo, enquanto em CII, a menor concentração de cátions na água pode ter favorecido a disponibilidade de fósforo. A distribuição diferenciada dos nutrientes nas camadas do solo sugere baixa mobilidade e possível efeito da irrigação na retenção desses elementos na superfície. Para Araújo (2019) e Handam (2021) o uso de águas cinzas na agricultura traz benefícios tanto pela disponibilidade hídrica quanto pelo aporte de nutrientes essenciais às culturas, contribuindo ainda para a melhoria da fertilidade e das propriedades químicas do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de efluente de água residuária tratada como fonte hídrica para a irrigação da unidade de produção familiar melhorou a fertilidade do solo, fornecendo água e nutrientes essenciais para as plantas.

Apesar das variações nos atributos físico-químicos do solo, os valores de condutividade elétrica se mantiveram dentro de uma faixa segura, sem riscos de salinização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEJUMOBI, M. A.; OJEDIRAN, J.O.; OLABIYI, O. O. Effects of irrigation practices on some soil chemical properties on OMI irrigation scheme. International Journal of Engineering Research and Application, v. 4, n. 10, p. 29–35, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.047. Acesso em: 07 de fev. 2025.

ARAÚJO, Rafael Olímpio Ferreira. Produção e eficiência econômica da palma forrageira gigante irrigada com água residuária e da chuva no semiárido brasileiro. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Irrigação e Drenagem) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Serrinha, 2019.

CHEKLI, L. et al. Evaluation of fertilizer-drawn forward osmosis for sustainable agriculture and water reuse in arid regions. Journal of Environmental Management, v. 187, 1º fev. 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308970. Acesso em: 12 jan. 2025.

HANDAM, N. B. Qualidade sanitária da água de reúso como destino sustentável para a agricultura. Tese (Doutorado em Ciências. Gestão e Saneamento ambiental). Orientador: Adriana Sotero Martins. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro/RJ, 2021. 179 p. Acesso em: 17 jan. 2025

MANFRIN, Jéssica et al. Remediação de água cinza por meio de fitorremediação e tecnologias intermitentes de filtro de areia visando o reuso na irrigação de jardins. Acta Iguazu, v. 8, n. 2, p. 59-68, 2019.

MATEO-SAGASTA, J. Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe: estado, principios y necesidades. Organização de las Naciones Unidas para a Alimentación y la Agricultura (FAO), 2017.

MENDES, P. E. F.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Efluente tratado na agricultura: aspectos agronômicos e sanitários no cultivo do rabanete. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.10, p.428-438, 2016.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R. de.; PIAULINO, A. C. Salinidade: Efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1563-1578, 2012.

SOUSA NETO, Pedro José de. Direito de águas: salvaguarda jurídica e medidas assecuratórias de acesso à água potável. 2019.

Dror, Amiel A., Nicole Morozov, Amani Daoud, et al. 2022. “Pre-Infection 25-Hydroxyvitamin D3 Levels and Association with Severity of COVID-19 Illness.” *PLOS ONE* 17 (2): e0263069. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263069.

Khoramishad, H., O. Alizadeh, e L. F. M. da Silva. 2018. "Effect of multi-walled carbon

nanotubes and silicon carbide nanoparticles on the deleterious influence of water absorption in adhesively bonded joints". *Journal of Adhesion Science and Technology* 32, no. 16 (august): 1795-808. https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1447295.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117145

REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTE AQUÍCOLA: VIABILIDADE E RISCOS DE SALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

REUTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE EFFLUENTES ACUÍCOLAS: VIABILIDAD Y RIESGOS DE SALINIZACIÓN EN LA REGIÓN SEMIÁRIDO DE POTIGUAR

AGRICULTURAL REUSE OF AQUACULTURE EFFLUENT: FEASIBILITY AND RISKS OF SALINIZATION IN THE SEMI-ARID REGION OF POTIGUAR

Tereza Amélia Lopes Cizenando Guedes Rocha[1], Silvanete Severino da Silva[2], Rafael Oliveira Batista[3]

[1]Doutoranda em Manejo de Solo e Água, Docente do Instituto Federal do Pará (IFPA), Campus Parauapebas-PA, Brasil, tereza.cizenando@ifpa.edu.br, 0000-0003-2926-4109;
[2]Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/UABJ), Belo Jardim, Brasil, silvanete.silva@ufrpe.br, 0000-0002-3167-0811;
[3] Doutorado em Engenharia Agrícola, Docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Brasil, rafaelbatista@ufersa.edu.br, 0000-0002-3083-6808.

Eixo Temático XII – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura.
Eje Temático XII – Agricultura
Reutilización de efluentes tratados en la agricultura.
Thematic Axis XII – Agriculture
Reuse of treated wastewater in agriculture.

RESUMO
A escassez hídrica no semiárodo exige fontes alternativas de água para irrigação. No entanto, seu sucesso depende de uma rigorosa avaliação técnica da qualidade da água, do tipo de solo e da tolerância das culturas aos sais, visando minimizar impactos ambientais como a degradação e desertificação do solo. Objetivou-se com este estudo analisar a qualidade da água de diluições de efluente aquícola para fertirrigação no semiárido nordestino. O experimento ocorreu na Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Mossoró-RN e as análises ocorreram durante o período de 26 de outubro de 2022 a 20 de dezembro de 2023. Os tratamentos consistiram em T1 (100% água); T2 (75% água + 25% efluente); T3 (50% água + 50% efluente); T4 (25% água + 75% efluente) e T5 (100% efluente). Foram coletadas amostras dos tratamentos para a caracterização dos atributos, sendo estes: CE, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3^- e HCO_3^-. Também foi calculado os índices RAS e CSR, a fim de confrontar com métodos da literatura que classifica o risco de salinidade e sodicidade. A água de abastecimento foi considerada uma água de médio risco de salinidade e o efluente aquícola foi classificado com risco muito alto de salinidade. Todos os tratamentos apresentaram pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação. Com exceção da água de abastecimento, as diluições foram aptas ou recomendáveis para irrigação. Conclui-se que o uso do efluente é viável, desde que manejado para controlar a salinidade, sendo uma alternativa crucial para a agricultura biossalina na região.
Palavras-chave: Fertirrigação, resíduo líquido, salinidade, sodicidade.

RESÚMEN
La escasez de agua en el semiárido exige fuentes alternativas de agua para el riego. Sin embargo, su éxito depende de una evaluación técnica rigurosa de la calidad del agua, el tipo de suelo y la tolerancia de los cultivos a las sales, con el fin de minimizar los impactos ambientales como la degradación y la desertificación del suelo. El objetivo de este estudio fue analizar la calidad del agua de las diluciones de efluentes acuícolas para la fertirrigación en el semiárido del noreste. El experimento se llevó a cabo en la Universidade Federal Rural do Semi-Árido en Mossoró-RN y los análisis se realizaron durante el periodo comprendido entre el 26 de octubre de 2022 y el 20 de diciembre de 2023. Los tratamientos consistieron en T1 (100% agua); T2 (75% agua + 25% efluente); T3 (50% agua + 50% efluente); T4 (25% agua + 75% efluente) y T5 (100% efluente). Se tomaron muestras de los tratamientos para caracterizar los atributos, que fueron: CE, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3^-, and HCO_3^-. También se calcularon los índices RAS y CSR, con el fin de compararlos con los métodos de la literatura que clasifican el riesgo de salinidad y sodicidad. El agua de abastecimiento se consideró un agua de riesgo medio de salinidad y el efluente acuícola se clasificó con un riesgo muy alto de salinidad. Todos los tratamientos presentaron poco peligro de desarrollo de problemas de sodificación. Con excepción del agua de abastecimiento, las diluciones fueron aptas o recomendables para el riego. Se concluye que el uso del efluente es viable, siempre que se gestione para controlar la salinidad, siendo una alternativa crucial para la agricultura biosalina en la región.
Palabras clave: Fertirrigación, residuo líquido, salinidad, sodicidad.

ABSTRACT
Water scarcity in the semi-arid region requires alternative sources of water for irrigation. However, its success depends on a rigorous technical assessment of water quality, soil type, and crop tolerance to salts, aiming to minimize environmental impacts such as soil degradation and desertification. The objective of this study was to analyze the water quality of aquaculture effluent dilutions for fertigation in the northeastern semi-arid region. The experiment took place at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido in Mossoró-RN, and the analyses were conducted from October 26, 2022, to December 20, 2023. The treatments consisted of T1 (100% water); T2 (75% water + 25% effluent); T3 (50% water + 50% effluent); T4 (25% water + 75% effluent); and T5 (100% effluent). Samples were collected from the treatments to characterize the attributes, which were: EC, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3^-, and HCO_3^-. The SAR and RSC indices were also calculated in order to compare them with methods in the literature that classify the risk of salinity and sodicity. The supply water was considered to be of medium salinity risk, and the aquaculture effluent was classified as very high salinity risk. All treatments showed little danger of developing sodification problems. With the exception of the supply water, the dilutions were suitable or recommended for irrigation. It is concluded that the use of effluent is feasible, provided it is managed to control salinity, and is a crucial alternative for biosaline agriculture in the region.
Keywords: Fertirrigation, liquid waste, salinity, sodicity.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura tem crescido exponencialmente nas últimas décadas, consolidando-se como um setor fundamental para suprir a demanda global por proteína animal, além do desenvolvimento de fármacos, cosméticos, insumos industriais e bioenergia (Das *et al.*, 2023).

Apesar dos benefícios socioeconômicos, a aquicultura enfrenta desafios ambientais, especialmente em relação ao uso de recursos hídricos e ao manejo de efluentes (Abreu *et al.*, 2023). Mesmo as águas residuárias da aquicultura representando suprimento de água para plantas além de um nutriente alternativo (Pedrosa *et al.*, 2024), em regiões semiáridas, os resíduos do sistema produtivo podem se acumular no solo, elevando o risco de salinização (Fonseca *et al.*, 2021).

Assim, o uso de águas salobras ou salinas em diferentes tipos de cultivos, a chamada agricultura biossalina, deve, obrigatoriamente, obedecer a critérios técnicos, sempre avaliando a qualidade, o tipo de solo a ser cultivado e a planta, que deverá apresentar tolerância ou resistência a certa quantidade de sais (Voltolini *et al.*, 2022), a fim de minimizar os impactos ambientais de degradação e desertificação ao solo que recebe essa água (Santos *et al.*, 2020).

Do ponto de vista agrícola, o termo "qualidade da água" indica sua aptidão para irrigação. O parâmetro é necessário porque, apesar de toda água conter sais dissolvidos, é a quantidade e o tipo desses sais que definem as possíveis limitações ao seu uso (Cordeiro, 2001). Nesse caso, quanto ao uso na irrigação, a qualidade das águas deve ser avaliada sob três aspectos fundamentais: salinidade (C), sodicidade (S) e toxicidade (T).

O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas, visto que quanto maior a salinidade da água, menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito floculante, aumentando a infiltração (Ayers; Westcot, 1999). Já a sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar o Percentual de Sódio Trocável (PST), com danos nas suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração, de acordo com os mesmos autores. Assim, a Condutividade Elétrica (CE) é um bom índice de salinidade, enquanto a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) é o risco de sodicidade da água de irrigação (Murtaza *et al.*, 2021).

Dito isso, objetivou-se com este estudo analisar a qualidade da água de diluições de efluente aquícola quanto ao risco de salinidade e sodicidade para fertirrigação no semiárido nordestino. O estudo busca contribuir com soluções sustentáveis que alinhem a produção aquícola aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 6 (água potável e saneamento) e o ODS 12 (consumo e produção responsáveis).

2. METODOLOGIA

O experimento ocorreu na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, no estado do Rio Grande do Norte (RN), no nordeste do Brasil. O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo BSh (semiárido e quente), com precipitação pluvial bastante desuniforme, com média anual de 715 mm e temperatura média do ar de 26,5 ºC (Dubreuil *et al.*, 2018).

Os tratamentos consistiram em T1 (100% de água); T2 (75% de água + 25% de efluente); T3 (50% de água + 50% de efluente); T4 (25% de água + 75% de efluente) e T5 (100% de efluente), usados na fertirrigação da *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, popularmente conhecida como palma forrageira miúda.

O efluente foi proveniente do Setor de Aquicultura do campus Leste da UFERSA, em Mossoró-RN. Sua origem são viveiros de cultivo com diferentes níveis de salinidade (doce, salobra e salina), utilizados para experimentos com diversas espécies aquáticas, incluindo pirá (*Conorhynchos conirostris*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomus*), tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), tilápia-zanzibar (*Oreochromis urolepis hornorum*) e camarão-branco (*Litopenaeus vannamei*).

Os animais foram alimentados com rações específicas para cada espécie e fase de desenvolvimento. Quanto ao manejo, não foram utilizados medicamentos, mas empregou-se cal, soda cáustica e cloro para a desinfecção dos tanques. O ajuste da salinidade foi realizado com a adição de cloreto de sódio e pela diluição com água-mãe proveniente de salinas locais.

A água dos viveiros é proveniente de um poço localizado no próprio campus, que capta água do Aquífero Jandaíra. Este aquífero é classificado como livre, heterogêneo, anisotrópico e de circulação cárstica, com condições de cársificação e qualidade de água variáveis, recebendo contribuição da água pluvial e da Formação Barreiras (Peixoto *et al.*, 2021).

Já a água utilizada para diluir os efluentes aquícolas nos experimentos foi fornecida pela Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN). O abastecimento municipal de Mossoró pela CAERN ora fornece água proveniente de poços profundos do Aquífero Açu, ora água superficial da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves ou a mistura de ambas.

A coleta das amostras ocorreu 5 vezes durante o período de 26 de outubro de 2022 a 20 de dezembro de 2023. Para a coleta e análise das amostras de água de irrigação, foram utilizadas as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Lipps;

Braun-Howland; Baxter, 2023).

As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno de 1 L, preservados imediatamente após a coleta em caixas isotérmicas com gelo a 4 ºC até a chegada ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA para a caracterização dos atributos CE, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3^- e HCO_3^-. Com esses valores, foi calculada a RAS e o Carbonato de Sódio Residual (CSR) propostos por Richards (1954) e Eaton (1950), empregando-se as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (2)$$

Em que:

RAS – Razão de adsorção de sódio, em ($mmol_c\ L^{-1}$);

CSR – Carbonato de sódio residual, em $mmol_c\ L^{-1}$; e

Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_3^{2-}, HCO_3^- – Concentrações de sódio, cálcio, magnésio, carbonato e bicarbonato nas diluições T1 a T5, em $mmol_c\ L^{-1}$.

A partir das médias, as águas foram classificadas e interpretadas quanto os riscos de salinidade e sodicidade, de acordo com os parâmetros do *United States Salinity Laboratory* (USSL) de Riverside, que é baseado nos estudos realizados por Richards (1954), considerando também, as diretrizes da FAO para a avaliação da qualidade da água para irrigação (Ayers; Westcot, 1999) e o CSR para avaliar a sodicidade (Almeida, 2010).

As águas com salinidade são classificadas em quatro categorias com base na CE, recebendo denominações sucessivas de C1 a C4, de risco baixo (< 0,25 dS m^{-1}) até muito alto (> 2,25 dS m^{-1}). A sodicidade também apresenta quatro categorias, conforme Richards (1954), de S1 (baixa concentração de sódio) a S4 (água com conteúdo de sódio muito elevado). Já Ayers e Westcot (1999) classifica em nenhum (< 0,7 dS m^{-1}), moderado (0,7-3,0 dS m^{-1}) e severo (> 3,0 dS m^{-1}), obtidas relacionando-se a RAS com a salinidade da água de irrigação. O CSR abrange os intervalos: CSR < 1,25 (recomendável), CSR entre 1,25 e 2,5 (pouco recomendável) e CSR > 2,5 (não recomendável) (Almeida, 2010).

Para confecção de gráfico, foi usado o software gratuito QualiGraf®, desenvolvido em 2001 pelo Departamento de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) (Möbus, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia de Richards (1954), o T1, classificado como C2S1, apresenta água com média condutividade elétrica (salinidade) e baixa concentração de sódio (sodicidade). Recomenda-se seu uso em solos com drenagem adequada e para culturas moderadamente tolerantes a sais. Em tais condições, a utilização dessa água geralmente dispensa manejo específico para controle da salinidade (Figura 1).

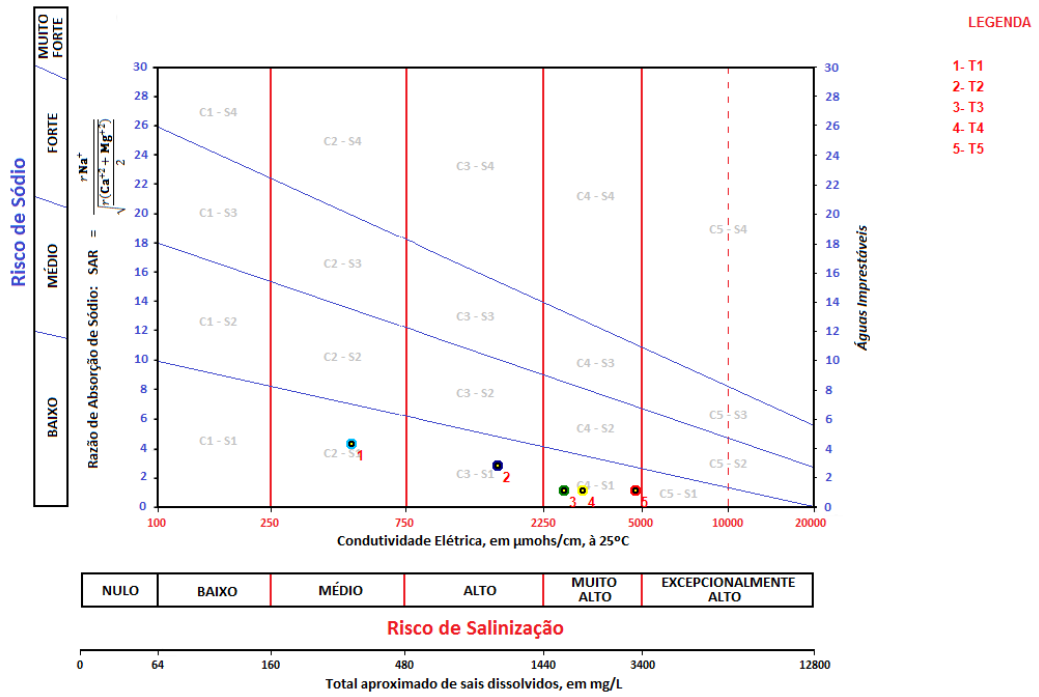


Figura 1 - Diagrama de classificação de água para irrigação dos tratamentos pela USSL, no município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil.
Nota: T1 - 100% AA; T2 - 75% AA + 25% EA; T3 - 50% AA + 50% EA; T4 - 25% AA + 75% EA; e T5 - 100% EA.
Fonte: Autoria própria (2025).

Já T2 foi classificado como C3S1, indicando alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade. Portanto, seu uso é inviável em solos com drenagem deficiente. Mesmo em solos com drenagem adequada, exigem-se práticas especiais de manejo para controle da salinidade e é restrito a culturas tolerantes a sais. Entretanto, os tratamentos T3, T4 e T5 foram classificadas como C4S1, representando um risco muito alto de salinidade, embora também

apresentem baixo risco de sodicidade. Seu uso em condições normais é impraticável, sendo recomendado apenas ocasionalmente e em circunstâncias específicas, como em solos extremamente permeáveis e com culturas altamente tolerantes. Portanto, as diluições de água de abastecimento com efluente aquícola resultaram em águas com significantes restrições à irrigação, apresentando um elevado potencial de salinização do solo.

Como todos os tratamentos foram classificados em S1, podem ser usadas para irrigação em quase todos os solos, com pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação (Cordeiro, 2001). Altos valores de RAS e CE indicam que uma água é imprópria para irrigação. Isto ocorre porque o excesso de Na^{+} em solução promove a troca iônica, substituindo os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} adsorvidos nos coloides do solo. Este processo degrada a estrutura do solo, favorecendo a salinização e a sodificação. Portanto, o monitoramento contínuo desses parâmetros é essencial para prevenir a degradação de áreas irrigadas (Braga *et al.*, 2020).

Águas com valores de RAS elevados implicam em diminuição da permeabilidade do solo, onde para viabilizar o uso de águas com elevada salinidade, é necessário adotar práticas especiais de manejo da água e do solo, visando o controle da salinidade, como a drenagem e o uso de lâminas de lixiviação. Nesse contexto, é possível irrigar culturas moderadamente sensíveis à salinidade, como abóbora, alface, batata-doce, melancia, melão, milho, girassol e mamona, utilizando essas águas de forma eficiente (Ayers; Westcot, 1999).

Com relação a classificação de Ayers e Westcot (1999), T1 apresenta nenhum risco de salinidade, todavia, apresentam problemas crescentes de sodicidade. Já as diluições T2 e T3 classificaram-se como moderado risco de salinidade e sem problemas de sodicidade. Por fim, a diluição de T4 e T5 apresentaram severo risco de salinidade e sem problemas de sodicidade (Tabela 1).

Tabela 1. Risco de salinidade e sodicidade da água de irrigação da pesquisa de acordo com as classificações de Richards (1954), Ayers e Westcot (1999) e Eaton (1950).

Tratamentos	CE ds m^{-1}	RAS	CSR	Richards (1954)	Ayers e Westcot (1999)	Eaton (1950)
T1	0,48	4,43	1,94	C2-S1	N-PC	PR
T2	1,55	2,94	-4,89	C3-S1	M-SP	R
T3	2,65	1,34	-11,90	C4-S1	M-SP	R
T4	3,08	1,33	-17,00	C4-S1	S-SP	R
T5	4,74	1,33	-26,78	C4-S1	S-SP	R

Fonte: Adaptado de Eaton (1950), Richards (1954) e Ayers e Westcot (1999).
Nota: T1 - 100% AA; T2 - 75% AA + 25% EA; T3 - 50% AA + 50% EA; T4 - 25% AA + 75% EA; e T5 - 100% EA; CE – Condutividade elétrica; RAS – Razão de adsorção de sódio; CSR – Carbonato de sódio residual; C1 –

Risco baixo de salinidade; C2 – Risco médio de salinidade; C3 – Risco alto de salinidade; C4 – Risco muito alto de salinidade; S1 – Baixa concentração de sódio; S2 – Média concentração de sódio; S3 – Alto conteúdo de sódio; S4 – Muito elevado conteúdo de sódio; N – Nenhum risco de salinidade; M – Moderado risco de salinidade; S – Severo risco de salinidade; SP – Sem problemas de sodicidade; PC – Problemas crescentes de sodicidade; PS – Problemas severos de sodicidade; R – Recomendável; PR – Pouco recomendável; NR – Não recomendável.

Em estudo envolvendo a avaliação dos impactos da irrigação com águas residuárias da aquicultura na irrigação de pomares de tamareiras na Arábia Saudita, as análises da qualidade da água mostraram a maior salinidade o valor de 3,31 dS m^{-1} em uma fazenda, já em todas as outras 11 fazendas não apresentaram riscos de salinidade ou sodicidade (Al-Wabel *et al.*, 2024).

A influência dos sais nas propriedades químicas e físicas do solo é decisiva para manter sua capacidade produtiva e a sustentabilidade da agricultura irrigada. Para avaliar a viabilidade de uma água de irrigação, é necessário considerar fatores integrados: as características químicas da água no momento da análise, as propriedades físico-químicas do solo receptor, a tolerância da cultura aos sais e, por fim, o método e o sistema de irrigação (incluindo o tipo de emissor) (Cordeiro, 2001).

Continuando, com exceção de T1, as diluições foram aptas ou recomendáveis para irrigação, do ponto de vista do CSR (Tabela 1). Na presença de excesso de íons carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), o processo de evapotranspiração concentra a solução do solo. Essa concentração elevada provoca a precipitação dos cátions cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na forma de seus carbonatos insolúveis ($CaCO_3$ e $MgCO_3$). Como consequência, o carbonato de sódio (Na_2CO_3) — que é solúvel — permanece em solução, e o sódio (Na^+) passa a ocupar os sítios de troca nos coloides do solo, intensificando o processo de sodificação (Cordeiro, 2001). Almeida (2010) diz que por vezes o carbonato de sódio se forma no próprio local a partir do gás carbônico atmosférico do solo e do sódio contido neste. O uso prolongado de água com alto CSR leva ao acúmulo de sódio no solo, o que altera as propriedades físicas e químicas dos solos (Murtaza *et al.*, 2021).

Assim, é inegociável, para praticar a agricultura biossalina, a escolha de um solo mais arenoso e de excelente drenagem, associado ao uso de práticas como cobertura morta e uso de matéria orgânica, na busca de melhor condicionamento do solo para melhor desenvolvimento da cultura (Voltolini *et al.*, 2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tratamentos apresentaram restrições ao uso na irrigação quanto ao perigo de salinização, podendo ser próprias para o uso na irrigação quando tomadas precauções especiais, visto que a AA foi considerada uma água de médio risco de salinidade e o EA foi classificado com risco muito alto de salinidade. Todavia, o efluente aquícola e suas diluições podem ser usadas para irrigação em quase todos os solos, com pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação. Com exceção da AA, as diluições foram aptas ou recomendáveis para irrigação.

Portanto, este estudo demonstra que o efluente aquícola da região, principalmente nas diluições T2 e T3, representam uma fonte hídrica alternativa viável para irrigação, desde que o manejo seja orientado pelo risco de salinização. Recomenda-se o monitoramento contínuo da condutividade elétrica no solo, o uso de solos bem drenados, a aplicação de lâminas de lixiviação para evitar o acúmulo de sais na zona radicular e a seleção de culturas tolerantes. Assim irá contribuir para a segurança hídrica e alimentar no semiárido por reduzir a demanda por água de abastecimento de melhor qualidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, W. F. D.; SILVA, K. C. L. D.; BARBAS, L. A. L.; ROCHA, C. A. M. D. Estudo prospectivo sobre a aplicação da biorremediação na aquicultura. **Cadernos de Prospecção**, v. 16, n. 1, p. 262–277, 2023. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/49089. Acesso em: 4 abr. 2025.

ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas-BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/875385. Acesso em: 4 abr. 2025.

AL-WABEL, M. I.; ALMUTARI, M. M.; AHMAD, M.; AL-SWADI, H. A.; AHMAD, J.; AL-FARRAJ, A. S. F. Impacts of aquaculture wastewater irrigation on soil health, nutrient availability, and date palm fruit quality. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 18634, 2024. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-024-68774-0. Acesso em: 27 maio 2025.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **Qualidade da água na agricultura**. Tradução: H. R Gheyi; J. F. Medeiros; F. A. V. Damasceno. Campina Grande-PB: [*s. n.*], 1999.

BRAGA, E. D. A. S.; AQUINO, M. D. D.; ROCHA, C. M. S.; MENDES, L. S. A. D. S.; SILVA, R. F. D. S. Classificação da água subterrânea para uso na irrigação. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, p. 1–9, 2020. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29967. Acesso em: 4 abr. 2025.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação: Conceitos básicos e práticas**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 2001.

DAS, S. K.; MONDAL, B.; SARKAR, U. K.; DAS, B. K.; BORAH, S. Understanding and approaches towards circular bio-economy of wastewater reuse in fisheries and aquaculture in India: An overview. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. 3, p. 1100–1114, 2023. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/raq.12758. Acesso em: 4 abr. 2025.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; NETO, J. L. S. Os tipos de climas anuais no Brasil: Uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, v. 37, 2018. Disponível em: https://journals.openedition.org/confins/15738. Acesso em: 25 mar. 2025.

EATON, F. M. Significance of carbonates in irrigation waters. **Soil Science**, v. 69, n. 2, p. 123, 1950. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1950/02000/significance_of_carbonates_in_irrigation_waters.4.aspx. Acesso em: 9 abr. 2025.

FONSECA, R. A.; SOUZA, M. N.; MENDONÇA, P. P.; MOURA NETO, H.; MOREIRA, C. G.; PASCHOA, J. C. V. D.; HORSTH, L. C.; CRESPO, A. M.; LOUBACK, G. C. Aquicultura: Impactos ambientais negativos e a mitigação com práticas agroecológicas. *In*: SOUZA, Maurício Novaes. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Canoas-RS: Mérida Publishers, 2021. Disponível em: http://meridapublishers.com/l7topicos/capitulo2.html. Acesso em: 4 abr. 2025.

LIPPS, W. C.; BRAUN-HOWLAND, E. B.; BAXTER, T. E. (org.). **Standard methods for the examination of water and wastewater™**. 24ªed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2023.

MÖBUS, G. **QualiGraf**. , 2001. Disponível em: https://qualigraf.funceme.br/. Acesso em: 2 abr. 2025.

MURTAZA, G.; REHMAN, M. Z.; QADIR, M.; SHEHZAD, M. T.; ZEESHAN, N.; AHMAD, H. R.; FAROOQI, Z. R.; NAIDU, R. High residual sodium carbonate water in the Indian subcontinent: Concerns, challenges and remediation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 18, n. 10, p. 3257–3272, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s13762-020-03066-4. Acesso em: 7 abr. 2025.

PEDROSA, T. D.; BATISTA, R. O.; DOMBROSKI, S. A. G.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, P. V. C.; MELO, R. R.; PORTELA, J. C. Use of aquaculture wastewater in the cultivation of cactus pear as an alternative for semi-arid regions. **Discover Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 249, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s42452-024-05939-6. Acesso em: 25 mar. 2025.

PEIXOTO, F. da S.; TÔRRES, L. M. G.; FERREIRA, I. C. S.; SILVA, A. B. de S. A city on waters: Use and quality of the groundwater in Mossoró-RN. **Geosaberes**, v. 12, p. 294–307, 2021. Disponível em: http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/1114. Acesso em: 25 abr. 2025.

RICHARDS, L. A. **The diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Dept. Of Agriculture, 1969.

SANTOS, N. S.; SILVA, J. C. de S.; PEREIRA, W. S.; MELO, J. L. R.; LIMA, K. V. de; LIMA, D. O.; LIMA, K. F. de; ALMEIDA, R. S. de. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. e9452, 2020. Disponível em: https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/9452. Acesso em: 7 abr. 2025.

VOLTOLINI, T. V.; OLIVEIRA, A. R. de; SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B. de; ARAÚJO, G. G. L. de. **Sistema de produção de palma-forrageira para o Estado da Paraíba**. Petrolina-PE:

EMBRAPA Semiárido, 2022. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1142333. Acesso em: 25 mar. 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117176

USO DA CASCA RESIDUAL DA UVA NA ADUBAÇÃO PRODUÇÃO DE COENTRO

Ana Carolina de Melo Vasconcelos[1], Luana Souza Araujo[2], Eliatania Clementino Costa[3] e Elizângela Maria de Souza[4]

[1]Graduanda de Engenharia Agronômica , IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, anamelo.vasconcelos@gmail.com, 0009-0006-1487-5352.
[2] Graduanda de Engenharia Agronômica, IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, luana.souza1@aluno.ifsertao-pe.edu.br, 0009-0003-6312-7412.
[3] Doutora em Biotecnologia, IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, eliatania.costa@ifsertao-pe.edu.br, 0000-0002-1434-8708.
[4] Doutora em Zootecnia, Docente, IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br , 0000-0002-8949-3774.

Eixo Temático 12 – Agricultura Valorização de resíduos: biossólidos e outros.

RESUMO

A vitivinicultura vem apresentando importante crescimento no Brasil. A expansão das áreas de cultivo de uvas viníferas e das agroindústrias de vinhos e sucos intensificou-se nas últimas décadas. A produção de vinhos e sucos gera um grande volume de resíduos, que são geralmente utilizados pelas vinícolas como adubo orgânico ou destinados para ração animal. O uso de resíduos de uva na produção de mudas é uma prática viável e sustentável, principalmente após a compostagem, transformando o bagaço (cascas, engaço e sementes) em um adubo orgânico de excelente qualidade. Diante do contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso de diferentes compostos orgânicos, como, terra de canteiro, cascas residuais de uvas associadas a estercos ovinos e caprinos, e bokashi comercial no desenvolvimento de coentro (*Coriandrum sativum*). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC): três tratamentos em triplicata, sendo: T1- terra do canteiro; T2- cascas residuais de uvas misturadas a esterco ovino e caprino e T3 – bokashi comercial. Foram preparados nove canteiros (180 × 50 cm), três para cada tratamento, contendo seis covas cada (10 cm de profundidade, espaçamento de 20 cm entre fileiras). Em cada cova foram semeadas nove sementes de coentro, totalizando 54 sementes por canteiro. Ao final de 50 dias de plantio, foram realizados parâmetros biométricos quanto ao: comprimento da parte áerea, números de hastes por planta, massa fresca da raiz e massa freca do maço sem raízes. Os resultados obtidos demonstraram que a utilização da cascas residuais cascas residuais de uva oriundas da vitivinicultura associadas a esterco apresentou efeito positivo no desempenho vegetativo do coentro, quanto ao comprimento da raiz, e não diferiu com o bokashi quanto ao comprimento total da parte aerea. Embora o bokashi comercial tenha se destacado em alguns parâmetros, o tratamento com cascas residuais de cascas residuais de uva oriundas da vitivinicultura associada a esterco, evidenciou potencial para utilização como alternativa sustentável na adubação, sobretudo em sistemas de base familiar e de baixo custo.

Palavras-chave: agricultura sustentável; *Coriandrum sativum*; resíduos agroindustriais; vitivinicultura.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por práticas agrícolas sustentáveis e pelo aproveitamento eficiente de resíduos agroindustriais tem impulsionado a busca por alternativas que integrem produção de alimentos, conservação ambiental e destinação correta de subprodutos. No setor vitivinícola, a geração de resíduos sólidos é expressiva, sendo o bagaço de uva — constituído por cascas, sementes e partes residuais do fruto — um dos principais subprodutos. Estima-se que o processamento da uva para vinificação ou produção de sucos possa gerar até 20 a 25% de resíduos em relação à massa total processada, os quais, quando descartados de forma inadequada, podem acarretar impactos ambientais, como acúmulo de matéria orgânica e contaminação do solo e da água (FERRARI, 2015, 2024; VASCONCELOS, 2025).

Nos últimos anos, diferentes estudos têm destacado o potencial agronômico desse resíduo, em especial quando submetido a processos de compostagem ou vermicompostagem. Resultados apontam que sua aplicação contribui para o aumento dos estoques de carbono orgânico, da disponibilidade de nitrogênio e da atividade microbiana do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes como fósforo e potássio, fundamentais para o desenvolvimento vegetal (BRITO *et al*., 2024). Além disso, pesquisas em sistemas agrícolas subtropicais demonstram que o uso do bagaço de uva pode atuar positivamente na estruturação do solo e na promoção de maior sustentabilidade produtiva, ainda que os ganhos de produtividade sejam dependentes das condições locais de manejo.

Paralelamente, culturas aromáticas e medicinais como o coentro (*Coriandrum sativum* L.) têm se mostrado sensíveis ao tipo de adubação utilizada, apresentando variações tanto no rendimento de biomassa quanto na composição química de seus óleos essenciais. O coentro é amplamente cultivado no Brasil, com relevância culinária e medicinal, e seus óleos essenciais são valorizados pela presença de monoterpenos, especialmente o linalol, que possui reconhecidas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e terapêuticas (SILVA *et al*., 2023). Pesquisas recentes indicam que práticas de adubação orgânica, incluindo o uso de resíduos agroindustriais, associadas ou não à inoculação com microrganismos benéficos, podem favorecer tanto o

rendimento de óleo essencial quanto a concentração de compostos bioativos, representando uma alternativa de alto valor agregado em comparação aos fertilizantes químicos convencionais.

Nesse cenário, a utilização da casca residual da uva como insumo agrícola apresenta- se como uma solução estratégica para o saneamento rural, ao promover a destinação adequada de resíduos agroindustriais e reduzir a pressão ambiental decorrente do seu descarte. Ao mesmo tempo, possibilita benefícios diretos para o cultivo do coentro, seja pelo fornecimento gradual de nutrientes, pela melhoria das condições físicas e biológicas do solo ou pelo estímulo à produção de metabólitos secundários de interesse comercial. Assim, o estudo da aplicação desse resíduo como adubo orgânico contribui não apenas para a valorização de um subproduto abundante da vitivinicultura, mas também para o fortalecimento de sistemas agrícolas mais resilientes, circulares e ambientalmente responsáveis. Desse modo, este trabalho teve como objetivo avaliar a produção e o rendimento de óleo essencial em *C. sativum* em função de diferentes adubos orgânicos utilizados, tais como Bokashi comercial, bokashi artesanal proveniente de resíduos de casca de uva e incrementado com esterco de ovinos e caprinos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Horta do IFSertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC): três tratamentos em triplicata, sendo: T1- terra do canteiro; T2- cascas residuais de uvas misturadas a esterco ovino e caprino e T3 – bokashi comercial. Foram preparados nove canteiros (210 × 100 cm), três para cada tratamento, contendo dez covas cada (3 cm de profundidade, espaçamento de 10 cm entre fileiras). Em cada cova foram semeadas nove sementes de coentro, totalizando 100 sementes por fileira e 1000 sementes por canteiro. Duas fontes de adubação orgânica foram avaliadas: Bokashi comercial e Bokashi artesanal enriquecido com resíduos de casca de uva e esterco de ovinos/caprinos da instituição, aplicados na proporção de 0,5–1 kg m². A irrigação foi realizada diariamente e o controle de plantas espontâneas por capina manual. A colheita ocorreu 50 dias após a semeadura, sendo mensurados a altura das plantas (cm planta^{-1}) e o número médio de hastes por planta em amostra de 30 indivíduos.

RESULTADOS

A avaliação dos diferentes tratamentos evidenciou que tanto o resíduo de casca de uva quanto o bokashi comercial influenciaram positivamente as variáveis de crescimento e produção

analisadas, em comparação ao tratamento controle. De modo geral, os coeficientes de variação (CV%) ficaram entre 26,15%, valor que podem ser classificado de baixo a alto, dependendo do parâmetro. Essa amplitude demonstra que, embora algumas variáveis apresentem maior precisão experimental, outras sofreram influência mais acentuada de fatores ambientais e biológicos, o que deve ser considerado na interpretação dos resultados.

Tabela 1 – Massa fresca das raízes (g) em função dos diferentes tratamentos (T1- resíduos de cascas de uva, bokashi comercial e T3 – terra/controle).

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de uva	68,04 **a**	40,21
T2: Bokashi comercial	57,14 **b**	
T3: Controle	36,16 **c**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

No parâmetro massa fresca das raízes, o resíduo de casca de uva apresentou média de 68,04 g, valor superior ao do bokashi comercial (57,14 g), superior também ao controle (36,16 g). O CV foi de 40,21, considerado alto, o que sugere influência de variações ambientais sobre essa característica. Estatisticamente, observou-se diferença significativa entre os tratamentos, com o resido de casca de uva sendo superior ao bokashi comercial, e ambos diferindo do controle. Esses resultados indicam que tanto o resíduo de uva quanto o bokashi contribuiram de maneira efetiva para o acúmulo de biomassa radicular.

Tabela 2 – Massa fresca dos maços sem raiz (g) em função diferentes tratamentos (T1- resíduos de cascas de uva, bokashi comercial e T3 – terra/controle).

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de uva	205,86 **a**	33,00
T2: Bokashi comercial	215,87 **a**	
T3: Controle	92,52 **b**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Em relação a massa fresca dos maços (sem raiz), o bokashi comercial apresentou maior média (215,87 g), superando o resíduo de casca de uva (205,86 g) e o controle (92,52 g), mas

estatisticamente eles não se diferiram apesar da diferença pequena entre as medias obtidas. O CV registrado foi de 33,00%, considerado elevado, refletindo variação expressiva entre as repetições.

Ainda assim, a análise estatística evidenciou diferenças entre os três tratamentos (205,86a; 215,87a; 92,52b), reforçando que o bokashi foi mais eficiente em promover incremento de biomassa aérea e produtividade.

Tabela 3 – Comprimento das raízes (cm) em função dosdiferentes tratamentos (T1- resíduos de cascas de uva, bokashi comercial e T3 – terra/controle).

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de uva	11,73 **a**	24,34
T2: Bokashi comercial	11,80 **a**	
T3: Controle	9,40 **b**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Na análise do comprimento das raízes, o resíduo de casca de uva (11,73) apresentou o mesmo desempenho do bokashi comercial (11,80 cm), dessa forma sendo superior ao controle (9,40 cm). O CV foi de 24,34%, considerado moderado, indicando boa consistência experimental. Estatisticamente, o tratamento 1 e 2 diferiram entre o controle (11,73a; 11,80a; 9,40b), confirmando que tanto o resíduo de casca de uva quanto o bokashi comercial proporcionaram maior desenvolvimento radicular em comparação ao controle.

No comprimento total da parte aérea, apesar da diferença na média dos tamanhos, não houve diferença estatística entre o resíduo de casca de uva (32,50 cm) e o bokashi comercial (29,20 cm), ambos sendo superiores ao controle (23,01 cm). O CV foi de 20,58%, considerado baixo, o que demonstra elevada precisão experimental. A análise estatística mostrou que os resíduos de casca de uva e o bokashi comercial pertencem ao mesmo grupo (32,50a; 29,20a), diferindo do controle (23,01b). Isso confirma que tanto o uso de resíduos orgânicos quanto de adubos comerciais têm potencial semelhante para promover o crescimento vegetativo da cultura.

Tabela 4 – Comprimento total da parte aérea (cm) em função dos diferentes tratamentos (T1- resíduos de cascas de uva, bokashi comercial e T3 – terra/controle).

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de uva	32,50 **a**	20,58
T2: Bokashi comercial	29,20 **a**	
T3: Controle	23,01 **b**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Por fim, a análise estatística do rendimento do óleo essencial revelou diferenças significativas entre os tratamentos de adubação avaliados: resíduo de casca de uva (T1), Bokashi comercial (T2) e controle (T3). A análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a 1% de significância demonstraram que os tratamentos diferiram entre si, conforme indicado pelas letras distintas ao lado das médias. O tratamento com resíduo de casca de uva (T1) apresentou o maior rendimento de óleo essencial quando comparado ao Bokashi comercial (T2). Já o controle (T3) apresentou rendimento significativamente inferior aos demais tratamentos, indicando que a ausência de adubação resultou em menor produção de óleo essencial neste experimento. O coeficiente de variação de 36,75% sugere uma variabilidade moderada entre os ensaios, considerada aceitável diante das características biológicas das plantas e possíveis influências ambientais. Desse modo, os resultados indicam que, nas condições avaliadas, os tratamentos com adubação orgânica favoreceram o aumento do rendimento de óleo essencial em comparação ao controle.

De maneira geral, os resultados obtidos indicam que os diferentes tratamentos de adubação influenciaram significativamente tanto o desenvolvimento aéreo quanto o desenvolvimento radicular das plantas e no rendimento do óleo essencial extraído.. A correlação positiva entre a biomassa radicular e o crescimento das hastes sugere que estratégias de adubação que promovam a robustez do sistema radicular podem resultar em plantas mais vigorosas e produtivas. Assim, os dados obtidos, validados pela ANOVA e pelo teste de Tukey a 99% de confiabilidade, confirmam a importância da nutrição adequada para otimizar o desempenho do coentro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a utilização da casca residual de uva como insumo orgânico apresenta efeito positivo no desempenho agronômico do coentro, refletindo em incremento no crescimento vegetativo, no desenvolvimento radicular e no acúmulo de biomassa, além de influenciar o rendimento do óleo essencial. Embora o bokashi comercial tenha se destacado em alguns parâmetros, o tratamento com resíduo de casca de banana evidenciou potencial para utilização como alternativa sustentável na adubação, sobretudo em sistemas de base familiar e de baixo custo.

O aproveitamento desse resíduo agrícola, além de contribuir para a redução de passivos ambientais, favorece o aporte de matéria orgânica ao solo, melhorando suas condições físicas, químicas e biológicas. Nesse sentido, o uso da casca de uva pode configurar-se como estratégia de manejo sustentável, alinhada aos princípios da agricultura orgânica e agroecológica.

Reforça-se, portanto, a necessidade de novas pesquisas que avaliem diferentes concentrações, modos de aplicação e interações com outros fertilizantes orgânicos, de forma a estabelecer protocolos agronômicos mais robustos e eficientes. Assim, o resíduo de casca de uva apresenta-se como um recurso promissor para incrementar a fertilidade do solo e a produtividade de hortaliças de interesse econômico, como o coentro, consolidando-se como alternativa viável no contexto da agricultura familiar e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, W. R. de O.; OLIVEIRA, C. N. de M.; MORAES, R. P. Utilização de substrato preparado com compostagem para produção de mudas: uma revisão sistemática de literatura. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos** , Brasil, São Paulo, v. 7, n. 14, p. e141009, 2024.

FERRARI, Valdecir. **Desenvolvimento de insumos agrícolas a partir das frações líquidas obtidas da pirólise de resíduos do processamento de uva no contexto da economia circular.** 2024. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/291750.

SILVA, J. C.; DIAS et al. BIOFERTILIZANTE PARA A CULTURA DO COENTRO-COMUM (Coriandrum sativum) UTILIZANDO RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA (Manihot esculenta). Scientia Generalis, Patos de Minas - MG - Brasil, v. 4, n. 2, p. 42–51, 2023.

STRASSBURGER , A. S.; LAMB , C. R. C.L.; ABICHEQUER, A. D. Resíduos orgânicos da

agroindústria vinícola e da atividade avícola como fertilizante no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 20, n. 1/2, p. 84–93, 2014.

VASCONCELOS FILHO, Antonio Peixoto de. **Gestão de resíduos na vitivinicultura: uma revisão bibliográfica a respeito dos impactos ambientais.** TCC (Tecnologia em Viticultura e Enologia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, PE, 56 f., 2025.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117218

USO DE BIOFERTILIZANTE COMPOSTO POR ÁGUAS AMARELAS E MANIPUEIRA NA FERTIRRIGAÇÃO DO MILHO AG 1051

USO DE BIOFERTILIZANTE COMPUESTO DE AGUA AMARILLA Y MANIPUEIRA EN LA FERTIRRIGACIÓN DE MAÍZ AG 1051

USE OF BIOFERTILIZER COMPOSED OF YELLOW WATER AND MANIPUEIRA IN CORN FERTIRRIGATION AG 1051

Narcísio Cabral de Araújo[1], Roseane Carneiro de Oliveira[2] e Carlos Eduardo Pereira[3]

[1]Eng. Sanitarista e Ambiental, Mestre em Eng. Civil e Ambiental, Doutor em Eng. Agrícola e Professor do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação (CFTCI) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Itabuna - Bahia, Brasil. E-mail: narcisioaraujo@ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0589-8924
[2]Engenheira Agrônima e Bacharel Interdisciplinar em Ciências pela Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Itabuna, Bahia, Brasil. E-mail: rosecarneiro@msn.com; Orcid: https://orcid.org/0009-0002-7954-634X
[3]Doutor em Agronomia e professor do Centro de Formação em Ciências Agroflorestais (CFCAf) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Ilhéus, Bahia, Brasil. E-mail: carlos.pereira@ufsb.edu.br; Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8355-1128

Eixo Temático 12 – Agricultura
Reuso de efluentes tratados na agricultura.

Eje Temático 12 – Agricultura
Reutilización de efluentes tratados en la agricultura

Thematic Axis 12 – Agriculture
Reuse of treated effluents in agriculture.

RESUMO

As águas amarelas e a manipueira são dois efluentes bastantes ricos em macro e micronutrientes com potencialidade para serem reciclados em sistemas de cultivo agrícola. Esta pesquisa objetivou avaliar a produtividade do milho AG 1051, fertirrigado com diferentes doses de biofertilizante composto por águas amarelas e manipueira. O experimento foi realizado em condições de campo no ano de 2019, em uma área experimental pertencente a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), em Ilhéus – BA. Utilizou-se delineramento experimental em com quatro blocos ao acaso e cinco tratamentos, correspondentes a dosagens de biofertilizante definidas a partir das concentrações de nitrogênio e potássio presentes nas águas amarelas e na manipueira. Os tratamentos foram aplicados via fertirrigação através de um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando gotejadores autocompensantes. Ao final do ciclo da cultura (maturação fisiológica), foram avaliadas as variáveis massa seca da espiga (MSE), massa seca de grãos por espiga (MSGE) e massa seca de 100 grãos (M100g). Essas variáveis foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas através do teste de Tukey a nível de 1 a 5% de probabiliudade. O resultado da ANOVA constatou diferença estatística significativa entre tratamentos ($p < 0,01$) para todas às variáveis analisados. As máximas médias das variáveis MSE a M100g foram de 35,69; 301,450 g, respectivamente, observadas através da fertirrigação com a máxima dosagem do biofertilizante (tratamento 5 - correspondente a 190 kgN/ha e 120 kgK/ha). Para a MSGE, a máxima média foi de 235,313 g, observada através da dosagem do biofertilizante

correspondente a 160 kgN/ha e 90 kgK/ha (tratamento 4). Concluiu-se que as fertirrigações com o biofertilizante, correspondentes as doses de 190 kg de nitrogênio por hectare e 120 kg de potássio por hectare, demonstrou ser uma alternativa para elevar a produtividade do milho em sistema agroecológico; as máximas médias de todas as variáveis analisadas, referentes a produtividade do milho, foram obtidas através das fertirrigações com as máximas dosagens de N e K disponibilizadas para as plantas através das fertirrigações; o uso de águas amarelas associadas a manipueira mostrou-se ser uma ótima opção de biofertilizante composto a ser utilizado da fertilidade do milho.

Palavras-chave: Saneamento ecológico, urina humana, adubação orgânica, reúso de águas.

RESÚMEN

El agua amarilla y la yuca son dos efluentes ricos en macro y micronutrientes con potencial de reciclaje en sistemas de cultivo agrícola. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la productividad del maíz AG 1051 fertirrigado con diferentes dosis de biofertilizante compuesto por agua amarilla y yuca. El experimento se realizó en condiciones de campo en 2019 en un área experimental perteneciente al Comité Ejecutivo del Plan de Cultivo de Cacao (CEPLAC) en Ilhéus, Bahía. Se utilizó un diseño experimental aleatorizado de cuatro bloques con cinco tratamientos, correspondientes a dosis de biofertilizante definidas con base en las concentraciones de nitrógeno y potasio presentes en el agua amarilla y la yuca. Los tratamientos se aplicaron vía fertirrigación a través de un sistema de riego por goteo utilizando goteros autocompensantes. Al final del ciclo del cultivo (madurez fisiológica), se evaluaron las variables peso seco de la mazorca (MSE), peso seco del grano por mazorca (MSGE) y peso seco de 100 granos (M100g). Estas variables fueron sometidas a análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey a un nivel de probabilidad de 1% a 5%. Los resultados de ANOVA mostraron una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos ($p < 0,01$) para todas las variables analizadas. Las medias máximas de las variables MSE a M100g fueron 35,69 y 301,450 g, respectivamente, observadas a través de fertirrigación con la dosis máxima de biofertilizante (tratamiento 5 - correspondiente a 190 kgN/ha y 120 kgK/ha). Para MSGE, el promedio máximo fue 235,313 g, observado a través de la dosis de biofertilizante correspondiente a 160 kgN/ha y 90 kgK/ha (tratamiento 4). Se concluyó que la fertirrigación con el biofertilizante, correspondiente a dosis de 190 kg de nitrógeno por hectárea y 120 kg de potasio por hectárea, demostró ser una alternativa para aumentar la productividad del maíz en un sistema agroecológico. Los promedios máximos de todas las variables analizadas, relacionadas con la productividad del maíz, se obtuvieron mediante fertirrigación, con las dosis máximas de N y K disponibles para las plantas. El uso de agua amarilla asociada con almidón de yuca resultó ser una excelente opción como biofertilizante compuesto para la fertilidad del maíz.

Palabras clave: Saneamiento ecológico, orina humana, fertilización orgánica, reutilización del agua.

ABSTRACT

Yellow water and cassava wastewater are two effluents rich in macro- and micronutrients with the potential to be recycled in agricultural cultivation systems. This study aimed to evaluate

the productivity of AG 1051 corn fertigated with different doses of biofertilizer composed of yellow water and cassava wastewater. The experiment was conducted under field conditions in 2019 in an experimental area belonging to the Executive Committee of the Cocoa Crop Plan (CEPLAC) in Ilhéus, Bahia. A four-block randomized experimental design with five treatments was used, corresponding to biofertilizer doses defined based on the nitrogen and potassium concentrations present in the yellow water and cassava wastewater. The treatments were applied via fertigation through a drip irrigation system using self-compensating drippers. At the end of the crop cycle (physiological maturity), the variables ear dry weight (MSE), grain dry weight per ear (MSGE), and 100-grain dry weight (M100g) were evaluated. These variables were subjected to analysis of variance (ANOVA), and the means were compared using Tukey's test at a 1% to 5% probability level. The ANOVA results showed a statistically significant difference between treatments ($p < 0.01$) for all variables analyzed. The maximum means of the variables MSE at M100g were 35.69 and 301.450 g, respectively, observed through fertigation with the maximum biofertilizer dosage (treatment 5 - corresponding to 190 kgN/ha and 120 kgK/ha). For MSGE, the maximum average was 235.313 g, observed through the biofertilizer dosage corresponding to 160 kgN/ha and 90 kgK/ha (treatment 4). It was concluded that fertigation with the biofertilizer, corresponding to doses of 190 kg of nitrogen per hectare and 120 kg of potassium per hectare, proved to be an alternative for increasing corn productivity in an agroecological system. The maximum averages of all variables analyzed, related to corn productivity, were obtained through fertigation with the maximum doses of N and K made available to the plants through fertigation. The use of yellow water associated with cassava wastewater proved to be an excellent option for a compound biofertilizer to be used for corn fertility.

Keywords: Ecological sanitation, human urine, organic fertilization, water reuse.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta monocotiledônea, herbácea, pertencente à família Gramineae/Poaceae de origem tropical, que devido ao seu valor nutritivo e a sua produtividade, assume grande importância social e econômica, sendo um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo (Costa et. al., 2019; Resende Neto et. al., 2024; Ortiz et. al., 2025).

Considerando que as atividades antrópicas produzem águas residuárias ricas em nutrientes e que geralmente estas águas são lançadas nos corpos receptores causando sérios problemas ambientais, uma alternativa de baixo custo é aplicar técnicas de saneamento ecológico, que apresenta como solução, ecologicamente sustentável, a reciclagem dos nutrientes contidos nas águas residuárias tratadas.

Neste contexto, dentre as águas residuárias domésticas ricas em nutrientes, se destacam às águas amarelas que é uma mistura de águas de descarga utilizada nas bacias sanitárias e urina excretada pelo homem. Das excretas humanas a urina contém cerca de 90% do nitrogênio, 50 - 65% do fósforo e 50 - 80% do potássio (Heinonen-Tanski; van Wijk-Sijbesma, 2005).

Segundo Karak e Bhattacharyya (2011) as águas amarelas apresentam rica fonte de nutrientes que vêm sendo utilizados na agricultura desde tempos antigos, porém em termos de pesquisas científicas poucas foram desenvolvidos.

Outra água residuária, que é bastante rica em nutrientes, é a manipueira que é um resíduo líquido gerado nas agroindústrias de beneficiamento de raízes de mandioca para obtenção de farinha e/ou extração da fécula. Segundo Conceição et al. (2013) a manipueira é rica em macro e micronutrientes possível de ser utilizada como potencial fertilizante nos cultivos agrícolas. Tendo em vista a facilidade para a obtenção e o baixo custo da manipueira, a sua utilização como fertilizante pode ser uma alternativa de substituição dos adubos químicos industrializados (Santos et al., 2010).

Como as águas amarelas e a manipueira tratadas apresentam potencialidade para reciclagem de nutrientes, este trabalho objetivou avaliar a produtividade do milho AG 1051, cultivado em condições de campo e fertirrigado com diferentes doses de biofertilizante composto por águas amarelas e manipueira como fonte alternativa nutrientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo entre os meses de agosto de 2019 a janeiro de 2020, em uma área experimental pertencente à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – CEPLAC, Ilhéus – BA (14º75’54,23” S, 39º23’11, 35” W).

Foi utilizado delineamento experimental em blocos ao acaso, composto por quatro blocos, e cinco tratamentos. Cada bloco foi composto por 11 fileiras (linhas laterais) com 04 metros cada, e espaçamento de 0,80 m entre si. O espaçamento entre plantas foi de 0,30 m (14 plantas por fileira). Os tratamentos foram caracterizados por fertirrigações com cinco doses de biofertilizante composto por águas amarelas e manipueira: T1 – 0N0K; T2 – 100N30K; T3 – 130N60K; T4 – 160N90K; T5 – 190N120K. As doses corresponderam em aplicar diferentes quantidades de nitrogênio (N) e potássio (K) em Kg ha^{-1}, levando em consideração a concentração de nitrogênio amoniacal presente nas águas amarela, enquanto que para as doses de K foi considerado as concentrações do nutriente presente nas águas amarelas somados ao K da manipueira.

As águas amarelas foram coletadas em um mictório do banheiro masculino do *campus* Jorge Amado (CJA) da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Para coletar as águas

amarelas foi realizada uma adaptação em um dos mictórios do banheiro masculino (Figura 1).

Figura 1. Mictório adaptado para coleta das aguas amarelas no campus Jorge Amado da UFSB.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na estrutura em madeira, o mictório foi fixado e no ramal de descarga e conectado a um balde plástico com capacidade unitária de 0,045 m^3. Diariamento, o vaso coletor era retirado, e as águas amarelas eram transferidas para tratamento atrvés da estocagem por um período de 30 dias, em bombonas plástica com capacidade volumétrica de 0,150 m^3 mantido hermeticamente fechado.

A manipueira foi coletada em uma casa de farinha localizada na comunidade Santana, zona rural do município de Buerarema, BA.

Após a coleta, a manipueira foi submetida a um processo de tratamento anaeróbio, por um período de 30 dias, em uma bombona plástica com capacidade de 0,240 m^3, mantida fechada durante todo o processo. Na tampa da bombona foi instalada uma mangueira com a outra extremidade mergulhada num recipiente com água na altura de 20 cm, para a saída dos gases gerados durante o processo. Ao termino do processo, uma alíquotas de 1,0 L, de cada efluente e da água utilizada na irrigação foi coletada e transportadas para os laboratórios de águas da CEPLAC e de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para caracterização físico-química (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização das águas amarela, manipueira e água utilizada na irrigação do experimento.

Parâmetros	Águas amarela	Manipueira	Água de irrigação
pH	9,20	3,32	6,50
CE (mS cm^{-1})	24,63	10,37	0,22
DQO (mgO_2 L^{-1})	6439,40	65151,52	-
STD (mg L^{-1})	65,56	162,80	158,36

HCO_3^- (mg L^{-1})	7321,20	1372,73	106,16
CO_3^{2-} (mg L^{-1})	0,00	0,00	0,00
NTK (mg L^{-1})	4938,55	678,00	-
NH_4^+ (mg L^{-1})	4905,39	168,58	-
P (mg L^{-1})	229,90	271,42	0,02
K (mg L^{-1})	1140,00	4700,00	3,50
Na (mg L^{-1})	1552,78	2088,53	41,41
Cl^- (mg L^{-1})	3449,90	0,00	0,00
Ca (mg L^{-1})	1763,52	260,52	36,31
Mg (mg L^{-1})	6590,72	498,56	23,20
Fe (mg L^{-1})	0,16	6,15	0,20
Zn (mg L^{-1})	0,12	2,32	0,00
Mn (mg L^{-1})	0,01	0,27	0,05
Cu (mg L^{-1})	0,05	0,42	0,00

Legenda: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; DQO: Demanda Química de Oxigênio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; HCO_3^- : Bicarbonato: CO_3^{2-}: Carbonato; NTK: Nitrogênio Total *Kjeldahl;* NH_4^+: nitrogênio amoniacal; K: Potássio; Na: Sódio; Cl^-: Cloreto; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Mn: Manganês e Cu: Cobre.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Para instalação do experimento, inicialmente foi realizada a limpeza da área por meio de roçagem e capina manual. Posteriormente, uma amostra do solo foi coletada na profundidade de 0 a 15 cm e encaminhada para caracterização físico-química e de salinidade no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Quanto as características físicas o solo apresentou densidade de 1,08 g cm^{-3}, porosidade de 60,29%, classe textural franco (45,82% de areia, 36,19% de silte e 17, 9% de argila). Características de fertilidade, pH de 6,44 (H_2O); condutividade elétrica de 0,25 dS m^{-1}; 1,38% de carbono orgânico, 2,38% de matéria orgânica, 0,0 $cmol_c$ dm^{-3} de Al; 5,17 $cmol_c$ dm^{-3} de Mg; 10,5 $cmol_c$ dm^{-3} de Ca; 0,31 $cmol_c$ dm^{-3} de K; 0,24 $cmol_c$ dm^{-3} de Na; 3,08 $cmol_c$ dm^{-3} de P assimilável. Salinidade: solo normal, com pH do extrato de saturação de 6,47; CE do estrato de saturação é de 0,69 dS m^{-1}; PST de 50,67%; 2,87 $cmol_c$ L^{-1} de Ca; 1,88 $cmol_c$ L^{-1} de Mg; 1,88 $cmol_c$ L^{-1} de Na e RAS de 1,22.

Na área limpa, foi realizado a instalação de um sistema de irrigação localizada por gotejamento, utilizando-se gotejadores autocompensantes com vazão de 0 a 4,0 L h^{-1}. Os gotejadores foram instalados com distância de 60 cm entre si, em linhas laterais em tubos de polietileno com diâmetro de 16 mm.

Para irrigação era utilizada água subterrânea, captada em um poço próximo a área experimental. A água era armazenada em um reservatório apoiado com capacidade para 1,0 m^3. A água do reservatório era pressurizada para as linhas de irrigação através de um conjunto motobomba elétrico de 1/5 CV, que quando necessário era acionado através de um acionador

automático para irrigação (ASI) (Medici et al., 2010), confeccionado de acordo com os procedimentos metodológicos descrito por Oliveira Junior (2016).

A semeadura foi realizada no dia 02 de outubro de 2019, de forma direta, ou seja, após a limpeza da área, montagem e calibração do sistema de irrigação, realizou-se as aberturas das covas e procedeu-se com o plantio de 03 sementes do milho, cultivar AG 1051. Aos 15 dias após a emergência (DAE) realizou-se o desbaste deixando-se apenas uma planta por cova. Não foi realizada nenhuma aplicação de fertilizante mineral, apenas as fertirrigações correspondentes aos tratamentos propostos.

As fertirrigações foram parceladas em 3 vezes e aplicadas aos 23, 35 e 47 DAE, através de um sistema pressurizado composto por uma bombona plástica com capacidade unitária para 0,150 m^3 e um conjunto motor elétrico e bomba de ½ CV conectado na linha principal do sistema de irrigação. Neste caso, para cada aplicação adicionava-se as quantidades dos efluentes de águas amarela e manipueira, conforme as quantidades previamente determinadas, acrescentava-se mais água até obter uma concentração de 10%, fechava-se os registros das linhas laterais, que não iriam receber os tratamentos e acionava o conjunto motobomba. Esse procedimento era repetido para aplicação de cada tratamento.

Quando as plantas chegaram no último estágio de desenvolvimento vegetativo (maturidade fisiológica), foi realizado a colheita das espigas para avaliação da produtividade do milho. Para estas avaliações, foram colhidas e despalhadas cinco espigas de cada linha e colocadas em sacos plásticos, devidamente identificados e levadas para secagem natural no Laboratório de Biodiversidade no Centro de Formação Ciências Agroflorestais, localizado na CEPLAC. Após a secagem as espigas foram pesadas e posteriormente debulhadas para avaliação das seguintes variáveis de produtividade: massa seca da espiga (MSE), realizado através da pesagem das espigas sem palha e depois divido pela quantidade de espigas; massa dos grãos por espiga (MSGE), realizado através da pesagem dos grãos de cada espiga amostrada; e massa de 100 grãos (M100g), realizado através da pesagem de 100 grãos - eram retirados duas amostras de 100 grãos, esse procedimento foi repetido em quatro espigas por tratamento, totalizando oito amostras de 100 grãos por tratamento.

Os resultados das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F, para verificação dos efeitos utilizando o software ASSISTAT v. 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em conformidade com a Tabela 2, observa-se que houve diferença estatística significativa entre tratamentos ($p < 0,01$) para todas as três variáveis (MSE, MSGE e M100g) analisadas, ou seja, as fertirrigações com as diferentes quantidades dos nutrientes N e K proporcionaram efeitos na produtividade do milho.

Todas as médias da massa seca da espiga (MSE), apresentaram diferença estatística significativa entre si para todos os tratamentos aplicados. A máxima média foi de 301,75 g obtida com as fertirrigações correspondentes as aplicações do biofertilizante nas quantidades de 190 kg de nitrogênio e potássio 120 kg de potássio por hectare. Como era de se esperar, a mínima média da MSE foi de 227,00 g obtida com o tratamento sem aplicação de fertilizante (T1 0N0K) (Tabela 2).

Tabela 2: Resumo do quadrado médio e médias da massa da espiga (MSE), massa dos grãos por espiga (MSGE) e massa de 100 grãos (M100g), de milho fertirrigado com biofertilizante composto por águas amarelas e manipueira correspondente a diferentes dosagens de NK.

		Quadrado Médio		
FV	**GL**	**MSE**	**MSGE**	**M100g**
Bloco	3	1369,783^{ns}	617,215^{ns}	22,819**
Tratamentos	4	4015,825**	2206,630**	23,094**
Resíduo	12	450,992	274,008	2,823
DMS	-	47,888	37,327	3,789
CV%	-	7,90	7,93	5,16
Tratamentos		**.....Medias (g).....**		
T1 – (0N0K)		227,000c	178,820c	29,502c
T2 - (100N30K)		251,500bc	195,293bc	31,850bc
T3 - (130N60K)		264,750abc	205,410abc	31,530bc
T4 - (160N90K)		298,250ab	235,313a	34,105ab
T5 - (190N120K)		301,750a	229,073ab	35,690a

Legenda: FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; ($^{ns, **, *}$) - Não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Elaboração própria, 2025.

As médias da variável massa seca dos grãos por espigas (MSGE) também apresentaram diferença estatística significativa entre si para todos os tratamentos aplicados. A máxima e mínima médias da MSGE foram de 235,313 e 178,820 g obtidas através das aplicações dos tratamentos T4 e T1, respectivamente.

Para a variável M100g, as médias diferenciaram estatisticamente entre si com as aplicações do tratamento T1, T4 e T5, as demais não diferenciaram. A máxima média da

M100g foi de 35,690 g obtida com as fertirrigações correspondentes a aplicações de 190 kg de N e 120 kg de K por hectare (T5). A mínima média da M100g foi de 29,502 g, também observada para o tratamento que não foi aplicado biofertilizante ou fertilizante (T1, sem fertirrigação). Esses resultados corroboram com os btidos por Araújo et al., (2017), que ao avaliarem o cultivo do milho Potiguar fertirrigado com urina humana, manipueira e essas associadas entre sí e a NPK, cultivado em vaso e ambiente protegido obtiveram médias de 142,56; 116,89 e 21,72 g para as variáveis MSE, MGE e M100g, respectivamente, quando o milho foi fertirrigado com urina mais manipueira como fonte de NPK.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que as fertirrigações com o biofertilizante composto por águas amarelas e manipueira influenciou positivamente todas as variáveis da produtividade do milho, indicando que os nutrientes aplicados foram bem assimilados pelas plantas de milho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fertirrigações com correspondentes as aplicações aplicações de 190 kg de nitrogênio por hectare e 120 kg de potássio por hectare do biofertilizante composto por águas amarelas associada a manipueira, demonstrou ser uma alternativa para elevar a produtividade do milho em sistema agroecológico.

As máximas médias de todas as variáveis analisadas, foram obtidas através das fertirrigações com as máximas dosagens de N e K disponibilizadas para as plantas através das fertirrigações.

O uso de águas amarelas associadas a manipueira mostrou-se ser uma ótima opção de biofertilizante composto a ser utilizado da fertilidade do milho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CEPLAC de Ilhéus, BA pelo apoio na caracterização da água utilizada na irrigação e alguns parâmetros dos biofertilizantes, bem como pela disponibilidade área para condução do experimento; a FAPESB pela concessão de bolsa de Iniciação Científica; e a UFSB, pelo auxílio financeiro (via Edital de apoio a pesquisa).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; SENA, L. F.; LIMA, G. S.; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. (2019). Produção de milho 'Potiguar' fertirrigado com água amarela e manipueira. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(1): 166-174. https://doi.org/10.19084/RCA18170

CONCEIÇÃO, A. A.; RÊGO, A. P. B.; SANTANA, H.; TEIXEIRA, I.; CORDEIRO MATIAS, A. G. C. (2013). Tratamento de efluentes resultantes do processamento da mandioca e seus principais usos. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 4 (2), 118-130.

COSTA, I. L. D. PARANATINGA, R. J. B. PEREIRA, F. C. SANTOS, P. C. OLIVEIRA. (2019). Avaliação do crescimento de plantas jovens de milho cultivadas em diferentes tipos de solo. *Scientific Electronic Archives*, 12 (1): 10 - 14. Disponível em: <http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=617&path%5B%5D=pdf>. Acesso em 26 de agosto de 2025.

HEINONEN-TANSKI, H.; VAN WIJK-SIJBESMA, C. (2005). Human excreta for plant production. *Bioresource Technology*, 96 (4), 403-411.

KARAK, T.; BHATTACHARYYA, P. (2011). Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. *Resources, Conservation and Recycling*, 55 (4), 400-408.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S.; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. (2010). Automatic controller to water plants. *Scientia Agricola*, 67 (6), 727-730.

OLIVEIRA JUNIOR, A. G. (2016). *Utilização de acionador simplificado de baixo custo para manejo de irrigação de mudas de Aroeira – Pimenteira (Schinus terebinthifolius)*. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura Orgânica). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

ORTIZ, S.; FULANETI, F. S.; BRASIL NETO, E. S.; STECCA, J. D. L.; PINTO, H. R.; MACALIN, G. T.; SPETH, L. A. L.; MARTIN, T. N. (2025). Análise de crescimento em genótipos de milho para produção de silagem e grãos. *REVISTACADERNOPEDAGÓGICO,* 22 (1): 01-21. 10.54033/cadpedv22n1-189

RESENDE NETO, G. L.; MODESTO, A. O.; SILVA, F. B.; BORGES, D. F. (2024). AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO MILHO (Zea mays L.) SOBRE DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO NO SOLO. *Revista Gestão, Tecnologia e Ciências (GETEC)*, 14: 191-198. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/3363>. Acesso em 26 de agosto de 2025.

SANTOS, M. H. V.; ARAÚJO, A. C.; SANTOS, D. M. R.; LIMA, N. S.; LIMA, C. L. C.; SANTIAGO, A. D. (2010). Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casa-de-vegetação. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32 (4), 729-733.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. (2016). They assistat software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research (AJAR)*, 11 (39): 3733 – 3740. 10.5897/AJAR2016.11522.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117264

USO DE CASCAS RESIDUAIS DE BANANAS COMBINADAS COM ESTERCO NA ADUBAÇÃO DE COENTRO

Ana Carolina de Melo Vasconcelos[1], Ana Vitória Rocha Ramos[2], Rosana Yuki Takakura[3] e Elizangela Maria de Souza[4]

[1]Graduanda em Agronomia, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, anamelo.vasconcelos@gmail.com, ORCID: 0009-0006-1487-5352
[1]Graduanda em Agronomia, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, ana.vitoria14@aluno.ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0009-0007-5905-0167.
[31]Graduanda em Agronomia, IFSertãoPE Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina-PE, Brasil, rosana.yuki@aluno.ifsertão-pe.edu.br, ORCID: 0009-0004-2108-356X.
[4]Doutora em Zootecnia, Docente, IF Sertão-PE, Petrolina-PE, Brasil, elizangela.maria@ifsertao-pe.edu.br, ORCID: 0000-0002-8949-3774.

Eixo Temático 12 – Agricultura Valorização de resíduos: biossólidos e outros.

RESUMO

Sabe-se que uso de biorresíduos na plantação melhora a saúde e a fertilidade do solo, aumenta a retenção de água, reduz custos com fertilizantes químicos, diminui a produção de gases de efeito estufa e estimula microrganismos benéficos que aumentam a resistência das plantas contra pragas e doenças, resultando em maior produtividade. Diante do contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o uso de diferentes compostos orgânicos, como, terra de canteiro, cascas residuais de bananas associados a esterco ovinos e caprinos, e bokashi comercial no desenvolvimento de coentro (*Coriandrum sativum*). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC): três tratamentos em triplicata, sendo: T1- terra do canteiro; T2- cascas residuais de bananas misturadas a esterco ovino e caprino e T3 – bokashi comercial. Foram preparados nove canteiros (180 × 50 cm), três para cada tratamento, contendo seis covas cada (10 cm de profundidade, espaçamento de 20 cm entre fileiras). Em cada cova foram semeadas nove sementes de coentro, totalizando 54 sementes por canteiro. Ao final de 34 dias de plantio, foram realizados parâmetros biométricos quanto ao: comprimento da parte áerea, números de hastes por planta, massa fresca da raiz e massa freca do maço sem raízes. Os resultados obtidos demonstraram que a utilização da cascas residuais de bananas associadas a esterco apresentou efeito positivo no desempenho vegetativo do coentro, quanto ao comprimento da raiz, e não diferiu com o bokashi quanto ao comprimento total da parte aerea. Embora o bokashi comercial tenha se destacado em alguns parâmetros, o tratamento com casca cascas residuais de banana associada a esterco, evidenciou potencial para utilização como alternativa sustentável na adubação, sobretudo em sistemas de base familiar e de baixo custo.

Palavras-chave: agricultura sustentável; bioresíduos; *Coriandrum sativum*.

INTRODUÇÃO

Os resíduos provenientes das atividades agroindustriais são, em sua maioria, derivados do processamento de frutas destinadas à produção de polpas, abrangendo cascas, caroços, sementes e bagaço. A quantidade gerada apresenta variações associadas à sazonalidade, ao período de

colheita e à extensão das áreas cultivadas. Quando não recebem tratamento adequado, esses resíduos podem representar passivos ambientais; contudo, seu reaproveitamento em processos como compostagem, produção de bioenergia e formulação de insumos agrícolas constitui uma alternativa sustentável para reduzir impactos ambientais e agregar valor à cadeia produtiva (RICARDINO; SOUZA; SILVA NETO, 2020).

A matéria orgânica desencadeia efeitos globais no que diz respeito à melhoria físico-química e biológica das plantas, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SOUZA *et al*., 2012). A agroindústria é um dos seguimentos que mais produz resíduos orgânicos atualmente no Brasil, o descarte desses produtos muitas vezes é feito de forma incorreta o que leva à poluição do meio ambiente e à impossibilidade de reutilização dos mesmos.

O reaproveitamento de resíduos orgânicos para fins agrícolas vem despertando interesse tanto por proporcionar redução dos impactos ambientais, quanto pela produção de insumos agrícolas, gerando benefícios econômicos, sociais e ambientais. A banana é uma das principais frutas produzidas e consumidas no Brasil, e a sua industrialização resulta na geração de grandes quantidades de resíduos (RUELLA, 2021).

Dessa forma, o aproveitamento de resíduos de frutas, principalmente as cascas, como matéria-prima na elaboração de novos produtos é de grande interesse econômico e tem representado um segmento importante nas agroindústrias, pois agrega valor aos subprodutos e reduz o acúmulo dos mesmos.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a produção do uso de diferentes compostos orgânicos, como, terra de canteiro, cascas residuais de bananas associados a esterco ovinos e caprinos, e bokashi comercial no desenvolvimento de coentro (*Coriandrum sativum*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Horta do IFSertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC): três tratamentos em triplicata, sendo: T1- terra do canteiro; T2- cascas residuais de bananas misturadas a esterco ovino e caprino e T3 – bokashi comercial (Fig.1 A,B,C). Foram preparados nove canteiros (180 × 50 cm), três para cada tratamento, contendo seis covas cada (10 cm de profundidade, espaçamento de 20 cm entre fileiras). em triplicata. Foram preparados nove canteiros (180 × 50 cm), três para cada tratamento, contendo seis covas cada (10 cm de profundidade, espaçamento de 20 cm entre fileiras). Em cada cova foram semeadas nove sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.), totalizando 54 sementes por canteiro. Os resíduos de cascas de banana e esterco de

ovinos/caprinos foram produzidos na proporção de 0,5–1kg/m². A irrigação foi realizada diariamente e o controle de plantas espontâneas por capina manual. A colheita ocorreu 35 dias após a semeadura, coletou-se 20 indivíduos de cada tratamento para realização de parâmetros biométricos, como: comprimento total da parte área, comprimento da raiz, massa fresca da parte area e massa fresca da raiz.

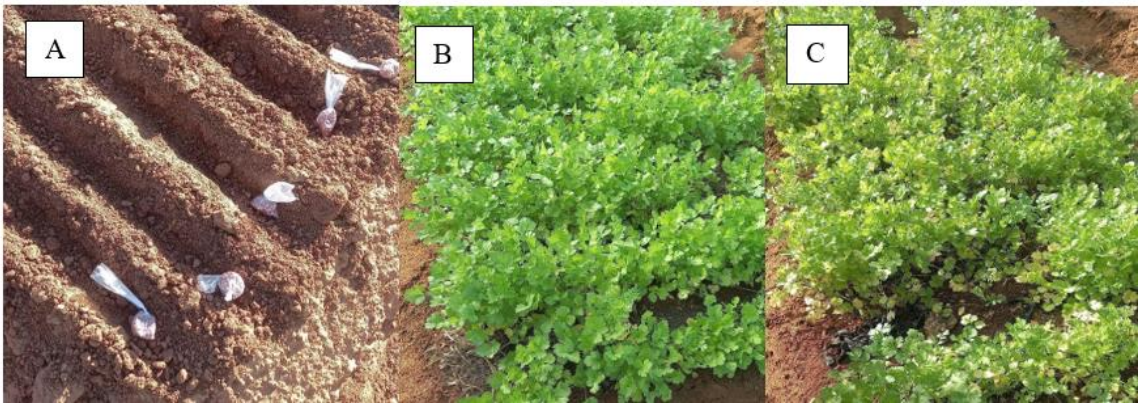


Fig 1. Semeadura em fileiras (A). Coentro com uso de bokashi comercial. (B) e Coentro com resíduos de cascas de bananas e esterco (C). **Fonte:** arquivo pessoal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos diferentes tratamentos evidenciou que tanto o resíduo de casca de banana quanto o bokashi comercial influenciaram positivamente as variáveis de crescimento e produção analisadas, em comparação ao tratamento controle. No parâmetro massa fresca das raízes, o resíduo de casca de banana apresentou média de 46,33 g, valor inferior ao do bokashi comercial (57,14 g), mas ainda superior ao controle (36,16 g). O CV foi de 34,69%, considerado alto, o que sugere influência de variações ambientais sobre essa característica. Estatisticamente, observou-se diferença significativa entre os tratamentos, com o bokashi sendo superior ao resíduo de casca de banana, e ambos diferindo do controle (Tabela 1). Esses resultados indicam que o bokashi contribui de maneira mais efetiva para o acúmulo de biomassa radicular.

Tabela 1 – Massa fresca das raízes (g) em função dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de banana	46,33 **b**	34,69
T2: Bokashi comercial	57,14 **a**	
T3: Controle	36,16 **c**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

De acordo com Régis (2017) a adição de doses crescentes de bokashi, observou-se aumento linear da produção para a maioria das variáveis estudadas no desenvolvimento do coentro.

Em relação a massa fresca da parte aérea dos maços (sem raiz), o bokashi comercial novamente apresentou maior média (215,87 g), superando o resíduo de casca de banana (141,31 g) e o controle (92,52 g). O CV registrado foi de 30,57%, considerado elevado, refletindo variação expressiva entre as repetições. Ainda assim, a análise estatística evidenciou diferenças significativas entre os três tratamentos (215,87a; 141,31b; 92,52c), reforçando que o bokashi foi mais eficiente em promover incremento de biomassa aérea e produtividade (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa fresca dos maços sem raiz (g) em função dos diferentes tratamento.

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de banana	141,31 **b**	30,57
T2: Bokashi comercial	215,87 **a**	
T3: Controle	92,52 **c**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Na análise do comprimento das raízes, o resíduo de casca de banana apresentou o melhor desempenho (13,08 cm), seguido pelo bokashi (11,80 cm) e pelo controle (9,40 cm). O CV foi de 23,91%, considerado moderado, indicando boa consistência experimental. Conforme Estatisticamente, todos os tratamentos diferiram entre si (13,08a; 11,80b; 9,40c), confirmando que tanto o resíduo de casca de banana quanto o bokashi proporcionaram maior desenvolvimento radicular em comparação ao controle (Tabela 3).

Tabela 3 – Comprimento das raízes (cm) em função dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de banana	13,08 **a**	23,91
T2: Bokashi comercial	11,80 **b**	

T3: Controle	9,40 **c**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

No comprimento total da parte aérea, não houve diferença significativa entre o resíduo de casca de banana (27,63 cm) e o bokashi comercial (29,20 cm), ambos superiores ao controle (23,01 cm). O CV foi de 14,30%, considerado baixo, o que demonstra elevada precisão experimental. A análise estatística mostrou que bokashi e resíduo de casca de banana pertencem ao mesmo grupo (27,63a; 29,20a), diferindo do controle (23,01b). Isso confirma que tanto o uso de resíduos orgânicos quanto de adubos comerciais têm potencial semelhante para promover o crescimento vegetativo da cultura (Tabela 4).

Tabela 4 – Comprimento total da parte aérea (cm) em função dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Médias	CV%
T1: Resíduo de casca de banana	27,63 **a**	14,30
T2: Bokashi comercial	29,20 **a**	
T3: Controle	23,01 **b**	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

De maneira geral, os resultados obtidos indicam que os diferentes tratamentos de adubação influenciaram significativamente tanto o desenvolvimento aéreo quanto no desenvolvimento radicular das plantas. Observou-se que os tratamentos com maior aporte nutricional promoveram aumento no comprimento total da parte aérea e na biomassa fresca aérea, além de favorecer o desenvolvimento do comprimento das raízes, refletindo em maior capacidade de absorção de água e nutrientes. A correlação positiva entre a massa fresca radicular e o comprimento das hastes sugere que estratégias de adubação que promovam a robustez do sistema radicular podem resultar em plantas mais vigorosas e produtivas. Assim, os dados obtidos, validados pela ANOVA e pelo teste de Tukey a 99% de confiabilidade, confirmam a importância da nutrição adequada para otimizar o desempenho do coentro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a utilização da casca residual de banana associada a esterco (ovino e caprino) como insumo orgânico apresenta efeito positivo no desempenho

agronômico do coentro, refletindo em incremento no crescimento vegetativo, no desenvolvimento radicular e no acúmulo de biomassa fresca. Embora o bokashi comercial tenha se destacado em alguns parâmetros, o tratamento com resíduo de casca de banana evidenciou potencial para utilização como alternativa sustentável na adubação, sobretudo em sistemas de base familiar e de baixo custo.

O aproveitamento desse resíduo agrícola, além de contribuir para a redução de passivos ambientais, favorece o aporte de matéria orgânica ao solo, melhorando suas condições físicas, químicas e biológicas. Nesse sentido, o uso da casca de banana pode configurar-se como estratégia de manejo sustentável, alinhada aos princípios da agricultura orgânica e agroecológica.

Reforça-se, portanto, a necessidade de novas pesquisas que avaliem diferentes concentrações, modos de aplicação e interações com outros fertilizantes orgânicos, de forma a estabelecer protocolos agronômicos mais robustos e eficientes. Assim, o resíduo de casca de banana apresenta-se como um recurso promissor para incrementar a fertilidade do solo e a produtividade de hortaliças de interesse econômico, como o coentro, consolidando-se como alternativa viável no contexto da agricultura familiar e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARTINS, Q. S. A. et al. Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 591-608, 2019.

RÉGIS, Léa Márcia dos Santos. **Produção de coentro em função de doses do adubo orgânico bokashi**. Orientador: Tadeu Reis. 2017. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agronômica) - Departamento de Ciências Humanas, Campus IX, Universidade do Estado da Bahia. Barreiras-BA, 2017.

RUELLA, Priscilla Rodrigues. **Produção de mudas de hortaliças orgânicas e de microverdes em substratos formulados com composto de casca de banana**. 2021. 38 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021.

RICARDINO, I.E.F; SOUZA, M.N.C.; SILVA NETO, I.F. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v.1, p.55-78, 2020.

29, 30 E 31 OUTUBRO DE 2025
II SANEA BRASIL
Congresso Internacional de Saneamento Rural
Mudanças Climáticas: Um novo Desafio para o Saneamento Rural
RESUMO EXPANDIDO

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117330

VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DO CHÁ VERDE (*Camellia sinensis*) PARA A BIOSSÍNTESE DE NANOFERTILIZANTES

VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL TÉ VERDE (Camellia sinensis) PARA LA BIOSÍNTESIS DE NANOFERTILIZANTES

VALORIZATION OF SOLID WASTE FROM GREEN TEA (Camellia sinensis) FOR THE BIOSYNTHESIS OF NANOFERTILIZERS

Emmily Nayara[1], Bárbara Santana[2], Giovanna Vilela[3] e Édipo Almeida[4].

[1]Discente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Brasil, emmily.nayara@ufrpe.br , nº de ORCID: 0009-0008-8161-5926;
[2]Discente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Brasil, barbara.santanas@ufrpe.br , nº de ORCID: 0009-0000-0713-6881;
[3]Discente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Brasil, giovanna.vilela@ufrpe.br , nº de ORCID: 0009-0008-3155-6550;
[4]Docente, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Belo Jardim, Brasil, edipo.almeida@ufrpe.br , nº de ORCID: 0000-0002-9421-9091.

Eixo Temático 12 – Agricultura
Valorização de resíduos: biossólidos e outros.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo sintetizar nanopartículas de óxido de cobre a partir do resíduo sólido de chá verde (*Camellia sinensis*) e avaliar seus efeitos na germinação e no vigor de sementes de milho (*Zea mays*). As nanopartículas foram obtidas por rota aquosa mediada por extrato vegetal e caracterizadas por difração de raios X, espectroscopia no infravermelho, espalhamento dinâmico de luz e microscopia eletrônica de transmissão. Para aplicação, prepararam-se suspensões de 0, 50, 100 e 150 mg/L e as sementes foram submetidas à embebição; avaliaram-se percentual e velocidade de germinação, comprimento de plântulas e massa seca. Observou-se resposta de dose-efeito, com 100 mg/L apresentando os melhores resultados, enquanto 150 mg/L reduziu todos os indicadores. Os achados evidenciam o potencial da valorização de resíduos via síntese verde como insumo de baixo impacto para a agricultura no contexto do saneamento rural.

Palavras-chave: Síntese verde; Valorização de resíduos; Óxido de cobre; Germinação de sementes; *Zea mays*.

RESÚMEN

El objetivo de este estudio fue sintetizar nanopartículas de óxido de cobre a partir de residuos sólidos de té verde (*Camellia sinensis*) y evaluar sus efectos en la germinación y el vigor de las semillas de maíz (*Zea mays*). Las nanopartículas se obtuvieron por vía acuosa mediada por extracto vegetal y se caracterizaron mediante difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja, dispersión dinámica de luz y microscopía electrónica de transmisión. Para su

aplicación, se prepararon suspensiones de 0, 50, 100 y 150 mg/L y se sometieron las semillas a remojo; se evaluaron el porcentaje y la velocidad de germinación, la longitud de las plántulas y la masa seca. Se observó una respuesta dosis-efecto, con 100 mg/L presentando los mejores resultados, mientras que 150 mg/L redujo todos los indicadores. Los hallazgos evidencian el potencial de la valorización de residuos mediante síntesis verde como insumo de bajo impacto para la agricultura en el contexto del saneamiento rural.

Palabras clave: Síntesis verde; Valorización de residuos; Óxido de cobre; Germinación de semillas; *Zea mays*.

ABSTRACT

This study aimed to synthesize copper oxide nanoparticles from green tea (*Camellia sinensis*) solid waste and evaluate their effects on the germination and vigor of corn (*Zea mays*) seeds. The nanoparticles were obtained by an aqueous route mediated by plant extract and characterized by X-ray diffraction, infrared spectroscopy, dynamic light scattering, and transmission electron microscopy. For application, suspensions of 0, 50, 100, and 150 mg/L were prepared, and the seeds were subjected to soaking; germination percentage and speed, seedling length, and dry mass were evaluated. A dose-response was observed, with 100 mg/L showing the best results, while 150 mg/L reduced all indicators. The findings highlight the potential for waste recovery via green synthesis as a low-impact input for agriculture in the context of rural sanitation.

Keywords: Green synthesis; Waste valorization; Copper oxide; Seed germination; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

A valorização de resíduos agroindustriais por rotas de síntese verde tem emergido como estratégia para integrar economia circular e agricultura sustentável, reduzindo passivos e gerando insumos de alto valor agregado (Maqsood et al. 2025). Entre os óxidos metálicos de interesse, as nanopartículas de óxido de cobre (CuO NPs) apresentam propriedades relevantes para sistemas agrícolas, com potencial para promover germinação e crescimento inicial de plântulas quando obtidas por rotas biogênicas mediadas por extratos vegetais, mais seguras do que métodos químicos convencionais (da Silva Almeida et al. 2025).

Neste contexto, o resíduo sólido de chá verde (*Camellia sinensis*) constitui fonte renovável de biomoléculas capazes de atuar como agentes redutores e estabilizantes na biossíntese de nanopartículas de óxido de cobre (CuO NPs), favorecendo controle de tamanho, estabilidade coloidal e desempenho funcional quando comparadas a rotas químicas convencionais. Evidências em trabalhos recentes mostram que extratos vegetais modulam propriedades físico-químicas de CuO NPs e podem impactar respostas fisiológicas iniciais de sementes quando aplicadas em protocolos adequados, o que reforça o potencial agronômico dessa abordagem (Khan, Piccolella, and Pacifico 2025; da Silva Almeida et al. 2025).

O presente estudo foi realizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Belo Jardim (UABJ), em Belo Jardim, PE, entre abril e agosto de 2025. O objetivo foi sintetizar CuO NPs por via verde a partir do resíduo de chá verde, caracterizar propriedades estruturais e coloidais e avaliar sua aplicação na germinação e no vigor de plântulas de milho (*Zea mays*) como prova de conceito para o uso seguro de nanomateriais derivados de resíduos vegetais em sistemas agrícolas. Ao conectar a valorização de resíduos com ganhos potenciais de desempenho agronômico inicial, o estudo se alinha ao eixo de Agricultura focado em valorização de resíduos e às diretrizes de sustentabilidade do saneamento rural.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria-prima

O preparo e armazenamento da matéria-prima seguiu o disposto por Silva Almeida et al. (2025), com poucas modificações. O resíduo sólido de chá verde (*Camellia sinensis*) foi obtido em comércio local de Belo Jardim, PE. O material vegetal foi selecionado, submetido a secagem em estufa de circulação de ar (≤ 50 °C) até massa constante, triturado em moinho de facas (granulometria padronizada) e acondicionado em sacos de polietileno, sendo armazenado sob refrigeração (≈ 4 °C) até o uso.

Síntese verde das nanopartículas de óxido de cobre

As CuO NPs foram obtidas por rota aquosa mediada por extrato in natura de *Camellia sinensis*, adaptada de Almeida et al. (2025). A Figura 1 descreve resumidamente o fluxo experimental desde o preparo do extrato até a aplicação nas sementes. Brevemente, preparou-se o extrato na proporção 1:10 (m/v); em seguida, 40 mL do extrato foram misturados a 2,0 g de $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ sob agitação magnética a 80 °C por 2 h. O pH do meio foi monitorado (ambiente ácido, pH ~ 4), sem ajustes. Ao término, a suspensão foi centrifugada (5.000 rpm, 30 min), o sólido recuperado foi lavado com água destilada até remoção de nitratos residuais, filtrado a vácuo, seco (60 °C/24 h) e calcinado (400 °C/2 h). O pó obtido foi desaglomerado, acondicionado em frasco âmbar e armazenado em dessecador até caracterização e uso.

Caracterização das nanopartículas

A difração de raios X foi empregada para identificar a fase/cristalinidade do CuO e estimar o tamanho de cristalito: as medidas foram realizadas em um Rigaku MiniFlex 600, utilizando radiação Cu Kα (λ = 1,5418 Å), com o equipamento operando a 40 kV e 30 mA,

filtro de níquel na ótica secundária e fenda de divergência de 1°; a faixa de 2θ de 20º-80° foi varrida com incrementos de 0,02° por passo, e o tamanho de cristalito foi calculado a partir dos padrões de DRX pela equação de Scherrer conforme descrito por (da Silva Almeida et al. 2025).

A espectroscopia FTIR (Shimadzu IRPrestige-21/8400S) foi utilizada para monitorar grupos funcionais do extrato e das NPs e confirmar a banda Cu–O, evidenciando redução/capping por biomoléculas do chá verde. A caracterização coloidal contemplou a análise de espalhamento de Luz Dinâmico (DLS) (Microtrac Nano-flex S3000/S3500, Particle Metrix) para o tamanho hidrodinâmico e potencial zeta-ζ (Nano-flex Stabino, Particle Metrix) para a carga superficial/estabilidade eletrostática. Por fim, a Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) (JEOL JEM-1011) foi utilizada para inspecionar morfologia e tamanho por número das partículas, complementando as informações do DLS.

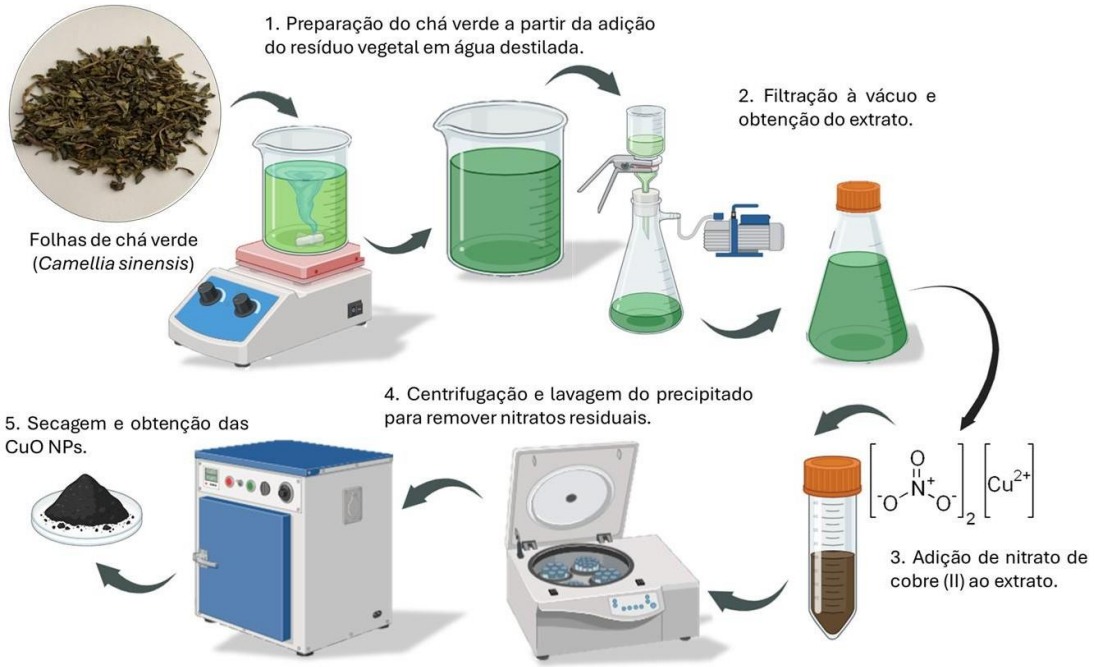


Figura 1. Resumo da metodologia empregada na síntese verde das CuO NPs
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Aplicação das nanopartículas em sementes de milho

As suspensões de CuO NPs foram preparadas nas concentrações de 0 $mg \cdot L^{-1}$, 50 $mg \cdot L^{-1}$, 100 $mg \cdot L^{-1}$ e 150 $mg \cdot L^{-1}$ e aplicadas por embebição das sementes de milho (*Zea mays*). Para cada concentração foram utilizadas 25 sementes selecionadas aleatoriamente. As sementes previamente desinfetadas foram imersas nas suspensões por período controlado em

ambiente escuro, e distribuídas em papel Germitest umedecido com a respectiva solução de tratamento. Os rolos de papel foram acondicionados em sacos plásticos para evitar perda de umidade e armazenados em câmara de germinação a 25 ± 2 °C, com fotoperíodo de 12 h, durante 10 dias. Ao final do período, foram avaliados o percentual de germinação, o comprimento de radícula e parte aérea e a massa seca das plântulas, conforme descrito por Moraes et al. (2022) e Porto et al. (2021). Os dados foram submetidos a análise estatística com comparação de médias pelo teste de Tukey, adotando nível de significância de $p \leq 0{,}05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tamanho, estabilidade, composição e morfologia das CuO NPs

A Figura 2 apresenta os perfis de DLS, potencial zeta, FTIR e DRX das amostras de CuO NPs. Pelo DLS, o tamanho médio obtido de ~54 ± 5 nm (Figura 2a) indica alta razão área/volume, o que amplia a disponibilidade de sítios ativos de superfície e a interação com substratos biológicos; ao mesmo tempo, tamanhos nessa faixa podem inibir eventos de agregação caso a repulsão eletrostática seja insuficiente (Silva Almeida et al. 2025).

Consistente com isso, o potencial zeta ≈ −24 mV (Figura 2b) aponta estabilidade coloidal moderada (repulsão razoável, mas abaixo do patamar $|\zeta| \gtrsim 30$ mV associado a alta estabilidade). Os valores de tamanho hidrodinâmico na faixa de dezenas de nanômetros, associados a ζ negativo moderado, são consistentes com rotas verdes em que polifenóis e outros metabólitos atuam como agentes de redução e capping, conferindo repulsão eletrostática e estabilização parcial por barreiras estéricas. Tendências semelhantes foram reportadas em sínteses com extratos vegetais, inclusive nos estudos de Almeida et al. (2025) e Morales-Lozoya et al. (2021), nos quais a composição do extrato modulou tanto o tamanho quanto a estabilidade coloidal de nanometais. Esses resultados sustentam que a matriz do chá verde desempenha papel ativo na nucleação/crescimento das partículas e na sua estabilidade em suspensão.

A partir do ensaio em espectroscopia em FTIR (Figura 2c) observam-se bandas em 3489 cm^{-1} referente ao estiramento O–H de água/biofenóis, típica de extratos e de NPs com alta área superficial, 1712 cm^{-1} do estiramento C=O de carbonilas/ésteres, 1511 cm^{-1} da vibração C=C do anel aromático/amide II de biomoléculas. As bandas de O–H e C=O do extrato, combinadas com a redução de intensidade nas NPs, indicam envolvimento direto de grupos funcionais no capping da superfície, um comportamento relatado em rotas verdes de

CuO. A banda em 1115 cm^{-1} referente à grupos C–O/C–O–C de alcoóis/éteres/polissacarídeos, 788 cm^{-1} de Cu–O–Cu em modo de flexão e 544 cm^{-1} referente à ligação Cu–O (Kang et al. 2007; Silva Almeida et al. 2025). Nas NPs, a menor intensidade de transmitância frente ao extrato indica que parte desses grupos está envolvida na redução e no *capping*, adsorvida/ligada à superfície e, portanto, menos "livre" no espectro. Além disso, a banda em torno de 520-540 cm^{-1} confirma Cu-O (CuO, tenorita), e a ausência do sinal próximo de ~624 cm^{-1} (cuprita, Cu_2O) reforça a formação de CuO como fase predominante (Silva Almeida et al. 2025).

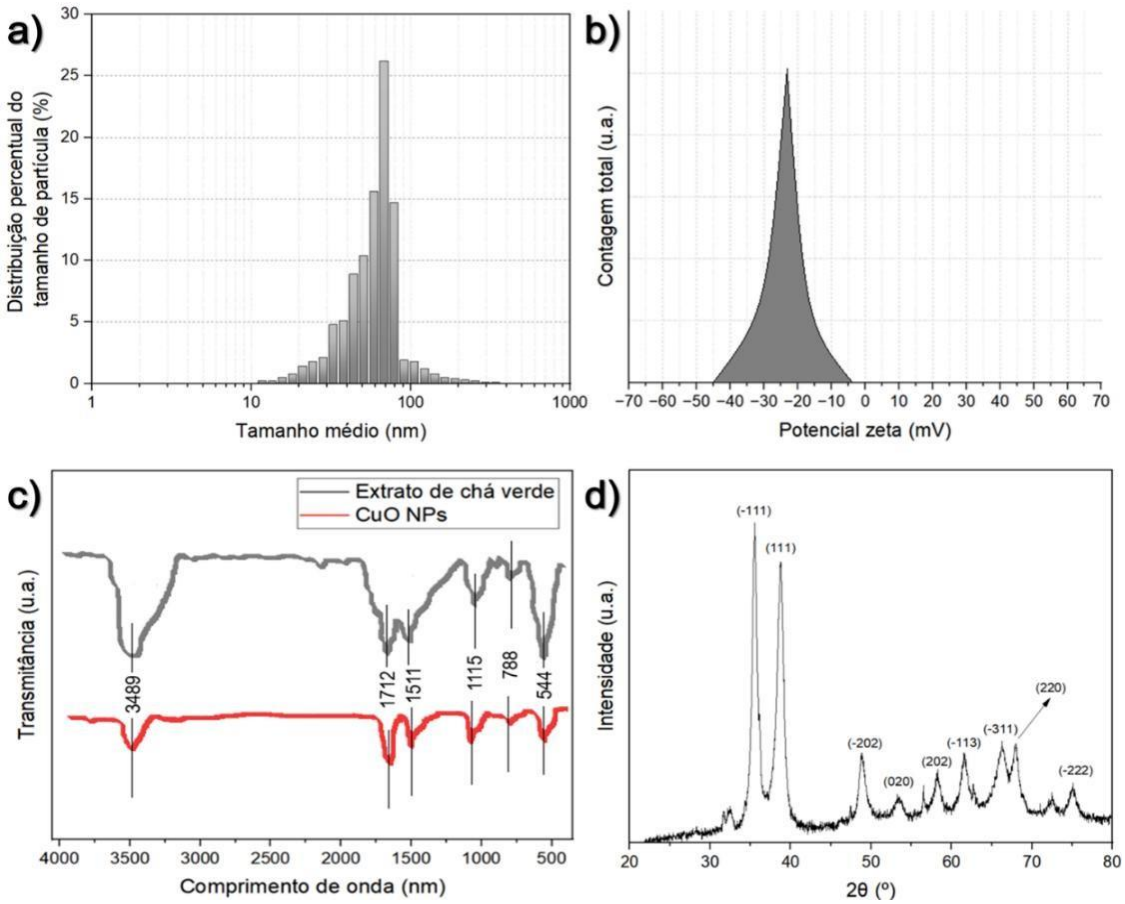


Figura 2. Caracterização das CuO NPs obtidas por síntrese verde via uso do extrato aquoso de chá verde: (a) tamanho médio das nanopartículas geradas, (b) potencial zeta aparente, (c) espectroscopia FTIR do extrato de chá verde comparado às nanopartículas geradas e (d) difração de raios-X das nanopartículas geradas.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Por fim, o difratograma (Figura 2d) confirmou a fase CuO monoclínica (tenorita), com reflexos em 2θ (graus) e índices de Miller: 34,63° (–111), 38,47° (111), 48,84° (–202), 53,52° (020), 58,85° (202), 61,48° (–113), 66,12° (–311), 68,41° (220) e 75,81° (–222). Esses picos característicos evidenciam a presença de cobre na forma de óxido cúprico, sem indícios de Cu_2O ou Cu metálico na faixa analisada (Golthi et al. 2024). Essa convergência reforça

que a condição de síntese adotada gera CuO cristalino em nanoescala, adequado às aplicações propostas. O tamanho médio de cristalito estimado pela equação de Scherrer foi de ~14 nm, compatível com a nanoescala apontada por DLS, com partículas hidratadas maiores que o cristalito individual.

A Figura 3 (MET) evidencia nanopartículas monodispersas, de morfologia predominantemente esférica, com tamanho médio calculado de ~65 nm ± 5 nm. Observa-se boa uniformidade dimensional, com apenas raras regiões de contato entre partículas, compatível com a estabilidade coloidal inferida pelos demais ensaios.

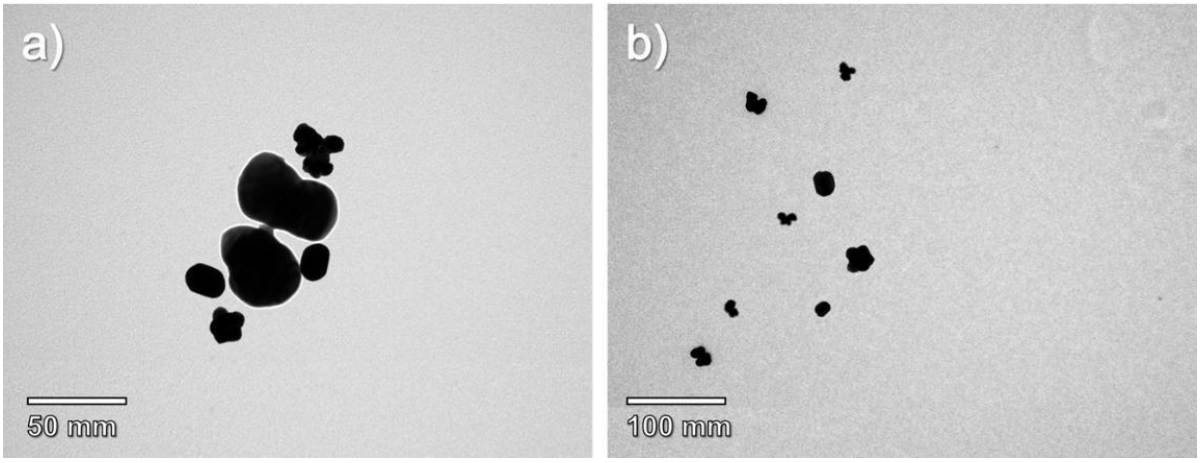


Figura 3. Microscopia eletrônica de transmissão (MET) das CuO NPs obtidas por síntese verde via uso do extrato aquoso de chá verde em diferentes escalas de tamanho: (a) 50 nm e (b) 100 nm.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Efeito das CuO NPs em sementes de milho

A Figura 4 apresenta os ensaios realizados no tratamento das sementes de milho com as nanopartículas obtidas por síntese verde. A Figura 5 apresenta as sementes dispostas após 6 dias de tratamento com as CuO NPs nas diferentes concentrações estudadas. Na Figura 4a, observa-se aumento expressivo no comprimento das plântulas com 100 $mg \cdot L^{-1}$, ponto ótimo entre os demais ensaios de acordo com a diferença estatística ($p \leq 0,05$): raiz ≈ 16,5 cm ± 0,9 cm e parte aérea ≈ 4,5 cm ± 0,3 cm, acima do controle (≈ 6,4 cm ± 0,9 cm e 2,1 cm ± 0,6 cm) e de 50 $mg \cdot L^{-1}$ (≈ 11,1 cm ± 0,9 cm e 3,8 cm ± 0,8 cm). Em 150 $mg \cdot L^{-1}$ há queda acentuada (raiz ≈ 1,6 cm ± 1,0 cm; parte aérea ≈ 0,1 cm ± 0,4 cm), evidenciando perda de vigor.

A Figura 4b apresenta o desempenho em massa seca, novamente com pico em 100 mg· $mg \cdot L^{-1}$ (parte aérea ≈ 0,069 g ± 0,006 g; raiz ≈ 0,01 g ± 0,003 g), superando controle (≈ 0,048 g ± 0,008 g para a parte aérea; 0,013 g ± 0,005 g para a raiz) e 50 $mg \cdot L^{-1}$ (≈ 0,061 g ± 0,003 g para a parte aérea; 0,018 g ± 0,004 g para raiz). Em 150 $mg \cdot L^{-1}$, os valores são os

menores (parte aérea em 0,011 g ± 0,005 g; raiz em 0,002 g ± 0,001 g).

Por fim, a Figura 4c mostra que 100 mg·L^{-1} atinge 100% de germinação mais rapidamente (curva mais íngreme e platô antecipado), seguido por 50 mg·L^{-1}; o controle atinge o platô mais tardiamente e 150 mg·L^{-1} é o pior desempenho, com atraso evidente e/ou platô inferior no período de 10 dias.

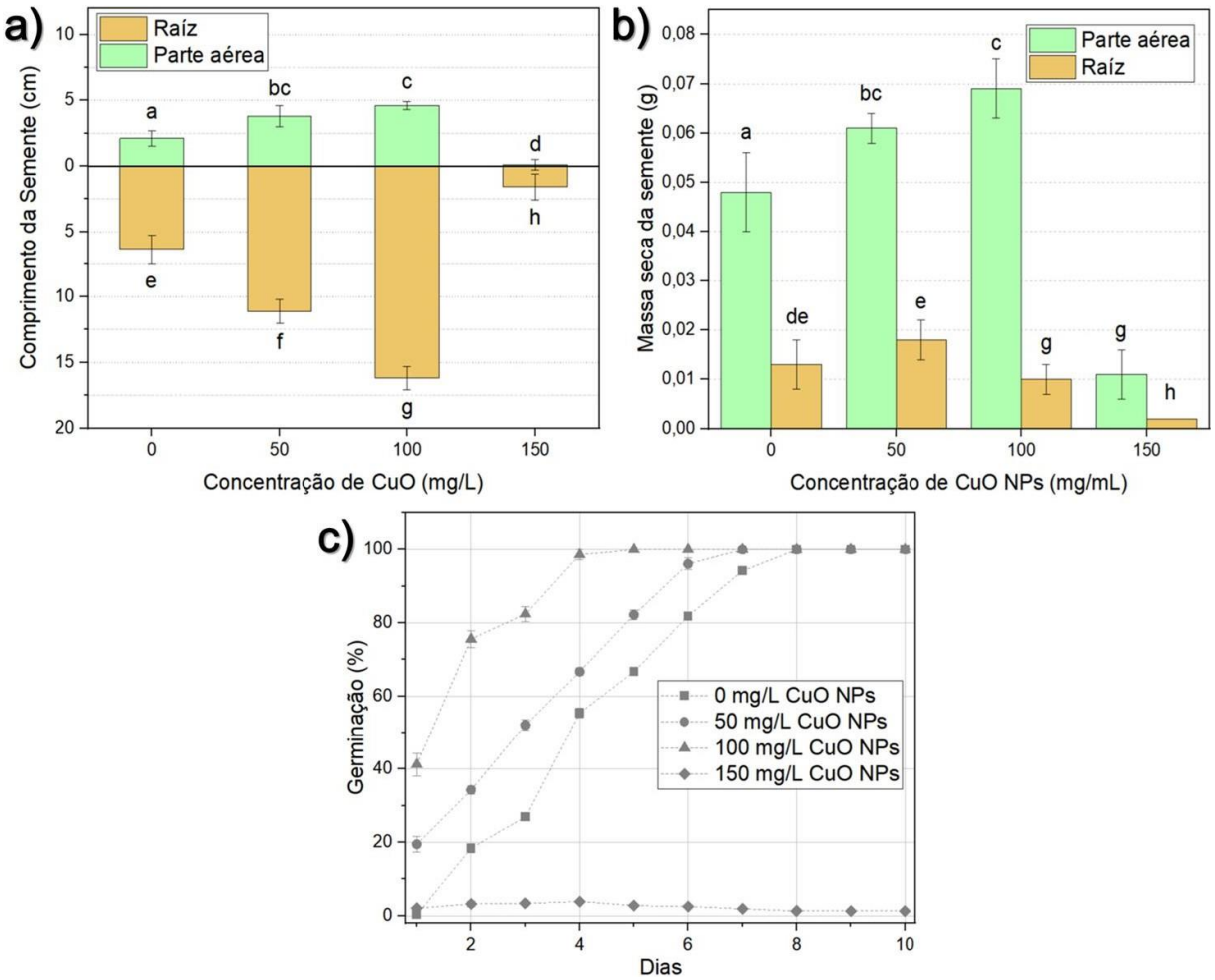


Figura 4. Aplicação de diferentes concentrações de CuO NPs na avaliação da germinação de sementes de milho: (a) teste do comprimento das sementes, (b) massa seca das sementes e (c) percentual de germinação das sementes. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas para o mesmo ensaio via teste da diferença menos significativa de Tukey ($p \leq 0{,}05$).
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em conjunto, os resultados apontam um padrão hormético, onde as concentrações entre 50 mg·L^{-1} e 100 mg·L^{-1} estimulam germinação e vigor (com 100 mg·L^{-1} como condição ótima), enquanto 150 mg·L^{-1} compromete todas as métricas. A pior resposta em 150 mg·L^{-1} é atribuída à toxicidade nas sementes por excesso de cobre (maior liberação de Cu^{2+} e estresse oxidativo), possivelmente agravada por aglomeração em suspensão (estabilidade moderada, $\zeta \approx -24$ mV), resultando em dano de membranas e inibição de processos metabólicos iniciais

da germinação (Mariano-da-Silva et al. 2025).

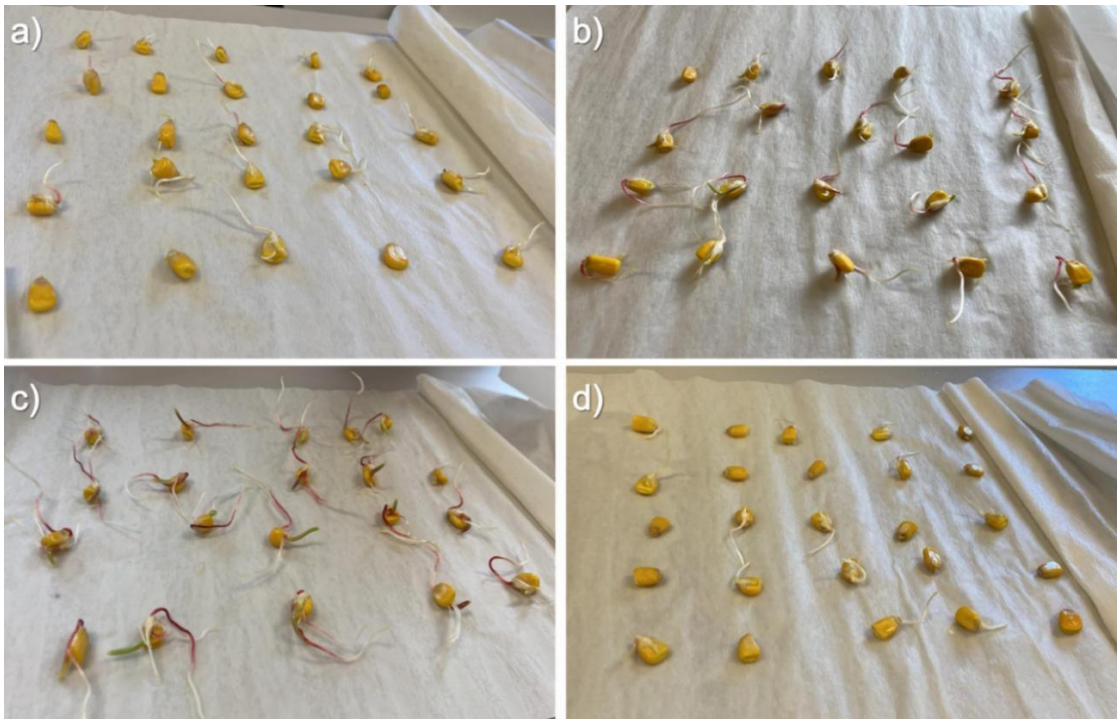


Figura 5. Disposição das sementes de milho (*Zea mays*) após 6 dias do tratamento com CuO NPs: (a) tratamento com 0 mg/L, (b) tratamento com 50 mg/L, (c) tratamento com 100 mg/L e (d) tratamento com 150 mg/L.
Fonte: Elaboração própria, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A rota de síntese verde a partir do resíduo de chá verde mostrou-se eficaz e alinhada à valorização de resíduos, resultando em CuO NPs adequadas à aplicação agronômica. Nos bioensaios com milho, observou-se resposta hormética, com 100 $mg \cdot L^{-1}$ promovendo melhor desempenho de germinação e vigor, enquanto 150 $mg \cdot L^{-1}$ apresentou efeitos deletérios compatíveis com toxicidade por excesso de cobre. Os achados reforçam o potencial da abordagem para o contexto do saneamento rural e indicam a necessidade de estudos subsequentes focados em refinamento de dose, indicadores de estresse oxidativo e avaliação ambiental em condições de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Golthi, Venkatesh, Jayarao Kommu, Kiran Kumar Penmethsa, and J. Laxmi Mangamma. 2024. “Green Synthesis of CuO Nanorods Using Jatropha Podagrica Leaf Extract for Dye Degradation and Antibacterial Applications.” *Nanotechnology for Environmental Engineering* 9 (3): 375–88. doi:10.1007/s41204-024-00372-x.

Kang, Shuhui, Bryan D. Vogt, Wen-li Wu, Vivek M. Prabhu, David L. VanderHart, Ashwin Rao, Eric K. Lin, and Karen Turnquest. 2007. “FTIR Measurements of Compositional

Heterogeneities." *Advances in Resist Materials and Processing Technology XXIV* 6519 (301): 651916. doi:10.1117/12.712659.

Khan, Humaira, Simona Piccolella, and Severina Pacifico. 2025. "Harnessing Plant Extracts for Green Nanoparticle Synthesis: Toward a Sustainable Future." *Materials Today Sustainability* 31 (September): 101195. doi:10.1016/j.mtsust.2025.101195.

Maqsood, Sammra, Waseem Khalid, Prashant Kumar, Imed E. Benmebarek, Izza Faiz Ul Rasool, Monica Trif, Andres Moreno, and Tuba Esatbeyoglu. 2025. "Valorization of Plant-Based Agro-Industrial Waste and by-Products for the Production of Polysaccharides: Towards a More Circular Economy." *Applied Food Research* 5 (1): 100954. doi:10.1016/j.afres.2025.100954.

Mariano-da-Silva, Samuel, Fernanda Macetti Mottin, Rafael Dal Bosco Ducatti, Marco Aurélio Tramontin, Siumar Pedro Tironi, and André Luiz Radünz. 2025. "Effects of Copper Toxicity on Seed Germination and Seedling Growth of Brassica Napus L. Var. Oleífera." *Revista de Gestão Social e Ambiental* 19 (2): e010913. doi:10.24857/rgsa.v19n2-009.

Moraes, Luiz Fernando de Souza, Everson Reis Carvalho, Juliana Maria Espíndola Lima, Nasma Henriqueta da Sorte Cossa, and Jhonata Cantuária Medeiros. 2022. "Physiological Quality of Corn Seeds Treated with Insecticides and Stored at Different Temperatures." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 57. doi:10.1590/s1678-3921.pab2022.v57.02665.

Porto, Erly Carlos, Ezequiel Marçal Zanchetti Da Luz, Guilherme De Almeida Garcia Rodrigues, Maiara Iadwizak Ribeiro, Jaqueline Malagutti Corsato, and Andrea Maria Teixeira Fortes. 2021. "Response of the Antioxidant System and Physiology of Seed Germination of Phaseolus Vulgaris L. under the Action of Aqueous Extract of Bauhinia Forficata Link." *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 10 (1): 461–76. doi:10.21664/2238-8869.2021v10i1.p461-476.

Pozzi, Maria, Sarodi Jonak Dutta, Mia Kuntze, Jeannette Bading, Johanna S. Rüßbült, Cornelius Fabig, Malte Langfeldt, Florian Schulz, Patricia Horcajada, and Wolfgang J. Parak. 2024. "Visualization of the High Surface-to-Volume Ratio of Nanomaterials and Its Consequences." *Journal of Chemical Education* 101 (8): 3146–55. doi:10.1021/acs.jchemed.4c00089.

Silva Almeida, Édipo da, Juliana De Gregori da Rocha, Débora de Oliveira, and Dachamir Hotza. 2025. "Valorization of Noni-Leaf Tea as a by-Product of Nanofiltration for the Green Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles with Improved Antimicrobial Properties." *Materials Science and Engineering: B* 317 (July): 118172. doi:10.1016/j.mseb.2025.118172.

29, 30 AND 31TH OCTOBER 2025

II SANEA BRASIL
International Congress on Rural Sanitation
Climate Change: A New Challenge for Rural Sanitation

EXTENDED ABSTRACT

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117453

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF WEB SOFTWARE FOR MANAGEMENT OF THE ÁGUAS DO SERTÃO PROGRAM IN THE SCOPE OF RURAL SANITATION IN THE STATE OF CEARÁ (SIGPAS)

DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM *SOFTWARE WEB* PARA GERENCIAMENTO DO PROGRAMA ÁGUAS DO SERTÃO NO ÂMBITO DO SANEAMENTO RURAL NO ESTADO DO CEARÁ (SIGPAS)

Flávia Mendes Lacerda Alves[1], Antonio Negreiros Bastos Neto[2], Camila Fernandes Lima[3] e Vandi César de Lima Júnior[4].

[1] Engenheira Civil, Engenheira de Segurança do Trabalho, Especialista em Saneamento, Especialista em Energias Renováveis, Mestranda em Hidrologia e Hidrossedimentologia do PPGEA / Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, Brasil, flaviamendeslacerda@gmail.com, ORCID 0009-0007-9458-2265;
[2] Engenheiro Civil, UGP-PAS, Secretaria das Cidades, Fortaleza-CE, Brasil, negreiros.bastos@cidades.ce.gov.br;
[3] Engenheira Civil, Consórcio KL-GCA (Gerenciadora do PAS), Fortaleza-CE, Brasil, camilafernandes.civil@gmail.com;
[4] Desenvolvedor de Software, SOFS Informática e Eletrônica Ltda., Fortaleza-CE, Brasil, analista.cesarjunior@gmail.com.

Eixo Temático 13 – Modelos de Governança da Área Rural
Estruturas de governança multissetoriais para o saneamento rural

RESUMO

A gestão pública de programas, projetos e obras de Saneamento Rural no Brasil enfrenta desafios crescentes relacionados à complexidade administrativa, bem como o monitoramento, medição, fiscalização e controle de contratos de projetos e obras de sistemas de abastecimento de água e sistemas de esgotamento sanitário. Tradicionalmente, tais processos têm se apoiado em sistemas públicos e planilhas eletrônicas fragmentadas, sem integração entre as áreas técnicas envolvidas, o que resulta em falhas, retrabalho e fragilidade na governança do setor. Nesse contexto, a Secretaria das Cidades do Governo do Estado do Ceará (SCIDADES), através da Unidade de Gerenciamento do Programa Águas do Sertão (UGP PAS), iniciou a concepção e implantação do Sistema de Gestão do Programa Águas do Sertão (SIGPAS), uma solução digital voltada à modernização da gestão de processos, contratos, projetos e obras, fortalecendo as estruturas de governança multissetorial no âmbito do Saneamento Rural no Estado do Ceará. O presente artigo apresenta o processo de concepção e desenvolvimento para implantação do SIGPAS, um *software web* estruturado em módulos correspondentes às principais gerências e processos da UGP PAS. A metodologia de desenvolvimento envolveu mapeamento de fluxos, oficinas participativas e reestruturação de processos, com ênfase na eliminação de redundâncias e automatização de documentos. Os resultados preliminares apontam para notória eficiência operacional, redução de falhas e fortalecimento da governança do Programa. O SIGPAS constitui uma iniciativa estratégica de transformação digital na administração pública voltada à universalização do Saneamento Rural no Estado do Ceará

Palavras-chave: Saneamento Rural; Gestão Pública; Governança Multissetorial; Sistema de Informação; Transformação Digital.

INTRODUÇÃO

Considerando os desafios para atendimento das metas de universalização do saneamento básico brasileiro, principalmente em comunidades rurais isoladas, o Programa Águas do Sertão (PAS) visa à redução da vulnerabilidade e fortalecimento da resiliência da população rural do Estado do Ceará às secas e escassez de água no semiárido, melhorando as condições de saúde e qualidade de vida através das ações no saneamento básico e, principalmente, a educação socioambiental.

O PAS é um programa específico de Saneamento Rural para fins de atendimento às localidades rurais no Estado do Ceará, por meio de ações de ampliação, implantação ou reabilitação de sistemas de abastecimento de água e sistemas de esgotamento sanitário através do Modelo de Gestão do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), implementado pela Secretaria das Cidades (SCIDADES) do Governo do Estado do Ceará, com cooperação técnica da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), e conta com financiamento do Banco Alemão de Desenvolvimento (*KfW*), bem como apoio da União Europeia.

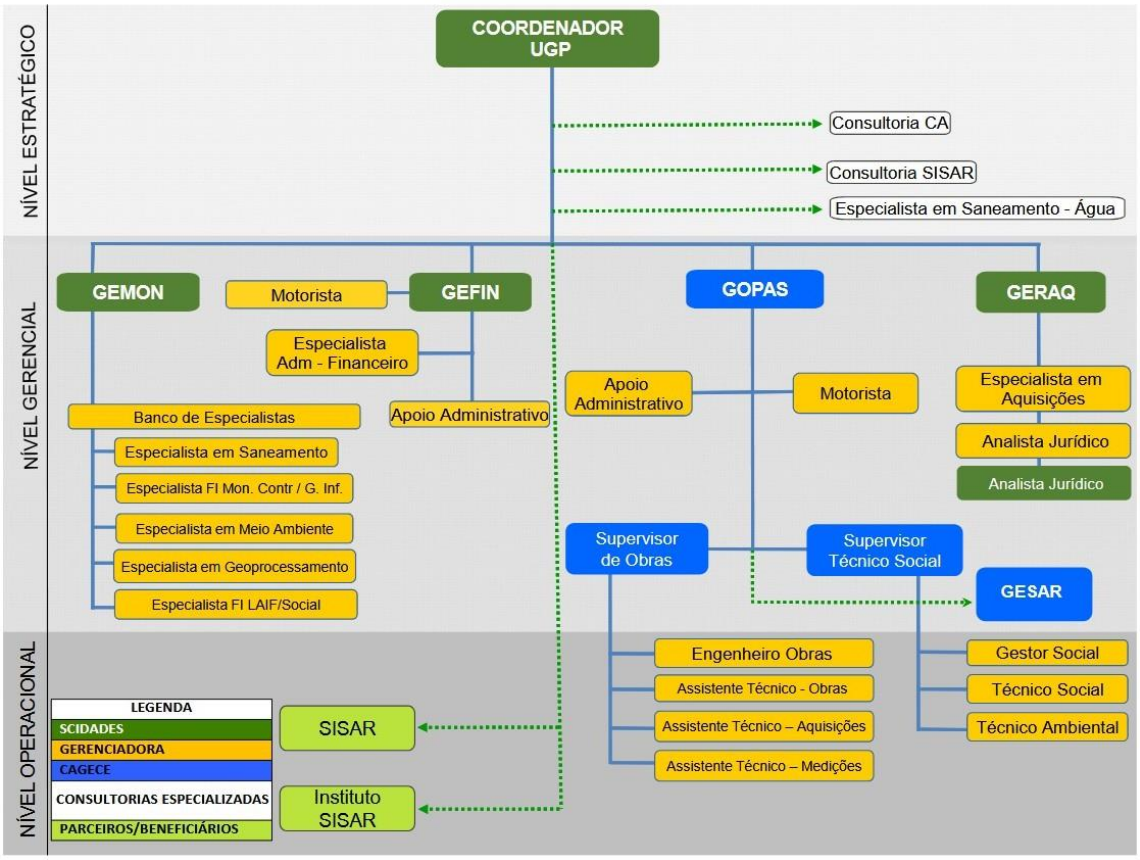


Figura 1. Organograma do Programa Águas do Sertão da Secretaria das Cidades do Governo do Estado do Ceará
Fonte: Autores, 2025.

Os objetivos específicos do programa consistem na ampliação do acesso da população rural à água potável, garantindo a estabilidade no fornecimento de água potável, bem como a melhoria da qualidade de água para consumo humano e, consequentemente, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos através do uso eficiente da água e redução do índice de perdas, bem como a coleta, tratamento e destinação do esgoto, ambos em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

O Programa Águas do Sertão (PAS) é constituído dos níveis hierárquicos estratégico, gerencial e operacional (Figura 1), assim, considerando as diversas áreas de atuação do programa, temos a GEMON – Gerência de Monitoramento e Controle, GEFIN – Gerência Financeira, GERAQ – Gerência de Aquisições e GOPAS – Gerência de Obras do PAS com os respectivos cargos/funções e linhas de autoridade. Adicionalmente, temos a GESAR – Gerência de Saneamento Rural da CAGECE, as Sedes Administrativas dos SISAR's, Instituto SISAR e as Consultorias (Gerenciadora, CA – Consultoria de Apoio, Consultoria SISAR e Especialista em Saneamento – Água do Banco *KfW*), sendo estes os agentes externos à interface de governança multissetorial.

Nesse sentido, diante da complexidade da modelagem requerida, principalmente quando comparamos nosso cenário às ações de saneamento básico nas áreas urbanas brasileiras, os modelos de governança rural são imprescindíveis para fins de otimização dos resultados no processo de universalização do saneamento rural e suas respectivas particularidades no território cearense, considerando a diversidades de atores envolvidos no processo das estruturas de governança multissetoriais, desde as organizações governamentais até o beneficiário final, sendo esta composta pelas populações das localidades, comunidades rurais isoladas, distritos, etc.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do sistema *web* intitulado SIGPAS utilizou as seguintes ferramentas (Figura 2): *Laravel* e Editor *VsCode*, bem como as demais documentações de acompanhamento do programa, como planilhas de controle e monitoramento, contratos, ordens de paralisação e retomada, notificações, entre outros.

O *Laravel* consiste em um *framework*, sendo este formado pelas ferramentas e bibliotecas pré-definidas na sua base de dados, permitindo uma prévia composição e

visualização da estrutura da modelagem computacional para fins de desenvolvimento do *software web*, através do padrão *Model-View-Controler* (*MVC*).

O funcionamento do *Laravel* ocorre no ecossistema da linguagem de programação *PHP* (*Hypertext Preprocessor*), sendo esta amplamente utilizada no desenvolvimento de *softwares* através da plataforma *web.* Para utilização do *Laravel*, é necessário a instalação prévia na máquina do *PHP*, *Composer*, e instalador do próprio *Laravel*, bem como o *Node* e o *NPM* (*Node Package Manager*) ou *Bundle* (recursos de *front-end*).

O Editor *VsCode* consiste em um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft, sem custos de aquisição da ferramenta, além das vantagens do código de programação aberto, funcionando em ambientes operacionais como Windows, macOS e Linux.

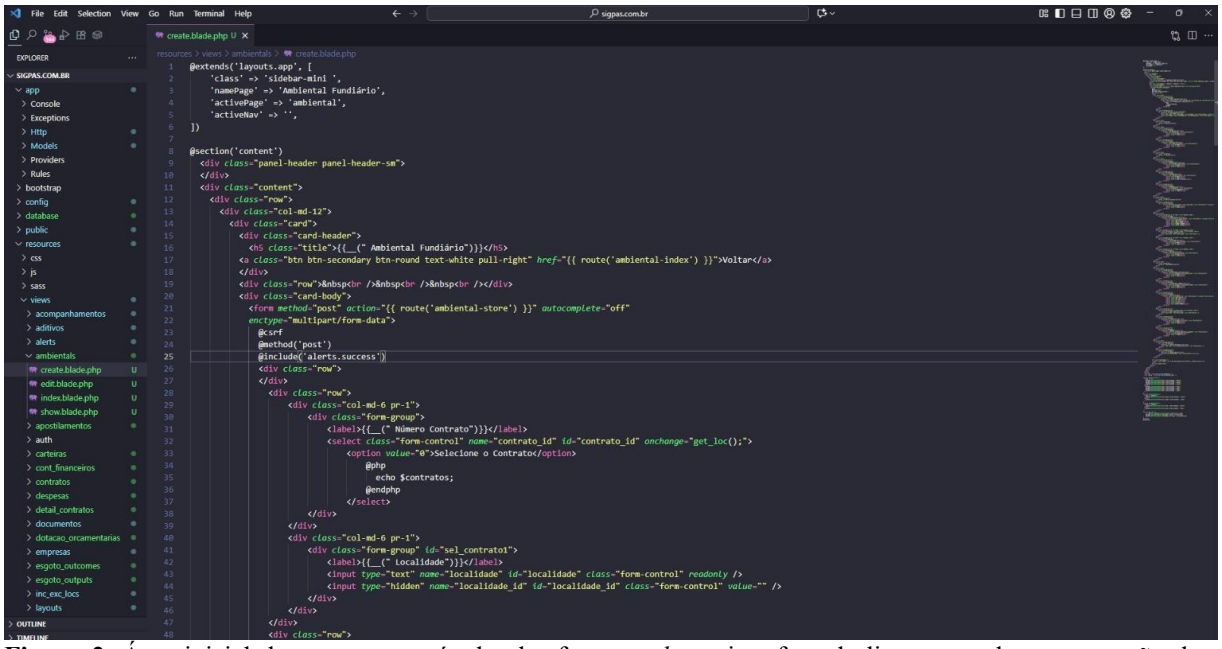


Figura 2. Área inicial de acesso, através da plataforma *web*, na interface da linguagem de programação do SIGPAS (*Laravel* e Editor *VSCode*)
Fonte: Autores, 2025.

A injeção de dependências, testes unitários, filas e eventos em tempo real foram seguidos no padrão de desenvolvimento do *software* SIGPAS para fins de melhoria contínua no processo de criação, permitindo rastreabilidade e assertividade nos resultados cadastrados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O SIGPAS é um *software* que, atualmente, se encontra na fase de desenvolvimento e implementação pela Unidade de Gerenciamento do Programa Águas do Sertão (UGP PAS), deste modo, seu *design* permite o funcionamento através da plataforma *web* com a finalidade

de modernização e eficiência na gestão dos diversos serviços especializados e processos das equipes técnicas multidisciplinares da UGP PAS da Secretaria das Cidades do Governo do Estado do Ceará (SCIDADES).

A estrutura do SIGPAS é baseada nos seguintes papéis (*ROLES*), permitindo a interface em *DCL – Data Control Language*, Administrador, Desenvolvedor, Usuário e Auditor. Os papéis de cada integrante da UGP PAS, bem como os agentes externos (GESAR – CAGECE, Instituto SISAR, SISARs, Gerenciadora, Consultorias e Banco *KfW*), permitem a simplificação da gestão de permissões, agrupando usuários nas respectivas camadas de acesso e funcionalidades, permitindo a facilidade da administração e segurança dos dados, inclusive nos cenários de concessão ou revogação dos acessos.

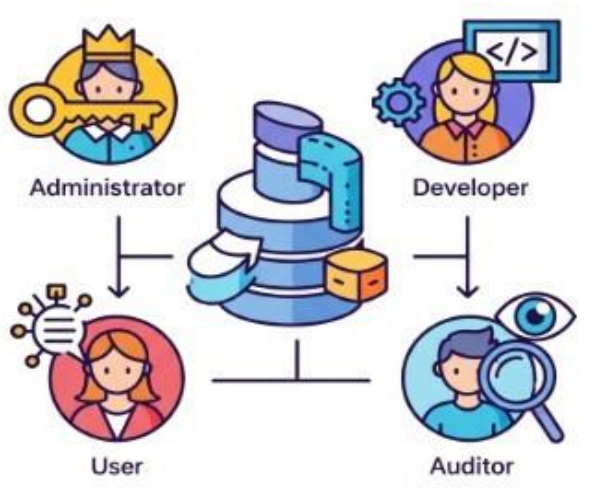


Figura 3. Principais *ROLES*, através de cadastramento prévio na plataforma *web*, na interface da linguagem de programação do SIGPAS (*Laravel* e Editor *VSCode*)
Fonte: Adaptado – Autores, 2025.

Inicialmente, foram realizadas reuniões, sendo estas na presença do desenvolvedor do programa e integrantes das diversas equipes técnicas do Programa Águas do Sertão, individualmente por gerência, com foco no alinhamento técnico, elaboração de formulários para coleta de dados, orientações de cadastramento das informações, solicitação de melhorias na primeira versão piloto do sistema *web*, realização de testes e validação das funcionalidades implementadas para fins de desenvolvimento e implantação do SIGPAS.

Considerando a necessidade de otimização da gestão contratual de projetos e obras, bem como as demais áreas de trabalho do programa, o SIGPAS foi implantado em duas etapas principais, as Etapas I e II.

A Etapa I compreendeu a fase inicial da modelagem do programa, deste modo, o SIGPAS substituirá, mediante avanço das subetapas de desenvolvimento da plataforma *web*, o acompanhamento, controle e gestão do Programa (PAS) no modelo físico de preenchimento de planilhas, assim, a plataforma digital permitirá o armazenamento estruturado das informações dos contratos, a emissão de relatórios diversos, a consulta de documentos relacionados a cada contrato, a visualização dos dados por meio de *dashboards* interativos, entre outras funcionalidades.

Logo, esse avanço na modelagem digital facilitará significativamente a organização, consulta e acompanhamento da execução contratual, conferindo celeridade nos processos decisórios de gestão e alocação de recursos físicos e financeiros no Saneamento Rural do Estado do Ceará.

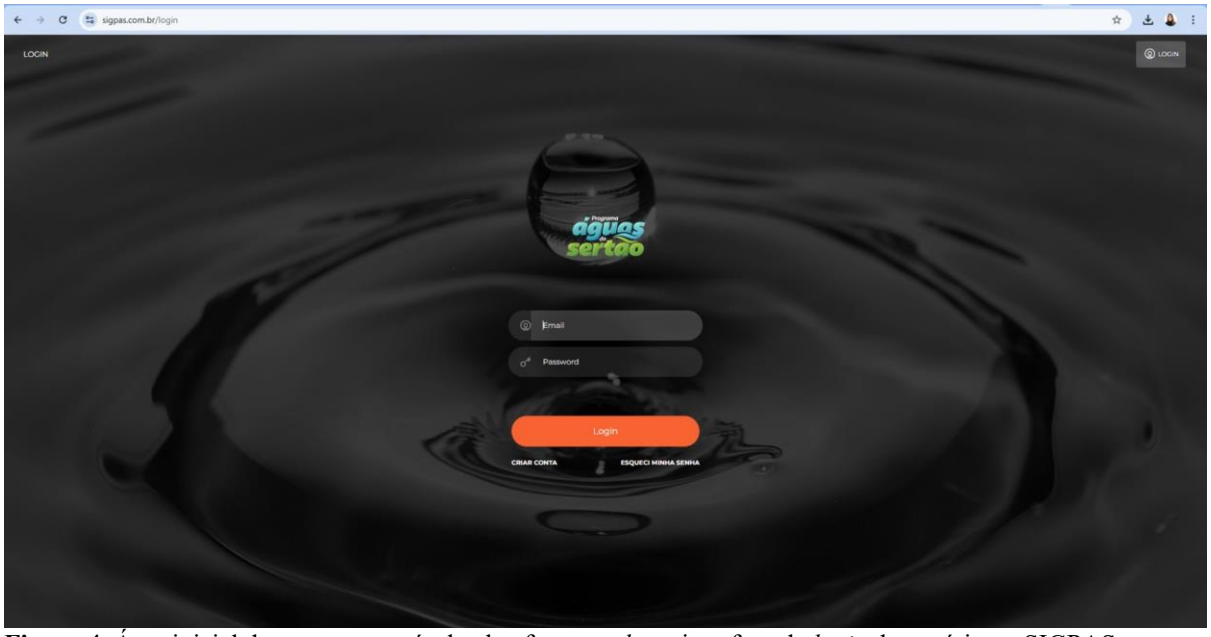


Figura 4. Área inicial de acesso, através da plataforma *web*, na interface de *login* do usuário no SIGPAS
Fonte: Autores, 2025.

A Etapa II consistirá basicamente na evolução e melhoria contínua do sistema, mediante prévio cadastro de informações na Etapa I, sendo esta uma atividade antecessora na modelagem computacional do *software web*. Para fins de viabilidade técnica, além do monitoramento contínuo das atividades de cada subetapa, previu-se a utilização do Modelo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*) no auxílio dos processos de auditoria pelos respectivos gestores.

A Etapa II fora criada com a finalidade da geração automatizada de documentos (*outputs*), a partir dos dados inseridos nos formulários de cadastramento do sistema segundo

os usuários, assim, entre os principais documentos que poderão ser gerados diretamente na plataforma *web*, temos as emissões das ordens de serviços dos contratos de projetos e obras, os aditivos contratuais – prazo e/ou valor, os apostilamentos – dotações orçamentárias, as ordens de paralisação e retomada contratuais, o Termo de Recebimento Definitivo de Projeto (TRDP), o Termo de Recebimento Definitivo de Obra (TRDO), pareceres de aprovação de projetos, atestados de conclusão para fins de submissão nos conselhos de classe, termos de rescisão contratual, entre outros.

Considerando a multidisciplinaridade necessária para fins de execução do Saneamento Rural no Estado do Ceará, as ações de medições, fiscalizações e controles no acompanhamento e gestão perpassa as interdisciplinaridades nas áreas técnicas administrativas, engenharia, financeiro, trabalho social, logística e transporte, etc., deste modo, a simplificação dos processos de gestão permitiu impactos positivos na governança ágil do programa.

A Figura 5 apresenta os resultados e vantagens da linguagem de programação utilizada na modelagem computacional do SIGPAS, por meio da função *"Illuminate"* que permite a identificação de possíveis erros no cadastramento dos códigos com a rastreabilidade na interface homem – máquina (IHM), ou seja, a retro-iluminação na linha 25 do código, permitiu a ágil correção do mesmo.

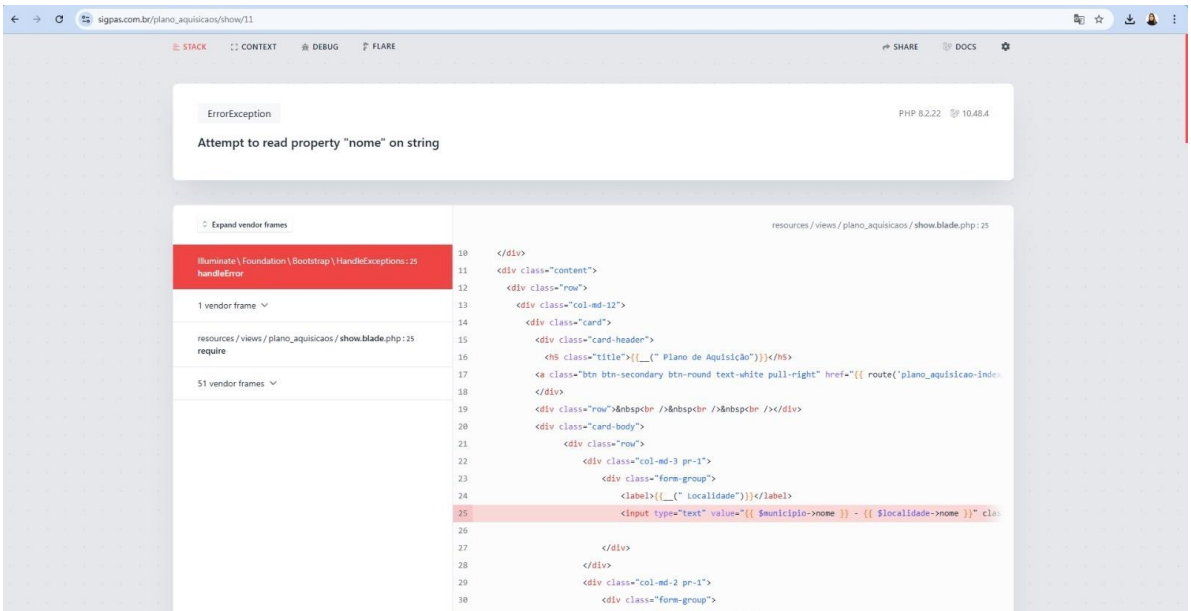


Figura 5. Vantagens da ferramenta retroiluminada, através de cadastramento na plataforma *web*, na interface da linguagem de programação do SIGPAS (*Laravel* e Editor *VSCode*)
Fonte: Autores, 2025.

A simplificação dos processos do Planejamento Estratégico do Programa Águas do Sertão, através do instrumento intitulado Plano de Aquisições do PAS, permitiu avanços consideráveis nos processos decisórios de alocação de recursos físicos e financeiros, sendo este desempenhado principalmente pelos *ROLES* – Auditores (Gerentes ou Gestores) e Administrador (Coordenação da UGP PAS).

Figura 6. Fluxograma representativo dos marcos estratégicos de *design* da modelagem computacional estruturante do *software* SIGPAS
Fonte: Autores, 2025.

A Figura 6 representa os principais marcos estratégicos utilizados na alternância das interfaces de cada gerência do Programa Águas do Sertão, assim, os módulos foram interligados mediante *design* dos fluxos dos processos, desde a validação do Plano de Aquisições do PAS pelas áreas administrativas e/ou meio até às áreas finalísticas mediante atestos de execução de obras de abastecimento de água, bem como os projetos de sistemas de esgotamento sanitário.

Considerando os desafios relevantes na modelagem computacional do *software*, tivemos a necessidade de reestruturação dos módulos de algumas gerências do programa, como as gerências GERAQ e GEAFI, que concentram as informações fundamentais no início do fluxo de contratação do Programa PAS.

O formulário da funcionalidade Controle Financeiro também fora aprimorado, anteriormente, o *Usuário* precisava registrar separadamente o pagamento líquido à contratada, bem como os devidos valores correspondentes aos impostos.

Atualmente, essas informações são consolidadas em um único registro de pagamento de medição, passando a incluir também a situação do pagamento, ou seja, se está em análise ou fora devidamente pago, bem como a indicação da carteira de desembolso dos recursos financeiros. Para fins de segurança da informação, foi desenvolvido um quadro interno no próprio registro, permitindo o detalhamento da composição do pagamento, com os valores líquidos e dos impostos, bem como a data de competência da medição, data de liquidação e data efetiva do pagamento da nota fiscal, sendo este recurso essencial para lidar com as

verificações das obrigações contábeis, como o INSS, cuja quitação ocorre no mês subsequente à emissão da medição do objeto.

A reestruturação demandou revisão dos documentos e validação perante às equipes técnicas responsáveis, exigindo alinhamento, comprometimento, tempo e sinergia entre os setores. O contrato-piloto de desenvolvimento do *software web,* segundo as categoria (projetos, obras, bens, consultorias), ocorreu com a finalidade de identificação dos possíveis erros e/ou *bugs*, bem como a verificação da consistência dos cálculos do sistema mediante compatibilização com processsos existentes e devidamente concluídos e auditados externamente.

Atualmente, a equipe técnica da UGP PAS encontra-se dedicada à correção das falhas na consolidação dos dados, permeabilidade dos fluxos e integração com as gerências, espectivos gestores e coordenação do programa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As vantagens de utilização do SIGPAS são decorrentes das limitações dos modelos de gerenciamento e supervisão existentes no Programa Águas do Sertão, sendo baseados, inicialmente, através de diversas planilhas individualizadas para cada gerência da UGP PAS, bem como as demais documentações editáveis inerentes aos processos e programas do Governo do Estado do Ceará.

Durante o processo de desenvolvimento e implantação do SIGPAS, diversos desafios foram identificados, tanto de ordem técnica, quanto institucional, inicialmente, a estrutura do sistema foi baseada nas planilhas utilizadas pelas gerências do programa, fato que revelou lacunas de integração entre os módulos dos setores, bem como a duplicidade na inserção dos dados técnicos, para fins de exemplificação, haviam determinadas informações que eram inseridas mais de uma vez por diferentes equipes técnicas, aumentando o risco de inconsistências nos dados, além do extenso retrabalho.

As documentações do sistema, especificamente do Manual de Utilização do SIGPAS, encontra-se em processo de elaboração e, na sequência, será revisado, com a inclusão das telas ao término do processo (inserção de dados, revisão e aprovação, interação e testes da ferramenta, etc.) para fins de gestão da informação.

Atualmente, estamos em desenvolvimento de propostas de *dashboards* (GEMON, GEAFI, GERAQ e GOPAS) para otimização da visualização do andamento dos setores, bem como

gestão da informação e agilidade no processo de tomada de decisão, logo, com essa funcionalidade, os processos serão mais ágeis, padronizados e menos suscetíveis a erros na interface homem – máquina (IHM).

Considerando a extensão territorial das áreas rurais no Estado do Ceará, bem como as comunidades beneficiadas pelas ações do PAS, algumas melhorias se fazem necessárias no planejamento e gestão do programa, como o desenvolvimento do SIGPAS na versão para aplicativo móvel, facilitando, assim, os trabalhos de campo desenvolvidos pelas equipes técnicas de Engenharia, Sociologia e Serviço Social.

Finalmente, o SIGPAS permitirá o acompanhamento individualizado e pormenorizado de cada comunidade rural, desde a celebração do acordo de cooperação técnica (SCIDADES e Município), as documentações da anuência municipal, outorga da fonte hídrica, licenciamento ambiental, regularização fundiária das unidades do sistema, projetos, obras, operação assistida, ou seja, o saneamento rural cearense transformado digitalmente, permitindo a govenança multissetorial por meio de um sistema de informação ágil e integrado, essencial à universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incorporando os desafios das mudanças climáticas no contexto semiárido, permitindo a promoção da segurança hídrica, o reúso da água e empoderamento de comunidades rurais.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos do presente trabalho são extensos ao apoio da UGP PAS – SCIDADES; Banco Alemão de Desenvolvimento *KfW*; CAGECE; Consórcio KL-GCA, Gerenciadora do PAS e SOFS Informática e Eletrônica Ltda., sendo estes responsáveis pela interface de programação computacional através da Consultoria GITEC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Secretaria das Cidades do Governo do Estado do Ceará. 2021. “Padrão de Projetos e Obras Rurais de Sistemas de Abastecimento de Água.” Coordenadorias - UGP PAS: Publicações. https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/PADRAO-DE-PROJETOS-E-OBRAS-RURAIS-SAA-VERSAO-01.pdf.

Secretaria das Cidades do Governo do Estado do Ceará. 2024. “Programa de Saneamento Básico em Localidades Rurais do Estado do Ceará: Adaptação às Mudanças Climáticas – Manual Operacional do Programa (MOP).” Coordenadorias - UGP PAS: Publicações. https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2025/07/MOP_versao_-final.pdf.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117512

EXPERIÊNCIAS LATINO-AMERICANAS NO SANEAMENTO RURAL: EXISTEM LIÇÕES PARA O FORTALECIMENTO DA GOVERNANÇA NO BRASIL?

EXPERIENCIAS LATINOAMERICANAS EN SANEAMIENTO RURAL: ¿HAY LECCIONES PARA FORTALECER LA GOBERNANZA EN BRASIL?

LATIN AMERICAN EXPERIENCES IN RURAL SANITATION: ARE THERE LESSONS FOR STRENGTHENING GOVERNANCE IN BRAZIL?

Laura Magalhães Rocha e Silva[1], Fernanda Deister Moreira[2], Matheus Valle de Carvalho[3] e Leo Heller[4].

[1]Mestre em Saúde Coletiva, Instituto René Rachou (Fiocruz Minas), Belo Horizonte, Brasil, laura.magalhaes@fiocruz.br, 0000-0001-9995-2826;
[2]Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal da Bahia, Bahia, Brasil, fernandadeister@ufba.br, 0000-0002-9957-894X;
[3]Doutor em Geografia, Sucre, Bolívia, matheuscovalle@gmail.com;
[4]Doutor em Epidemiologia, Instituto René Rachou (Fiocruz Minas), Belo Horizonte, Brasil, leo.heller@fiocruz.br, 0000-0003-0175-0180.

Eixo Temático 13 – Modelos de Governança da área rural
Experiências internacionais aplicáveis à realidade brasileira

RESUMO

O saneamento rural enfrenta desafios complexos relacionados à dimensão social, técnica e política dos serviços de água e esgotamento sanitário, especialmente em áreas vulnerabilizadas e de alta dispersão territorial. Este estudo analisou experiências latino-americanas de governança em comunidades rurais, visando identificar arranjos institucionais e práticas que possivelmente possam inspirar a implementação do saneamento rural no Brasil. As observações foram realizadas no Chile, Peru, Colômbia e Paraguai, no âmbito do projeto "Implementando uma agenda de produtos de conhecimento para WASH rural", desenvolvido pelo Instituto René Rachou/Fiocruz Minas, com financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). A seleção dos países considerou níveis de acesso aos serviços, modelos de gestão e particularidades étnico-culturais, geográficas e históricas, permitindo um panorama amplo e diversificado. As visitas incluíram reuniões com atores comunitários, municipais, regionais e nacionais, além da análise de documentos e bibliografia pertinente. Os resultados evidenciaram diversidade na organização e operação dos serviços. No Chile, a centralização da coordenação e o financiamento público de infraestrutura, incluindo tecnologias avançadas, mostraram-se estratégicos, com suporte técnico contínuo às comunidades. O Peru destacou-se pelo programa nacional integrado e pela articulação efetiva entre entes federativos, garantindo suporte técnico e capacitação para gestão local. Na Colômbia, o acompanhamento detalhado das demandas locais pelo Vice-Ministério de Água e Saneamento foi relevante, enquanto no Paraguai a gestão comunitária recebe apoio técnico e financeiro nacional. Experiências internacionais reforçam a importância da mobilização política, do financiamento público adequado e da participação local

para o avanço sustentável dos serviços rurais. No Brasil, os municípios seguem enfrentando limitações de apoio técnico e financeiro. O fortalecimento da governança multinível, aliado à participação social e monitoramento coletivo, é apontado como estratégia para garantir serviços mais inclusivos, sustentáveis e alinhados às necessidades locais. A implementação do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) e a incorporação de princípios dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário contribuem para políticas públicas mais efetivas e socialmente legitimadas.

Palavras-chave: Saneamento rural, Governança, Políticas públicas, Direitos humanos

RESÚMEN

El saneamiento rural enfrenta desafíos complejos relacionados con las dimensiones sociales, técnicas y políticas de los servicios de agua y saneamiento, especialmente en zonas vulnerables con alta dispersión territorial. Este estudio analizó las experiencias de gobernanza en comunidades rurales de América Latina, con el objetivo de identificar acuerdos y prácticas institucionales que podrían inspirar la implementación del saneamiento rural en Brasil. Se realizaron observaciones en Chile, Perú, Colombia y Paraguay, como parte del proyecto "Implementación de una Agenda de Productos de Conocimiento para Agua, Saneamiento e Higiene Rural", desarrollado por el Instituto René Rachou/Fiocruz Minas, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). La selección de los países consideró los niveles de acceso a los servicios, los modelos de gestión y las particularidades étnico-culturales, geográficas e históricas, lo que permitió obtener una visión amplia y diversa. Las visitas incluyeron reuniones con actores comunitarios, municipales, regionales y nacionales, así como el análisis de documentos y bibliografía relevante. Los resultados destacaron la diversidad en la organización y el funcionamiento de los servicios. En Chile, la coordinación centralizada y el financiamiento público de la infraestructura, incluyendo tecnologías avanzadas, resultaron estratégicos, con apoyo técnico continuo a las comunidades. Perú se destacó por su programa nacional integrado y la eficaz coordinación entre entidades federativas, garantizando apoyo técnico y capacitación para la gestión local. En Colombia, el seguimiento detallado de las demandas locales por parte del Viceministerio de Agua y Saneamiento fue significativo, mientras que en Paraguay, la gestión comunitaria recibe apoyo técnico y financiero nacional. Las experiencias internacionales refuerzan la importancia de la movilización política, la financiación pública adecuada y la participación local para el avance sostenible de los servicios rurales. En Brasil, los municipios siguen enfrentando limitaciones en el apoyo técnico y financiero. El fortalecimiento de la gobernanza multinivel, combinado con la participación social y el seguimiento colectivo, se destaca como una estrategia para garantizar servicios más inclusivos y sostenibles alineados con las necesidades locales. La implementación del Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR) y la incorporación de los principios de derechos humanos al agua y el saneamiento contribuyen a políticas públicas más eficaces y socialmente legitimadas.

Palabras clave: Saneamiento rural, Gobernanza, Políticas públicas, Derechos humanos

ABSTRACT

Rural sanitation faces complex challenges related to the social, technical, and political dimensions of water and sanitation services, especially in vulnerable areas with high territorial dispersion. This study analyzed Latin American governance experiences in rural communities, aiming to identify institutional arrangements and practices that could potentially inspire the implementation of rural sanitation in Brazil. Observations were conducted in Chile, Peru,

Colombia, and Paraguay, as part of the project "Implementing a Knowledge Product Agenda for Rural WASH," developed by the René Rachou Institute/Fiocruz Minas, with funding from the Inter-American Development Bank (IDB). The selection of countries considered levels of access to services, management models, and ethnic-cultural, geographic, and historical particularities, allowing for a broad and diverse overview. The visits included meetings with community, municipal, regional, and national stakeholders, as well as the analysis of documents and relevant bibliography. The results highlighted diversity in the organization and operation of services. In Chile, centralized coordination and public financing of infrastructure, including advanced technologies, proved strategic, with ongoing technical support for communities. Peru stood out for its integrated national program and effective coordination between federative entities, ensuring technical support and training for local management. In Colombia, detailed monitoring of local demands by the Vice-Ministry of Water and Sanitation was significant, while in Paraguay, community management receives national technical and financial support. International experiences reinforce the importance of political mobilization, adequate public financing, and local participation for the sustainable advancement of rural services. In Brazil, municipalities continue to face limitations in technical and financial support. Strengthening multilevel governance, combined with social participation and collective monitoring, is highlighted as a strategy to ensure more inclusive, sustainable services aligned with local needs. The implementation of the National Rural Sanitation Program (PNSR) and the incorporation of human rights principles to water and sanitation contribute to more effective and socially legitimized public policies.

Keywords: Rural sanitation, Governance, Public policy, Human rights

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O setor de Água e Saneamento (AeS) possui dimensão complexa e está diretamente relacionado com as necessidades humanas. Como exemplo dessa importância, o setor possui instâncias de governança em diversos níveis, inclusive globais, como organismos internacionais que podem influenciar decisões em cada país (Carvalho, 2024). Usufruir do direito humano à água e esgotamento sanitário (DHAES) de forma integral, com serviços em quantidade e qualidade suficientes segue sendo um desafio (Unga, 2010). A Agenda 2030 das Nações Unidas inclui o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável dedicado à água e ao saneamento. Esse compromisso almeja, até 2030, a universalização do acesso, bem como a implementação de outras metas essenciais (UN, 2015).

O acesso aos serviços de AeS, articulado a outras políticas públicas essenciais, influencia diretamente no adoecimento e em atividades cotidianas essenciais para a manutenção da vida social (Medeiros *et al.,* 2024). Nas áreas rurais os desafios são ainda maiores, ao se analisar a histórica vulnerabilidade socioeconômica, a maior dispersão espacial, os diferentes usos da água e as mudanças climáticas que acentuam problemas já existentes em certas regiões, como as secas e as inundações.

No Brasil, a reforma iniciada em 2020 com a atualização do Marco Legal do Saneamento (Brasil, 2020), intensificou os debates dentro e fora do setor, gerando incertezas quanto ao futuro da prestação dos serviços, especialmente em áreas rurais e em territórios mais vulnerabilizados. Em uma perspectiva global, tanto o Brasil quanto outros países possuem lições relevantes a oferecer, ressaltando a importância da cooperação e do diálogo nacional e internacional, com destaque para a América Latina e Caribe.

Diante do contexto atual do saneamento rural, e considerando a forte influência de fatores políticos nas políticas públicas de AeS e de sua governança ao longo das décadas, esse trabalho busca debater arranjos institucionais existentes em outros países da América Latina, visando aprimoramentos na conjuntura brasileira, com vistas a serviços de qualidade, mais inclusivos e alinhados às necessidades das comunidades.

Serão relatadas experiências e observações sobre a governança dos serviços de água e esgotamento sanitário em áreas rurais de quatro países da América Latina – Chile, Peru, Colômbia e Paraguai. As experiências ocorreram a partir de visitas e reuniões técnicas realizadas no âmbito do projeto "Implementando uma agenda de produtos de conhecimento para WASH rural", fruto de uma parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Instituto René Rachou/Fiocruz Minas, entre julho e agosto de 2024.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Durante as reuniões internas da equipe para a seleção dos países a serem visitados, foram considerados os níveis de acesso aos serviços, os diferentes modelos de gestão e arranjos institucionais, além das particularidades étnico-culturais, geográficas e históricas de cada país, o que possibilitou ampliar o leque de experiências e observações.

Após alinhamento com os setores responsáveis pelos serviços nas áreas rurais de cada país, as visitas de campo ocorreram entre julho e agosto de 2024. Foram visitadas comunidades rurais próximas à Cusco (Peru), na Região Metropolitana de Santiago (Chile), nos departamentos de Putumayo e Cauca (Colômbia) e nos departamentos Central, Paraguarí, Caaguazú e San Pedro (Paraguai). Foram realizadas reuniões com atores ligados ao setor em distintos níveis, como comunitários, municipais, regionais e nacionais.

Todas as visitas às comunidades foram acompanhadas por técnicos das áreas regionais ou municipais dos serviços. Os dados foram obtidos a partir da vivência em campo pelos

membros da equipe, e foram registrados por meio de anotações e fotografias. As discussões foram aprofundadas por meio da leitura de documentos e de bibliografias relacionadas. Na Tabela 1 abaixo é apresentada uma síntese dos arranjos institucionais dos serviços de AeS de cada país.

Tabela 1. Instituições formais dos serviços de AeS rurais por país e seus principais níveis de atuação.

Nível	Chile	Colômbia	Paraguai	Peru
Comunitário	APR***	Associações Comunitária de Água	Comissões de Saneamento; Juntas de Saneamento; Cooperativas; Comissões de água	JASS*
Municipal	Municipalidade	Secretarias Municipais de Saúde e Ambiente	-	ATM**
Regional	Escritórios regionais da Subdireção de Serviços Sanitários Rurais	Corporações Autônomas Regionais	-	Direções Regionais de Habitação, Construção e Saneamento
Nacional	Ministério de Obras Públicas/ Subdireção de Serviços Sanitários Rurais	Ministério de Habitação, Cidade e Território	Serviço Nacional de Saneamento Ambiental	Vice-Ministério da Habitação, Construção e Saneamento

Fonte: Elaboração própria
*JASS - Juntas Administradoras de Serviços de Saneamento
**ATM - Áreas Técnicas Municipais
***APR - Água Potável Rural

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os desafios do setor de saneamento no Brasil, de maneira geral, perpassam pela necessidade de investimentos em infraestrutura e pelas desigualdades regionais e locais, considerando os territórios mais vulnerabilizados (Kölling, Delgado, Silva, 2025). O componente político, com destaque para a gestão participativa, também é um desafio na garantia dos serviços como direitos humanos, além da variedade de condições econômicas e técnicas dos titulares dos serviços (Medeiros *et al.,* 2024).

Nos países visitados, observou-se uma diversidade tanto no acesso quanto na forma como

os serviços são organizados e estruturados. Cada contexto apresentou caminhos próprios: no

Peru, há avanços por meio da consolidação de um programa nacional integrado; na Colômbia, sobressaiu o suporte oferecido às comunidades; no Chile, a centralização da coordenação dos serviços mostrou-se relevante; e, no Paraguai, destaca-se o esforço de fortalecimento específico do setor de AeE rural (Aguiar *et al.,* 2025).

No Chile, embora haja um emblemático cenário devido ao histórico Código de Águas, observou-se um importante arranjo de financiamento público para construção de infraestruturas, com destaque para sua constância e estruturação, e também para a instalação de plantas mais tecnológicas, como sistemas de osmose reversa. Há um forte apoio técnico às comunidades, por meio da Subdireção de Serviços Sanitários Rurais (SSSR) e sua capilaridade, criada em 2020. A nível local, após a entrega das instalações por parte do governo, as comunidades operam e gerem os serviços. A criação de uma subsecretaria específica para os serviços rurais permite um maior acompanhamento das demandas e suporte comunitário. Essa criação exige recursos humanos e orçamentários contínuos, o que pode ser desafiante.

O Peru apresenta um programa nacional de saneamento rural bem estruturado e uma forte articulação entre os entes federativos. As JASS contam com um forte apoio das Áreas Técnicas Municipais, inclusive com formações técnicas para captação de recursos. O fluxo de suporte segue para as Direções Regionais de Habitação e Saneamento, até chegar ao governo nacional. Verifica-se, ainda, a presença de diferentes sistemas e infraestruturas de água, de acordo com o uso pretendido (associado a demandas de outros setores), assim como no Chile.

O setor de AeS rural na Colômbia conta com a atuação do Ministério da Habitação, Cidade e Território, do Ministério do Meio Ambiente, do Departamento Nacional de Planejamento e do Ministério da Saúde. O país conta com apoio técnico e financeiro para os serviços nas comunidades rurais, com destaque para a presença do Vice-Ministério de Água e Saneamento, que realiza um acompanhamento detalhado das demandas locais.

No Paraguai, o Serviço Nacional de Saneamento Ambiental (SENASA) atua diretamente nas cidades e comunidades, e o saneamento é de titularidade da União. As comunidades realizam a gestão dos serviços, mas contam com forte apoio técnico, social e financeiro nacional pela grande capilaridade entre as localidades que o SENASA possui (Aguiar *et al.*, 2025).

A bibliografia apresenta inúmeros casos de arranjos políticos e institucionais relacionados aos serviços de AeS. Kölling, Delgado, Silva (2025) apresentam o caso da África do Sul, que em 1994 possuía grande parte de sua população sem acesso adequado, com destaque

para áreas rurais. O país, cuja Constituição reconhece os direitos à água e ao saneamento, e que defende a garantia de uma quantidade mínima de água, a nível nacional também estabeleceu novas normas e diretrizes. Um efeito notável foi a mobilização e o comprometimento político em múltiplos níveis, do nacional a gestores locais e sociedade civil, além da disponibilização substancial e adequada de fundos públicos. A gestão operacional dos serviços, por sua vez, está a cargo dos governos municipais, e a preocupação com as particularidades locais foi algo considerado. Os avanços nos índices, após esses esforços estratégicos, foram significativos.

No contexto brasileiro, os municípios permanecem como principais responsáveis pelos serviços no meio rural, embora frequentemente haja limitações de apoio técnico e financeiro. O desenvolvimento do saneamento rural em âmbito nacional, com diretrizes claras e recursos específicos voltados ao fortalecimento das entidades, em todos os níveis, articulados ao suporte técnico às comunidades, constitui um caminho estratégico para avançar na universalização e sustentabilidade dos serviços.

O aprimoramento da governança multinível, com avanços na articulação entre instâncias verticais e horizontais e na incorporação de mecanismos de participação social e monitoramento coletivo favorece maior sensibilidade às especificidades territoriais e comunitárias, possibilitando soluções contextualizadas, sustentáveis e socialmente legitimadas (Ramos *et al.,* 2020). Salienta-se que gargalos importantes como os diferentes usos da água seguem como desafios tanto no Brasil quanto em outros países.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dada a dimensão continental do Brasil e suas variações locais, climáticas e políticas, ainda há lacunas a serem preenchidas, e novas experiências a serem observadas, inclusive dentro do país, e que na possibilidade de serem incorporadas devem sempre ser contextualizadas. Sob essa perspectiva, há um grande caminho a ser percorrido de interações e trocas entre os países da América Latina e Caribe, e os achados podem ser ainda mais explorados.

Os DHAES podem servir como um importante guia, dada a natureza humana, social e sanitária dos serviços, além do fato do Brasil ser signatário dos pactos internacionais sobre esses direitos. A agenda pública para o saneamento rural no país, e sua execução, pode ser fortalecida com o conteúdo normativo dos DHAES.

Na busca da universalização do acesso e na garantia dos serviços como direitos sociais, é necessária avaliar se o planejamento e execução das ações se baseiam em um modelo que pode alienar os níveis mais locais da prestação, além da população de forma geral, conferindo um cenário de muitas inseguranças e imprecisão. A governança colaborativa e multinível é um caminho a ser seguido, com destaque para a presença do Estado no planejamento, financiamento e regulação, moldando a interação entre os entes e construindo o saneamento rural como uma política de Estado voltada para os interesses comuns, mas ainda dentro de um panorama de descentralização.

Não é possível prever o futuro dos serviços rurais no país, mas recomenda-se ampliar o debate sobre os caminhos escolhidos, avaliando possíveis avanços e retrocessos. No movimento das articulações e decisões presentes nas estruturas de governança do setor no Brasil, recomenda-se fortemente a implementação do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) que direciona as ações para os interesses da sociedade e o bem estar comuns. O fortalecimento da governança pública e do diálogo construtivo desempenha papel central na garantia de direitos, na ampliação da participação e gestão social, e na promoção de melhores condições socioeconômicas e sanitárias em contextos rurais.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa é fruto do projeto “Implementando uma agenda de produtos de conhecimento para WASH rural”, desenvolvido pelo Instituto René Rachou/Fiocruz Minas, com financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, Alex M. S., Fernanda Deister Moreira, Laura Magalhães Rocha e Silva, Matheus Valle, e Léo Heller. 2025. *Experiências sobre água e saneamento rural na América Latina e Caribe: aprendizados para a implementação das políticas no Brasil*. Belo Horizonte: Instituto René Rachou.

Brasil. 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Brasília. Acessado em 12 set. 2025. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.

Carvalho, Laura de Moraes. 2024. *Governança da água no Chile e a violação aos direitos humanos à água e ao saneamento*. Campinas: PUC-Campinas.

Kölling, Gabrielle Jacobi, Joedson de Souza Delgado, e Renato Lira Miler Silva. 2025. “O modelo de governança federativa na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o marco legal do saneamento.” *Revista da Ajuris* 52 (158): 179–216.

https://revistadaajuris.ajuris.org.br/index.php/REVAJURIS/article/view/1414.

Medeiros, Marcilio Sandro de, Luciete Almeida Silva, Zulma Maria de Medeiros, Renato Ferreira de Souza, Jessíca Reco Cruz, Erivaldo Cavalcanti e Silva Filho, e Carla Cristina Alves Torquato. 2024. "Por uma nova governança da gestão do saneamento básico no Amazonas: perspectivas baseadas na noção do sistema de garantias de direitos." *Saúde em Debate* 48 (143). https://www.saudeemdebate.org.br/sed/article/view/8724.

Ramos, R. F., K. Frey, A. M. Correia, L. A. P. Anjos, e A. L. Leonel. 2020. "Environmental sanitation in São Paulo Macrometropolis: perspectives for a multi-level governance." *Ambiente & Sociedade* 23. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200104r1vu2020L6AO.

United Nations General Assembly (UNGA). 2010. *Human right to water and sanitation*. Geneva: UNGA. UN Document A/RES/64/292.

United Nations (UN). 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Geneva: UN.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19117484

TRABALHO SOCIAL NA GOVERNANÇA EM SANEAMENTO RURAL: Experiência de assessoramento técnico no modelo SISAR - PE

SOCIAL WORK IN RURAL SANITATION GOVERNANCE:
Experience of technical advice in the SISAR – PE model

Ana Lúcia Alencar da Cunha Lima[1], William Ferreira da Silva[2], Alexandre Carlos Araújo de Santana[3] e Bruna Marques Soares[4].

[1]Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco/CAPES, Recife – PE, Brasil, alucia007@gmail.com, 0009-0002-0546-8051;
[2]MBA, Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife – PE, Brasil, olindaws@gmail.com, 0009-0006-7210-6295;
[3]Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, Brasil, alexandre.sustentat@gmail.com, 0000-0002-6717-5396
[4]Mestranda, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE, Brasil, bruna.bms@ufpe.br, 0009-0006-4401-7121;

Eixo temático 13 – Modelos de governança da área rural – Casos e experiências de sucesso

RESUMO

A meta de universalização do acesso à água, prevista no Novo Marco Regulatório do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), constitui um dos principais desafios para a gestão pública brasileira. Em Pernambuco, essa meta é ainda mais complexa devido às limitações impostas por fatores hidroclimáticos e territoriais, visto que o Estado apresenta a pior distribuição hídrica do país e possui 88% de sua extensão inserida no semiárido. Nessas condições, a ampliação do acesso à água em áreas rurais exige soluções de governança inovadoras, capazes de responder às especificidades locais e de superar os limites do modelo convencional de prestação desse serviço, que se mostra não sustentável. Nesse cenário, o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) surge como estratégia relevante para a gestão de sistemas de abastecimento de água (SAA) voltado para zona rural. Implantado em Pernambuco como política pública estadual, o modelo adota uma estrutura associativa de governança híbrida, combinando a atuação de associações comunitárias com apoio técnico, administrativo e financeiro do poder público. Esse arranjo promove descentralização, estimula a participação social e fortalece o monitoramento coletivo, gerando maior legitimidade e eficiência no processo de gestão. Partindo do pressuposto de que a essência do modelo de governança SISAR é a gestão compartilhada entre atores sociais locais, com diferentes preferências e interesses, compreende-se que o trabalho técnico social, como ferramenta de fortalecimento do associativismo, é parte constitutiva desse formato de governança, executando ações fundamentais para a sustentabilidade e o fortalecimento do modelo, como: capacitação de lideranças, mediação de conflitos, promoção da transparência dos processos e estímulo aos elementos que levam à cooperação. Dessa forma, o presente artigo busca apresentar a experiência metodológica do trabalho técnico social na criação, incubação e acompanhamento dos modelos de governança no formato SISAR implantados em Pernambuco. Focando no período de janeiro de 2024 a setembro de 2025, os resultados observados demonstram que o trabalho social fortalece a governança comunitária, amplia a adesão dos usuários, promove

maior equidade no acesso à água e garante maior sustentabilidade das gestões locais dos sistemas. Assim, conclui-se que, a experiência do SISAR-PE reafirma o papel central do trabalho social como instrumento de assessoramento técnico e como elemento estruturante da governança em modelos voltados para o saneamento rural.

Palavras-chave: Saneamento rural; Governança; Trabalho Social; SISAR; Pernambuco.

RESUMEN

El objetivo de acceso universal al agua, establecido en el Nuevo Marco Regulatorio de Saneamiento (Ley N.º 14.026/2020), constituye uno de los principales desafíos para la administración pública brasileña. En Pernambuco, este objetivo es aún más complejo debido a las limitaciones impuestas por factores hidroclimáticos y territoriales, ya que el estado tiene la peor distribución de agua del país y el 88% de su territorio se encuentra en la región semiárida. En estas condiciones, ampliar el acceso al agua en las zonas rurales requiere soluciones de gobernanza innovadoras capaces de responder a las especificidades locales y superar las limitaciones del modelo convencional de prestación de este servicio, que ha demostrado ser insostenible. En este escenario, el Sistema Integrado de Saneamiento Rural (SISAR) surge como una estrategia relevante para la gestión de los sistemas de abastecimiento de agua (SAS) dirigidos a las zonas rurales. Implementado en Pernambuco como una política pública estatal, el modelo adopta una estructura de gobernanza híbrida asociativa, que combina las actividades de las asociaciones comunitarias con el apoyo técnico, administrativo y financiero del gobierno. Este acuerdo promueve la descentralización, fomenta la participación social y fortalece el monitoreo colectivo, generando mayor legitimidad y eficiencia en el proceso de gestión. Partiendo de la premisa de que la esencia del modelo de gobernanza SISAR es la gestión compartida entre actores sociales locales con diferentes preferencias e intereses, se entiende que el trabajo técnico social, como herramienta para el fortalecimiento asociativo, es parte constitutiva de este formato de gobernanza, implementando acciones fundamentales para la sostenibilidad y el fortalecimiento del modelo, tales como: la capacitación de líderes, la mediación de conflictos, la promoción de la transparencia de los procesos y el fomento de elementos que conduzcan a la cooperación. Por lo tanto, este artículo busca presentar la experiencia metodológica del trabajo técnico social en la creación, incubación y monitoreo de modelos de gobernanza en formato SISAR implementados en Pernambuco. Centrándose en el período de enero de 2024 a septiembre de 2025, los resultados observados demuestran que el trabajo social fortalece la gobernanza comunitaria, aumenta la participación de los usuarios, promueve una mayor equidad en el acceso al agua y garantiza una mayor sostenibilidad en la gestión del sistema hídrico local. Así, se concluye que la experiencia del SISAR-PE reafirma el papel central del trabajo social como herramienta de asesoría técnica y como elemento estructurante de la gobernanza en modelos enfocados al saneamiento rural.

Palabras clave: Saneamiento rural; Gobernanza; Trabajo Social; SISAR; Pernambuco.

ABSTRACT

The goal of universal access to water, established in the New Regulatory Framework for Sanitation (Law No. 14,026/2020), constitutes one of the main challenges for Brazilian public administration. In Pernambuco, this goal is even more complex due to limitations imposed by

hydroclimatic and territorial factors, as the state has the worst water distribution in the country and 88% of its territory is located in the semiarid region. Under these conditions, expanding access to water in rural areas requires innovative governance solutions capable of responding to local specificities and overcoming the limitations of the conventional model of providing this service, which has proven to be unsustainable. In this scenario, the Integrated Rural Sanitation System (SISAR) emerges as a relevant strategy for managing water supply systems (WSS) targeted at rural areas. Implemented in Pernambuco as a state public policy, the model adopts an associative hybrid governance structure, combining the activities of community associations with technical, administrative, and financial support from the government. This arrangement promotes decentralization, encourages social participation, and strengthens collective monitoring, generating greater legitimacy and efficiency in the management process. Based on the premise that the essence of the SISAR governance model is shared management among local social actors with different preferences and interests, it is understood that social technical work, as a tool for strengthening associations, is a constitutive part of this governance format, implementing fundamental actions for the sustainability and strengthening of the model, such as: leadership training, conflict mediation, promoting process transparency, and encouraging elements that lead to cooperation. Therefore, this article seeks to present the methodological experience of social technical work in the creation, incubation, and monitoring of SISAR-format governance models implemented in Pernambuco. Focusing on the period from January 2024 to September 2025, the observed results demonstrate that social work strengthens community governance, increases user engagement, promotes greater equity in water access, and ensures greater sustainability in local water system management. Thus, it is concluded that the SISAR-PE experience reaffirms the central role of social work as a technical advisory tool and as a structuring element of governance in models focused on rural sanitation.

Keywords: Rural sanitation; Governance; Social Work; SISAR; Pernambuco.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O Novo Marco Legal do Sanemaneto (Lei Nº 14.026/2020) determinou que 99% da população brasileira deve ter acesso à água potável até 2033, o que representa um desafio para todo Brasil. Quando se trata de Pernambuco, o desafio é ainda maior, pois conta com a pior disponibilidade hídrica do país e com 88% do seu território localizado na área do semiárido (agreste e sertão), compreendendo apenas 20% dos recursos hídricos disponíveis no Estado. (PERNAMBUCO, 2025). Segunda Predotti e Dornefeld (2023), a meta de abastecimento prescrita na lei vai depender de dois fatores, de um lado, grande volume de investimento em infraestrutura, de outro, um aperfeiçoamento da governaça. Mas, antes de tudo, o que se entende por governança? A governança da água é um conjunto de ações políticas, sociais, econômicas e administrativas, que afentam o uso, o aproveitamento, a gestão e a prestação dos serviços desse bem. De forma geral, são os sistemas de governança que definem quem tem direito à água. (UNESCO, 2006 *apud* ANA, 2020)

Compreendendo que as falhas nos modelos de governança da água impactam na sua

preservação e na garantia de universalização do acesso, a OCDE (2015) reconhece que não há uma solução única para resolver (ou mitigar) todos os desafios, mas uma variedade de soluções adotadas em diferentes cenários, compreendendo que o modelo de governança adotoado, seja qual for, recebe grande influência do contexto e que, para ter êxito, esses modelos precisam estar alinhados com as peculiaridades locais. É nessa conjuntura que surge a gestão compartilhada do SISAR como ferramenta de governança híbrida, tendo 03 atores principais: a Associação Filiada, o SISAR e o Governo do Estado. Nessa configuração a gestão direta dos sistemas de abastecimento fica à cargo da associação local e do SISAR, com a parceria, fomento e assessormento técncio do Governo do Estado. Também configuram como parcerios dessa gestão, os municipios. O Sistema Integrado de Saneamento Rural – SISAR é uma confederação de associações que tem como objetivo geral a gestão, a operação e a manutenção do sistema de água no âmbito rural. Com relação à pessoa jurídica, o SISAR é uma associação civil de direito privado, sem fins lucrativos e regido pelo Código Civil Brasileiro. (ROCHA, 2013). O Modelo prever a seguinte estrutura institucional:

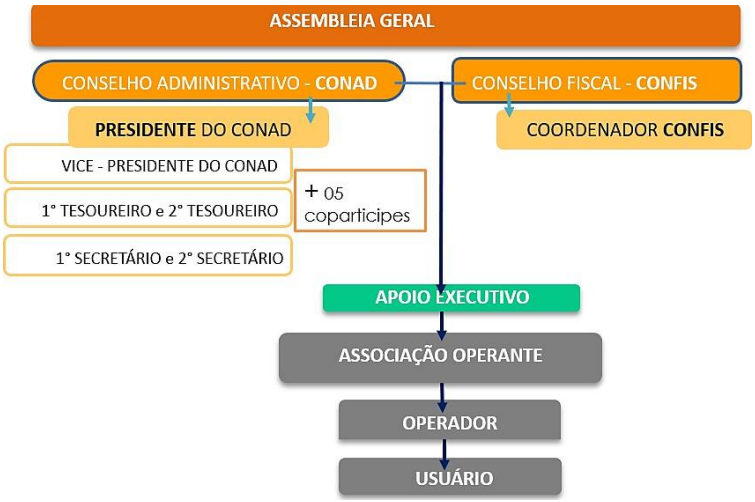


Figura 1. Estrutura de Governança do SISAR
Fonte: SRHS, 2025.

Constituido a partir de um Estato Social, a governança do modelo SISAR apresenta como atores principais: A Assembleira Geral, o Conselho de Administração - CONAD, o Conselho Fiscal - CONFIS e os Coparticipes (membros do Governo do Estado e de orgãos colegiados). Os Membros do CONAD tem mandato de 3 ano e do CONFIS de 2 anos, sendo as eleições realizadas em Assembleia Geral Ordinária – AGO, que só acontecem uma vez por ano. O presidente é escolhido entre os membros do CONAD, com mandato de 1 ano, podendo

se reconduzido mais 2 vezes. Com o objetivo de fortelecer o associativismo, a Assembleia Geral é o orgão máximo desse modelo de gestão, podendo decidir sobre qualquer matéria, como também pode tomar qualquer medida que julgar necessária para fazer cumprir o Estatuto Social. Abaixo segue um quadro com a cronologia da implantação da política no Estado.

Figura 2. Linha do tempo da implantação dos SISARs em Pernambuco
Fonte: SRHS, 2025.

Como uma confederação de entidades civis, a gestão do modelo apresenta dois grandes desafios organizacionais: garantir a constante transparência dos processos e garantir a cooperação entre as associaçoes filidadas. Esses dois elementos representam o alicerce para manter a adesão dos membros ao processo associativo que embasa a gestão compartilhada. Como acontece em outros orgãos colegiados previsto na PNRH (Plano Nacional de Recursos Hídricos), para enfrentar os dois desafios, a gestão do SISAR enfrenta problemas como: assimetria de informações; diferentes níveis de formação educacional entre os membros; dificuldades de infraestrutura para realização de reuniões e assembleias e grandes distâncias geográficas, visto que cada SISAR abrange diversos municípios em seu entorno, podendo ultrapassar dez em sua área de atuação, o que dificulta o deslocamento dos membros e, consequentemente impacta na participação, diminuindo o interesse dos membros e baixando o nivel de adesão, muitas vezes, levando a dispersão coletiva. Nesse sentido a assessoria social tem dois objetivos: fortalecer as capacidades organizacionais e gerenciais da gestão do SISAR e aproximar as associações filiadas dos processso decisórios, mantendo a cooperação entre as filiadas em um nível satisfatório. O trabalho social foca na interação desenvolvida entre os coparticipes, as associações filiadas e a gestão do SISAR; atuando no assessorando da operacionalização dos ritos democráticos previstos no Estatuto Social, com o fim de dar

previsibilidade às ações da gestão, como também alimentar a legitimidade desses processos, evitando assim a fragmentação ou o comportamento oportunista, através da transparência dos processos, da construção coletiva e divulgação das regras e garantia dos espaços de participação.

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Entre 2024 e 2025, a Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento passou a ter a Gerência Geral de Programa de Saneamento – GGPS, com uma equipe multidisciplinar, dedicada ao trabalho de assessoramento aos SISARs implantados e com a missão de implantar mais, de forma a cobrir toda a área rural pernambucana. A metologia desenvolvida adotou 03 frentes de trabalho social - FTS distitintas baseada no nível de "implantação" de cada SISAR, sendo eles: **FTS CRIAÇÃO, FTS INCUBAÇÃO** e **FTS ACOMPANHAMENTO**. Partindo do pressouposto de que o modelo prevê a autonomia gradual da gestão do SISAR, a assessoria téncica social alinha o grau e o pefil de intervenção ao nível de autonomia e complexidade em que o modelo se encontra. A FTS CRIAÇÃO compreende o rol de ações voltadas para fomentar a fundação de um SISAR. O FTS INCUBAÇÃO foca nas ações voltadas para capacitação, tanto dos membros que atuam diretamente na gestão do SISAR, quanto nas associações filiadas, especialmente as que operam ou irão operar sistemas de abastecimento. Por fim, a FTS ACOMPANHAMENTO, compreende as ações de monitoramento das gestões em que os modelos encontra-se plenamente implantados (contendo gestão formalizada e SAA em operação) e com maior grau de autonomia.

A frente de trabalho social CRIAÇÃO compreende as seguintes ações, (i) ***Definição de regras*** (delimitaçao de abrangência do SISAR e critérios para particpar como ouvinte ou como associação fundadora); (ii) ***Mapeamento dos atores sociais*** (Orgãos públicos, orgãos colegiados e associações rurais locais); (iii)***Mobilização dos atores locais mapeados para participação do processso;*** (iv)***Cadastramento das associações rurais*** lotadas na área de abrangência do SISAR em criação, (v) ***Realização das assembleias de deliberação e aprovação do Estatuto Social*** (de 3 a 5 assembleias) e (vi) ***Realização da assembleia para eleição e posse dos membros do CONAD e do CONFIS***.

A FTS INCUBAÇÃO compreende as ações focadas na capacitação, através de um trabalho multidisciplinar e focada em todos os eixos da gestão do modelo SISAR, sendo eles: comercial, administrativo-financeiro, operacional e social. Essa perfil de trabalho prevê a

realização de duas ações principais: (i) ***Realização de visitas técnicas*** de reconhecimento da dinâmica local de áreas onde há sistemas de abastecimento que irá ser gerido pelo SISAR, com objetivo de construir diagnóstico socioterritorial, para embasar a intervenção; (ii)realização de ***Oficinas de capacitação*** destinadas aos membros do SISAR e para as associações filiadas que irão operar sistemas de abastecimento e ***(iii) Assessoramento para realização de Assembleias gerais*** nas associações filiadas que irão operar sistemas com objetivo de escolher: o operador local, a ajuda de custos do operador, a ajuda de custos da associação e demais assuntos relacionados à operação. O objetivo dessa frente é capacitar os membros do SISAR e das associações operantes dos sistemas na execução da gestão comercial e operacional do SAA, como também desenvolver as ferramentas de governança de forma a fortalecer o associativismo e a cooperação. Modelos alvo dessa modalidade de trabalho precisam de uma intervenção e assessoramento mais constante, pois estão em fase de "amadurecimento", ainda não estão completamente implantados. Estão dentro dessa fase tanto os modelos implantados recentemente, mas que tenham previsão de operar sistemas de abastecimento, quanto os modelos criados há mais de 1 ano que ainda não tem previsão de operar sistemas.

Por fim, a FTS ACOMPANHAMENTO é direcionada aos modelos implantados completamente, pois compreende um rol de ações voltadas ao monitoramento do trabalho desenvolvidos pelas gestões e iniciativas de melhoria continua dos processos, assim como atualização dos instrumentais e até do Estatuto Social. As ações principais desse perfil são: ***(a) Acompanhamento do calendário de AGO, AGEs e Reuniões*** dos Conselhos, orientando para que todos os processos sejam executados de acordo com o que especifica o Estatuto Social; ***(b) Assessoria no planejamento e execução de prestação de contas***, ***com apresentação de resultados e análise de indicadores,*** não apenas dos sistemas em operação, mas da gestão como um todo, de forma a nivelar as informações com todos os associados e dar mais transparência e legitimidade aos elementos da gestão; (c) ***Mitigação de conflitos*** entre as associações filiadas ou entre as associações filiadas e os membros do SISAR; ***(d)Fomento na interação da gestão do SISAR com os demais órgãos e colegiados envolvidos com a política de saneamento rural,*** bem como os demais instrumentos normativos previstas na lei de convivência com o semiárido e por fim, (e) ***Promoção de encontros de capacitação com os SISARs***, como também articulação para que os membros participem de eventos com a pauta do saneamento rural.

É importante frisar que mesmo o SISAR apresentando o modelo plenamente implantado e com grau de maturidade alto, toda vez que um novo sistema é construído, inicia-

se um trabalho social do tipo INCUBAÇÃO, pois a associação que irá operar o SAA precisa passar pelo processo de capacitação. Por outro lado, pode ocorrer da equipe técnica identificar que, por algum motivo, a gestão do SISAR ou da associação que opera SAA precise passar novamente pelo trabalho de INCUBAÇÃO, seja porque houve falhas ou por rotatividade significativa dos membros. Assim, pode ocorrer de algum SISAR está sendo trabalhado por mais de uma metodologia. Conforme a metodologia de trabalho e o nível de maturidade dos modelos, entre janeiro de 2024 a setembro de 2025 o perfil de trabalho para cada SISAR, de modo geral, configura-se conforme tabela baixo:

Quadro 1. Perfil de trabalho social para cada SISAR de acordo com maturidade do modelo

SISAR	Qtd. de Associações Filidadas	Nivel de Maturidade	Situação da Gestão	Frente de Trabalho Social
MOXOTÓ	108	Plenamente implantado	- Opera 20 SAAs; - 3 anos de operação; - com previsão de inclusão de mais sistemas.	ACOMPANHAMENTO. Apenas quando há novo SAA ou nova associação filiada se trabalha a frente INCUBAÇÃO.
ALTO PAJEÚ	43	Plenamente implantado	- Opera 19 SAAs; - 3 anos de operação; - com previsão de inclusão de mais sitemas.	
SERTÃO CENTRAL E ARARIPE	162	Plenamente implatantado	- Opera 1 SAA, - Iniciado em 2025.	INCUBAÇÃO. Apesar de estar com o modelo implantado plenamente, começou a operar em junho de 2025 o primeiro SAA, sendo assim, está em fase de “amadurecimento”, precisando de assessoramento mais constante.
SERTÃO DO SÃO FRANCISCO	22	Modelo implantado parcialmente	Fundado há 3 anos, mas ainda não opera sistema.	INCUBAÇÃO. Como foi fundando há mais de 1 ano e não há previsão de operar SAA, o trabalho social é mais constante para evitar o esvaziamento da gestão.
AGRESTE CENTRAL	79	Modelo implantado parcialmente.	Fundado em agosto de 2025, com previsão de operação de SAA para 2026.	INCUBAÇÃO. Implantando em agosto de 2025, está em fase de capacitação.

Fonte: Elaboração própria (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para apresentação dos resultados, abaixo segue 3 tabelas resumo com as ações executadas de acordo com cada frente de trabalho, no período de janeiro de 2024 a setembro de 2025.

Quadro 2. Resumo das ações para a FT CRIAÇÃO – de janeiro/2024 a setembro/2025

Meses	maio a agosto de 2025
Delimitaçao do SISAR	26 municipios do Agreste Pernambuco
Regras de cadastramento para ter direito de voz e voto	1. CNPJ de Associação rural na área de abrangência do SISAR; 2. Ata de Eleição e Posse da diretoria vigente; 3. Documento de identificação com foto do representante, se o representante não for a presidente, apresentar documento de designação aprovado pela Assembleia da associação.
Regras de cadastramento para ser associação fundadora	1. Comparecer em pelo menos 3, das 4 Assembleias programadas e 2. Apresentar toda documentação para cadastramento.
Datas das Assembleias realizadas	10/06; 04/07 e 15/07 – debate e aprovação do Estatuto Social 14/08/2025 – Eleição e Posse dos membros do CONAD e CONFIS.
Municípios participantes do processo	Agrestina, Alagoinha, Altinho, Barra de Guabiraba, Belo Jardim, Bezerros, Bonito, Brejo da Madre de Deus, Cachoeirinha, Camocim de São Félix, Caruaru, Cupira, Gravatá, Ibirajuba, Jataúba, Lagoa dos Gatos, Panelas, Pesqueira, Poção, Riacho das Almas, Sairé, Sanharó, São Bento do Una, São Caetano, São Joaquim do Monte e Tacaimbó.
Quantidade de associações rurais participantes	Participaram 99 associações e 79 atenderam todos os critérios para configurar como associação fundadora.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 3. Resumo das ações para a FT INCUBAÇÃO – de janeiro/2024 a setembro/2025

Ações realizadas	27	Visita técnica de reconhecimento	
	09	Reuniões de capacitação	
	06	Assessoramento técnico para realização de AGO e AGE	
	08	Assessoramento técnico para realização de RECONAD	
	01	Encontro de capacitação de operadores	
SISAR trabalhados	Sertão Central e Araripe; Sertão do São Francisco; Agreste Central e Moxotó		
Meses de atuação nessa frente de trabalho	2024		2025
	03, 07, 08, 11e 12.		02, 03 e 07
Associações capacitadas para operar SAA	05	Comunidade Campo de Aviação – município de Pesqueira; Comunidade Ipojuca – município de Arcoverde; Comunidades de Juá e Aroeiras– município de Iguaracy; Comunidade Henrique Dias – município de Sertânia e Comunidade Tupanaci – município de Mirandiba;	

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 4. Resumo das ações para a FT ACOMPANHAMENTO – de janeiro/2024 a setembro/2025

Ações realizadas	07	Assessoramento para realização de RECONADs.	
	03	Reunião de alinhamento sobre Painel de Dados – indicadores.	
	03	Encontro de aprimoramento técnico.	
	03	Reunião de assessoramento técnico.	
	01	Reunião para discutir o Instrumento de Delegação (Contrato) entre os SISARs e cada uma das Associações Comunitárias Rurais Filiada e Operantes.	
	04	Assessoramento para realização de AGO e AGE.	
SISAR trabalhados	Moxotó, Alto Pajeú e Sertão Central e Araripe		
Meses de atuação nessa frente de trabalho	2024		2025
	02, 03, 04, 05, 06, 09,10 e 11		02, 03 e 07

Fonte: Elaboração própria (2025).

Durante o período de janeiro de 2024 a setembro de 2025, a equipe multidisciplinar da GGPS/SRHS, desenvolveu 4 Assembleias na frente de trabalho social CRIAÇÃO, resultando na fundação do primeiro SISAR na região do Agreste Central de Pernambuco, com a participação direta de mais de 90 associações rurais, envolvendo 26 munícipios. Na frente de trabalho INCUBAÇÃO, desenvolveu 51 ações de capacitação e assessoramento técnico, resultando em 5 associações filiadas aptas a fazer a gestão de sistemas de abastecimento implantados, em 5 municípios diferentes. Por fim, na frente ACOMPANHAMENTO, desenvolveu 21 ações de assessoramento técnico voltado para melhoria dos processos e avaliação de indicadores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contando com 41 sistemas de abastecimento em operação, mais de 400 associações filiadas nas regiões do Sertão e Agreste do Estado, levando água potável a mais de 24 mil pessoas no semiárido de Pernambuco, o modelo de governança para o saneamento rural SISAR-PE, tem sido uma experiência de sucesso. Aliada a esse fato, está o impacto do trabalho técnico social tanto no fomento à fundação, quanto no assessoramento para capacitação e monitoramento das ações desenvolvidas pelas gestões do modelo compartilhado. O trabalho técnico social vem se solidificando como ferramenta indispensável no fortalecimento e sustentabilidade do modelo, em todas as fases de “amadurecimento” do modelo de gestão compartilhada no formato SISAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Direito de águas à luz da governança*. Pilar Carolina Villar; Maria Luiza Machado Granziera. Brasília: ANA, 2020.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. *Plano Regional de Saneamento Básico – Microrregião RMR-Pajeú*. Recife: Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento – SRHS, 2025

OECD (2015), *Governança dos Recursos Hídricos no Brasil*, OECD Publishing, Paris.

PEDROTTI, Flávia Sartorato; DORNFELD, Carolina Buso. *Manual básico para governança em saneamento no Brasil: abastecimento de água; esgotamento sanitário*. Ilha Solteira: [s.n.], 2023

ROCHA, W. DOS S. Estu*do de caso do sistema integrado de saneamento rural (SISAR) no Brasil*. Nota técnica. Setor de Infraestrutura e meio Ambiente., 2013.

III SANEA BRASIL