

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CORRELAÇÃO ENTRE INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA E INTERNAÇÕES POR DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA EM MUNICÍPIOS ABASTECIDOS PELO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA NA PARAÍBA

*Sahara Guimarães da Cruz¹; Cézar Victor Alves de Lima²; Emanuel Fernández de Melo³;
Andrea Carla Lima Rodrigues⁴; Dayse Luna Barbosa⁵; Mônica de Amorim Coura⁶*

Abstract: Access to safe drinking water and basic sanitation is a fundamental human right recognized by the United Nations, and it is essential for public health and sustainable development. However, Brazil continues to face significant challenges in this sector, as the precariousness of sanitation services remains closely associated with the high incidence of waterborne diseases such as diarrhea, hepatitis A, and leptospirosis. In the state of Paraíba, despite progress in water supply coverage, which currently reaches 77% of the population, only 40% of residents are served by sewage collection systems, contributing to the persistence of diseases linked to contaminated water and severely impacting the population's quality of life. This study investigated the relationship between water quality and the incidence of acute diarrheal diseases in municipalities supplied by the Epitácio Pessoa Reservoir from 2014 to 2023. The methodology was structured into five stages: selection of indicators and data processing, evaluation of indicator relevance, normalization and aggregation, municipal vulnerability classification, and spatialization of results. The findings revealed significant sanitary and socioeconomic disparities, with municipalities such as Sossego, Matinhas, and Barra de Santana exhibiting the highest levels of vulnerability. The continued presence of water samples in non-compliance with the standards established by Ordinance GM/MS No. 888/2021 revealed operational and institutional shortcomings. The absence of Municipal Basic Sanitation Plans (PMSB) exacerbates this scenario by limiting local planning and the ability to secure public funding. The study underscores the urgent need for integrated public policies, strengthened water quality surveillance, and the implementation of PMSBs as key strategies to promote environmental health and reduce territorial inequalities.

Resumo: O acesso à água potável e ao saneamento básico é um direito humano fundamental, reconhecido pela ONU, essencial para a saúde pública e o desenvolvimento sustentável. Contudo, o Brasil ainda enfrenta desafios nesse setor, com a precariedade dos serviços de saneamento associada

1) Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA/UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário. Campina Grande-PB. CEP: 58429-900. sahara.guimaraes@estudante.ufcg.edu.br

2) Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA/UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário. Campina Grande-PB. CEP: 58429-900. cezar.victor@estudante.ufcg.edu.br

3) Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM/UFPB). Campus I Lot. Cidade Universitaria. João Pessoa-PB. CEP: 58051-900. emanuelfm2000@gmail.com

4) Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário. Campina Grande-PB. CEP: 58429-900. Fone: (83) 2101 1154. andreaufcg@gmail.com

5) Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário. Campina Grande-PB. CEP: 58429-900. Fone: (83) 2101 1086. dayseluna@yahoo.com.br

6) Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário. Campina Grande-PB. CEP: 58429-900. Fone: (83) 2101 1086. macoural@yahoo.com.br

à elevada incidência de doenças de veiculação hídrica, como diarreia, hepatite A e leptospirose. Na Paraíba, embora o estado tenha registrado avanços na cobertura de abastecimento de água, com 77% da população atendida, a coleta de esgoto alcança apenas 40% dos habitantes, contribuindo para a persistência de doenças relacionadas à água contaminada, afetando a qualidade de vida da população. Este estudo investigou a relação entre a qualidade da água e as notificações de doenças diarréicas agudas nos municípios abastecidos pelo Reservatório Epitácio Pessoa, entre 2014 e 2023. A metodologia foi estruturada em cinco etapas: seleção dos indicadores e tratamento de dados; avaliação quanto a importância; normalização e agregação; classificação dos municípios quanto a vulnerabilidade; e espacialização dos resultados. Os resultados evidenciaram disparidades sanitárias e socioeconômicas significativas, com municípios como Sossego, Matinhos e Barra de Santana apresentando maiores níveis de vulnerabilidade. A persistência de amostras de água em desconformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021 revelou falhas operacionais e institucionais. A ausência de PMSB agrava esse quadro, limitando o planejamento e a captação de recursos. O estudo reforça a necessidade de políticas públicas integradas, fortalecimento da vigilância da qualidade da água e elaboração dos PMSBs como estratégia para promover saúde ambiental e reduzir desigualdades territoriais.

Palavras-Chave – Saneamento Básico; Água Potável; Vulnerabilidade.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento básico é um direito humano fundamental, reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) por meio da Resolução A/RES/64/292 (ONU, 2010). Apesar de ser um direito essencial, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos nesse setor. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), em 2022, 84,9% da população brasileira tinha acesso à rede de abastecimento de água, enquanto apenas 56,0% contava com serviços de coleta de esgoto (SINISA, 2022). Essas diferenças refletem a desigualdade estrutural no acesso ao saneamento e impõem riscos à saúde da população.

A precariedade dos serviços de saneamento está diretamente ligada à elevada incidência de doenças de veiculação hídrica, como diarreia, hepatite A e leptospirose (Castro, 2019). Essas doenças, provocadas pela ingestão ou contato com água contaminada e imprópria para o consumo, representam um grave problema de saúde pública, especialmente em comunidades com acesso limitado a serviços de saneamento (Costa *et al.*, 2024; Soares e Souza, 2020). Dados do Trata Brasil (2021) evidenciam essa problemática no Brasil que registrou mais de 273 mil internações por doenças relacionadas à água contaminada em 2019, com gastos públicos superiores a R\$ 108 milhões com essas internações, sendo 113.748 mil (41,60%) desses casos concentrados no Nordeste. Esses números refletem a vulnerabilidade socioeconômica e as deficiências estruturais na gestão do saneamento básico.

Diante desse cenário, o tratamento da água surge como um elemento central na proteção da saúde coletiva (Costa *et al.*, 2024; Penso-Campos *et al.*, 2020). Garantir a potabilidade da água é essencial para preservar a saúde da população. O tratamento da água consiste em um conjunto de processos físicos e químicos que visam garantir que a água atenda aos padrões de potabilidade preconizados pela Portaria GM/MS nº 888/21 (Brasil, 2021). Entre os parâmetros que indicam a eficácia desse tratamento estão a turbidez, a ausência de *Escherichia coli* e a concentração de cloro residual livre – elementos amplamente utilizados no monitoramento da qualidade da água. A manutenção desses parâmetros dentro dos limites é fundamental para impedir a disseminação de patógenos e assegurar um abastecimento seguro (Castro *et al.*, 2019; Vitorino *et al.*, 2019).

Garantir a segurança da água consumida pela população é também uma das metas estabelecidas pela Agenda 2030 da ONU, por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, que visa estabelecer a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para

todos (ONU, 2015). Contudo, embora os avanços nos indicadores nacionais sejam relevantes, o cumprimento dessa meta exige esforços integrados entre governos, prestadores de serviço e a sociedade civil, com foco na ampliação da cobertura, na qualidade da água distribuída e, consequentemente, no controle de doenças associadas à sua contaminação (Ramos *et al.*, 2023).

Na Paraíba, a situação é igualmente preocupante. Embora o estado tenha registrado avanços na cobertura de abastecimento de água, com 77% da população atendida, a coleta de esgoto ainda é um desafio, alcançando apenas 40% dos habitantes (SINISA, 2022). Essa lacuna na infraestrutura de saneamento contribui para a persistência de doenças relacionadas à água contaminada, afetando significativamente a qualidade de vida da população (Penso-Campos *et al.*, 2020). Além disso, a região semiárida do estado, caracterizada por períodos prolongados de seca e escassez hídrica, agrava os desafios para garantir um abastecimento adequado e seguro.

Diante desse panorama, o presente estudo tem como objetivo investigar a relação entre a qualidade da água e a incidência de doenças de veiculação hídrica nos municípios paraibanos abastecidos pelo Reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), localizado no município de Boqueirão (PB). O reservatório, com capacidade máxima de armazenamento de aproximadamente 466,52 hm³, é o terceiro maior manancial do estado (Paraíba, 2025) e exerce papel estratégico no abastecimento de água de aproximadamente 661.646 mil pessoas, distribuídas em 21 municípios, incluindo importantes centros urbanos como Campina Grande – segundo maior município do estado –, Queimadas, Lagoa Seca e Alagoa Nova, tratando-se, portanto, de um sistema intermunicipal de grande relevância socioeconômica e ambiental para a região (Silva, 2019).

Apesar de sua relevância, o sistema apresenta vulnerabilidades significativas que impactam diretamente sua segurança hídrica e, consequentemente, a saúde pública. Inserido no contexto do semiárido brasileiro, sofre influência direta da irregularidade pluviométrica, da elevada evaporação e da recorrência de eventos de seca severa (Silva, 2019). Além disso, quando opera com volumes reduzidos, é comum observar o agravamento da qualidade da água, com aumento significativo da turbidez, concentração de nutrientes, matéria orgânica e indicadores microbiológicos, como *Escherichia coli*, o que impõe maiores desafios técnicos ao processo de tratamento (Calado, 2020).

Assim, este estudo propõe avaliar o parâmetro de qualidade da água – presença de *Escherichia coli* –, correlacionando com os dados de notificações de diarreia nos municípios atendidos pelo sistema, no período de 2014 a 2023. A relevância deste estudo reside na possibilidade de identificar vínculos significativos entre a qualidade da água distribuída e os indicadores de saúde pública, oferecendo subsídios para estratégias preventivas e políticas públicas que visem aprimorar o controle da qualidade da água e reduzir a ocorrência de doenças de veiculação hídrica no semiárido paraibano.

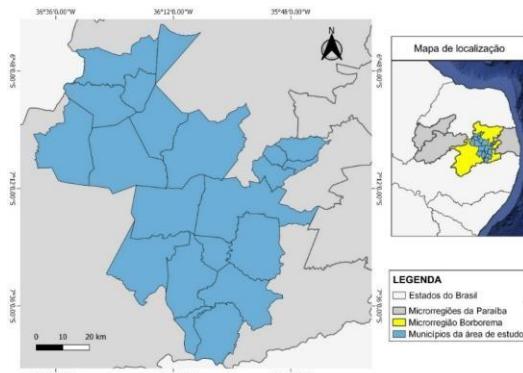
ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange os 21 municípios da Paraíba que são total ou parcialmente abastecidos pelo reservatório Epitácio Pessoa, situado na bacia hidrográfica do rio Paraíba. Esses municípios integram a microrregião de água e esgoto da Borborema e estão geograficamente distribuídos de forma a depender, em maior ou menor grau, da infraestrutura hídrica do referido manancial (Figura 1). A escolha dessa área baseia-se na sua relevância para o abastecimento da população local e na necessidade de compreender as disparidades no acesso e qualidade dos serviços ofertados.

Em relação à cobertura de abastecimento, a média populacional atendida por rede na região é de 61,52%, segundo dados do SINISA (2022). No entanto, essa média encobre disparidades significativas, uma vez que Campina Grande – principal polo urbano da área – apresenta cobertura de 99%, outros municípios, como Barra de Santana e Matinhas, possuem taxas inferiores a 20%. Essa discrepância revela a desigual distribuição da infraestrutura de saneamento básico, o que resulta em condições sanitárias distintas entre os municípios que compartilham a mesma fonte de abastecimento.

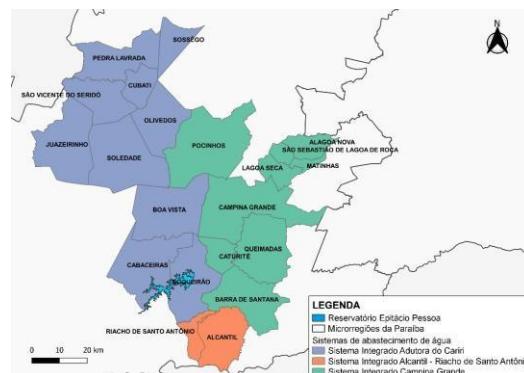
O fornecimento de água na região é operacionalizado por meio de três sistemas integrados: o Sistema Integrado Campina Grande, o Sistema Integrado Adutora do Cariri e o Sistema Integrado Alcantil-Riacho de Santo Antônio, cada um deles com sua respectiva Estação de Tratamento de Água (ETA). A Figura 2 ilustra a disposição dos municípios em relação aos sistemas que os abastecem, evidenciando a abrangência e a complexidade operacional envolvida (ANA, 2021).

Figura 1 – Delimitação e localização dos municípios que compõem a área de estudo



Fonte: Os autores (2025).

Figura 2 – Sistemas de abastecimento de água do reservatório Epitácio Pessoa

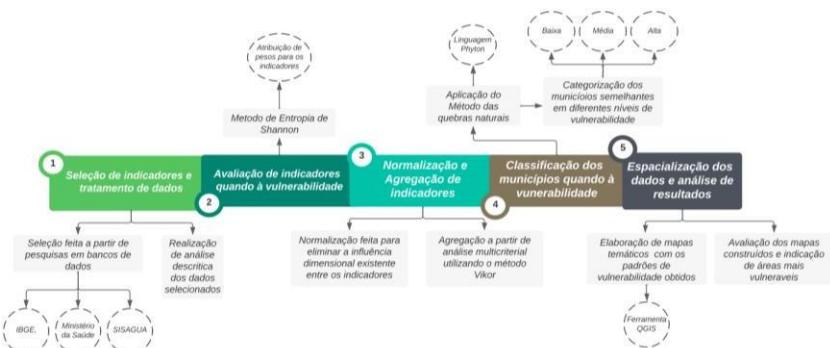


Fonte: Os autores (2025).

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada seguindo 5 etapas metodológicas representadas no fluxograma da Figura 3 e detalhadas mais a diante.

Figura 3 – Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Autores (2025)

Etapa 1: Seleção e tratamento dos dados

Para avaliar a vulnerabilidade da população em relação à ocorrência de doenças diarreicas nos municípios, foram utilizados os indicadores apresentados no Quadro 1. Os dados correspondentes a esses indicadores foram coletados para os 21 municípios da área de estudo, com base nas informações disponibilizadas pelo Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), pelo Painel de Monitoramento das Doenças Diarreicas Agudas do Ministério da Saúde e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no período de 2014 a 2023.

Os indicadores foram escolhidos com base em sua relevância para a análise da vulnerabilidade hídrica e sanitária. O percentual de amostras com presença de *Escherichia coli* representa a contaminação microbiológica da água; a taxa de doenças diarreicas reflete os efeitos sobre a saúde da

população; e o PIB per capita foi incorporado como indicador socioeconômico, visto que condições econômicas precárias estão frequentemente associadas a menor acesso a serviços de saneamento.

Quadro 1 – Indicadores utilizados no estudo

Indicador	Fonte
I ₁ - Percentual de amostras fora do padrão quanto ao parâmetro <i>Escherichia coli</i>	Sisagua
I ₂ - Taxa de doenças diarreicas agudas por habitante	MS
I ₃ - PIB per capita	IBGE

Fonte: Autores (2025).

Com o intuito de analisar o comportamento das variáveis ao longo do tempo, foi realizada uma análise descritiva dos dados, permitindo avaliar a série temporal e verificar a existência de padrões consistentes no período considerado.

Etapa 2: Avaliação de indicadores quanto ao critério de vulnerabilidade

Para entender a influência relativa de cada indicador no contexto municipal, foi adotado o método da Entropia de Shannon para a atribuição de pesos. Esse método permite quantificar o grau de incerteza de uma variável: quanto maior a entropia, menor a capacidade do indicador de fornecer informações relevantes, resultando em um peso proporcionalmente menor (Rocha *et al.*, 2011).

Inicialmente, a entropia de cada indicador foi calculada por meio da Equação 1.

$$H_j = -\frac{1}{\log(m)} \sum p_{ij} \log(p_{ij}) \quad (1)$$

Onde: H_j é a entropia da variável j ; P_{ij} é o valor normalizado do dado; m é o nº total de itens.

Em seguida, foram determinados o grau de diversificação de cada variável e os pesos dos indicadores conforme Equação 2 e 3.

$$d_j = 1 - H_j \quad (2) \quad w_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \quad (3)$$

Onde: d_j é o grau de diversificação; w_j é o peso da variável j .

Etapa 3: Normalização e agregação dos indicadores

Os pesos obtidos foram aplicados ao método VIKOR (*VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*), desenvolvido por Yu (1973) e que classifica alternativas com base em múltiplos critérios, identificando a solução mais próxima do ideal (Opricovic e Tzeng, 2004). Neste estudo, o VIKOR foi utilizado para ordenar os municípios com base na média dos indicadores do Quadro 1, conforme as etapas descritas por Degenhart *et al.* (2017):

- 1) Determinação dos valores ideal (f_{i^*}) e não ideal (f_{i^-}) para cada indicador:

$$f_{i^*} = \max_j f_{ij} \quad (4) \quad f_{i^-} = \min_j f_{ij} \quad (5)$$

Onde: f_{i^*} = valor máximo apresentado pelo indicador i nos municípios analisados; f_{i^-} = valor mínimo do indicador i dos municípios analisados; f_{ij} = valor do indicador i atribuído ao município j .

- 2) Cálculo dos valores S_j (utilidade agregada) e R_j (peso individual mínimo):

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (f_{i^*} - f_{ij})}{(f_{i^*} - f_{i^-})} \quad (6) \quad R_j = \frac{w_i (f_{i^*} - f_{ij})}{(f_{i^*} - f_{i^-})} \quad (7)$$

Onde: w_i = peso estratégico (obtido pela entropia de Shannon); f_{i^*} e f_{i^-} = valor máximo e mínimo do indicador i dos municípios analisados; f_{ij} = valor do indicador i atribuído ao município j .

3) Cálculo do índice de compromisso Q_j , conforme a Equação 8.

$$Q_j = \frac{\nu(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - \nu) * (R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (8)$$

Onde: $S^* = \min_j S_j$; $S^- = \max_j S_j$; $R^* = \min_j R_j$; $R^- = \max_j R_j$ e geralmente o valor de $\nu = 0,5$; Q_j = valor do índice final do município; S^- = maior grupo de máxima utilidade do conjunto de municípios; S^* = menor grupo de máxima utilidade do conjunto de municípios; R_j = peso individual mínimo; R^* = menor peso individual mínimo; R^- = maior peso individual mínimo.

Etapa 4: Classificação dos municípios quanto à vulnerabilidade

Com base nos valores de Q_j , os municípios foram categorizados em três níveis de vulnerabilidade: baixa, média e alta. Para essa etapa, foi utilizado o método de classificação de Jenks, também denominado método das Quebras Naturais (*Jenks Natural Breaks*), conforme descrito por Albuquerque (2008). Essa técnica baseia-se no princípio de minimizar as diferenças entre os valores pertencentes a uma mesma classe e maximizar as diferenças entre classes distintas, ou seja, busca formar agrupamentos com alta homogeneidade interna e heterogeneidade entre os grupos (Ramos *et al.*, 2016). A etapa de classificação foi desenvolvida por meio da linguagem de programação *Python*.

Etapa 5: Espacialização dos dados e análise dos resultados

A espacialização dos municípios segundo os níveis de vulnerabilidade foi realizada em ambiente de geoprocessamento, utilizando o *software* QGIS (versão 3.10.9). Os mapas temáticos elaborados permitem visualizar a distribuição espacial dos diferentes níveis de vulnerabilidade, facilitando a identificação de padrões regionais, áreas críticas e potenciais relações espaciais entre os indicadores. A partir desses mapas, foi conduzida uma análise interpretativa dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade da água distribuída

A Figura 4 apresenta a média do percentual de amostras de água em desconformidade quanto à presença da bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*) nos municípios abastecidos pelo reservatório Epitácio Pessoa, revelando variações significativas na qualidade microbiológica da água distribuída. Entre os municípios analisados, Matinhos apresentou os piores resultados ao longo do período avaliado, com destaque para o ano de 2019, quando mais de 90% das amostras não atenderam aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.

Figura 4 - Percentual de amostras em desconformidade quanto ao parâmetro *Escherichia coli* nos municípios da área de estudo

Município	E. coli 2014	E. coli 2015	E. coli 2016	E. coli 2017	E. coli 2018	E. coli 2019	E. coli 2020	E. coli 2021	E. coli 2022	E. coli 2023
Alagoa Nova	0,00%	55,56%	50,00%	64,52%	44,87%	38,46%	85,00%	75,51%	68,22%	
Alcantil	31,25%		28,05%	16,95%	17,65%	27,94%	43,04%	67,68%		
Barra de Santana			12,00%	5,13%	4,88%	4,17%	28,57%	48,84%		
Boa Vista			40,00%	36,84%	25,00%					
Boqueirão	19,84%	27,08%	36,36%	16,95%	22,73%	23,86%	10,00%	13,00%	19,49%	
Cabaceiras			22,22%	35,00%	40,54%	18,57%	2,42%	0,00%	0,00%	6,42%
Campina Grande	40,00%	55,60%	25,64%	54,09%	29,27%	9,91%	3,58%	7,32%	6,56%	25,78%
Caturité	31,82%	19,23%	24,39%	25,00%	26,00%	43,06%	30,00%	23,81%	48,53%	
Cubati	34,02%	24,29%	30,00%	22,89%	9,17%	18,09%	8,14%	11,11%	19,00%	37,00%
Juazeirinho	19,35%		38,46%	25,37%	10,71%	40,86%	31,58%	16,85%	19,49%	
Lagoa Seca			62,50%	62,16%	12,62%	23,74%	25,49%	27,03%	33,10%	
Matinhos				79,17%	90,32%	68,29%		53,70%	75,00%	
Olivedos				27,66%	20,63%	13,33%	9,38%	0,00%	0,00%	9,84%
Pedra Lavrada	5,56%	24,21%	51,72%	25,81%	48,18%	57,00%	40,43%	53,09%	70,16%	53,21%
Pocinhos	53,33%	57,00%	77,78%	0,00%	42,11%	27,12%	6,67%	21,43%	20,87%	63,55%
Queimadas			60,00%	75,00%	65,93%	20,00%	27,86%	31,71%	38,57%	38,31%
iacho de Santo Antônio	60,00%		57,14%	31,25%	56,25%	35,29%	47,06%	0,00%	80,00%	83,33%
Sebastião de Lagoa de Roça	60,00%		50,00%	37,78%	48,81%	37,04%	3,57%	51,32%	50,89%	46,60%
São Vicente do Seridó				2,22%	7,02%	10,23%	1,89%	3,66%	0,00%	20,51%
Soledade	36,73%	30,00%	34,62%	29,73%	21,74%	47,12%	54,00%	52,50%	65,77%	
Sossego	49,02%	37,50%	32,39%	20,83%	32,88%	27,78%	0,00%	11,39%	18,99%	

Fonte: Autores (2025).

Outro município que apresentou índices preocupantes foi Alagoa Nova, com percentuais de amostras em desacordo com os limites permitidos ultrapassaram 70% nos anos de 2021 e 2022. Esse padrão de inconformidades indica possíveis episódios de contaminação fecal, ou falhas nos processos de desinfecção nas estações de tratamento de água, ou por fatores externos, como deficiências na integridade das redes de distribuição, que podem favorecer a contaminação ao longo do sistema.

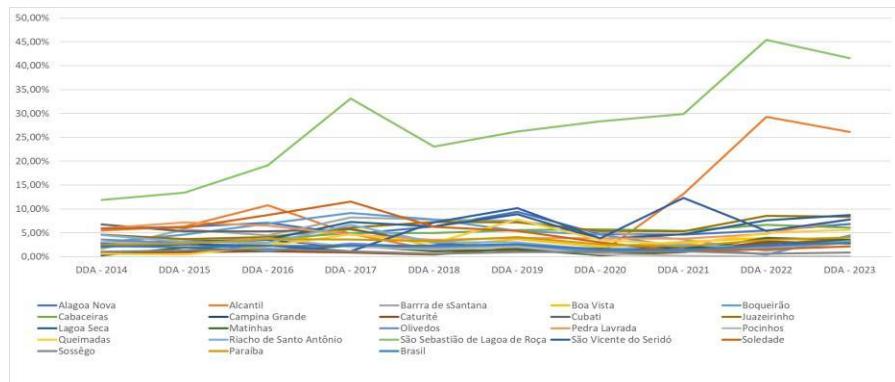
As situações observadas em Matinhos e Alagoa Nova configuram violação direta da legislação sanitária brasileira, mais especificamente da Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece como critério obrigatório a ausência de *E. coli* em 100 mL de amostra de água para consumo humano (Brasil, 2021). A persistência de amostras contaminadas compromete a segurança hídrica e representa um risco iminente à saúde pública, sobretudo em localidades onde os mecanismos de vigilância sanitária são frágeis ou inexistentes. Esse cenário é mais preocupante quando associado à baixa cobertura de abastecimento por rede em municípios com altos índices de inconformidade. No caso de Matinhos, p. ex., apenas 20,17% da população é atendida com água tratada (SINISA, 2022), o que indica forte dependência de fontes alternativas, como cisternas, carros-pipa e poços, geralmente desprovidas de controle de qualidade sistemático. Essa combinação de vulnerabilidades amplia os riscos de exposição da população a patógenos veiculados pela água.

Observa-se ainda um comportamento relevante ao longo da série temporal. O ano de 2023 apresentou a maior média geral de amostras em desconformidade, atingindo 43,63%, podendo indicar falhas nas condições operacionais dos sistemas de tratamento e distribuição, maior pressão sobre a infraestrutura em decorrência de secas ou falhas nos protocolos de vigilância e manutenção. O dado reforça a necessidade de ações estruturantes para garantir a segurança da água ofertada à população.

Comportamento das Doenças Diarreicas Agudas

A Figura 5 apresenta a evolução das taxas de Doenças Diarreicas Agudas (DDA) no período de 2014 a 2023, abrangendo os 21 municípios abastecidos pelo reservatório Epitácio Pessoa.

Figura 5 - Evolução temporal das taxas de DDA nos municípios entre 2014 e 2023



Fonte: Autores (2025).

O município de São Sebastião de Lagoa de Roça destacou-se negativamente durante todo o período analisado, apresentando sistematicamente as maiores taxas de DDA em comparação aos demais municípios estudados. O pico ocorreu em 2022, mas o crescimento das taxas foi contínuo desde 2014, indicando uma situação crônica de exposição da população a condições insalubres. O município de Alcantil também apresentou um comportamento preocupante, com um aumento abrupto nas taxas de DDA entre 2021 e 2022, mantendo valores elevados em 2023. Esse padrão pode estar relacionado a episódios específicos de degradação na qualidade da água distribuída, bem como à limitação na cobertura e eficiência dos sistemas de esgotamento sanitário, o que contribui para a circulação de agentes patogênicos no ambiente.

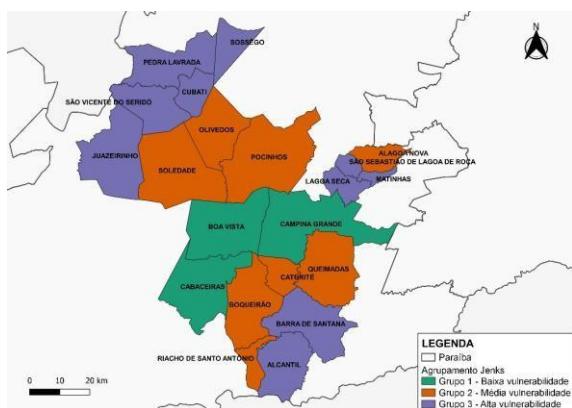
Entretanto, a maioria dos municípios manteve-se com níveis baixos e relativamente estáveis de DDA ao longo do período, o que sugere melhores condições de saneamento e acesso à água potável. São Vicente do Seridó destoou dessa tendência ao registrar um aumento significativo em 2021, ainda que tenha retornado a patamares mais baixos nos anos seguintes.

Ao confrontar a evolução das taxas de DDA com os percentuais de amostras em desconformidade para *E. coli*, observa-se uma correspondência significativa em alguns casos. Em São Sebastião de Lagoa de Roça, por exemplo, os anos de 2021, 2022 e 2023 coincidem com os maiores percentuais de contaminação microbiológica da água, que foram de 51,32%, 50,89% e 46,6%, respectivamente. Essa sobreposição reforça a hipótese de que o consumo de água contaminada seja um dos principais vetores das doenças diarreicas observadas.

Classificação integrada de vulnerabilidade

A Figura 6 apresenta os resultados do agrupamento dos municípios com base em três indicadores: qualidade da água (medida pela presença de *E. coli*), incidência de DDA e PIB per capita. Para fins analíticos, os municípios classificaram-se em três grupos: o Grupo 1 reúne aqueles que apresentam as melhores condições sanitárias; o Grupo 2 representa uma condição intermediária; e o Grupo 3 inclui os municípios com os piores resultados, caracterizados por alta vulnerabilidade sanitária e socioeconômica.

Figura 6 - Classificação dos municípios quanto ao nível de vulnerabilidade sanitária



Fonte: Os autores (2025).

Os municípios de Boa Vista, Cabaceiras e Campina Grande se destacam positivamente por integrarem o Grupo 1, evidenciando as melhores condições sanitárias entre os municípios analisados. Esses territórios apresentam baixas taxas de contaminação microbiológica da água, menor incidência de Doenças Diarreicas Agudas (DDA) e níveis mais elevados de desenvolvimento econômico, o que reflete uma maior capacidade institucional para prover serviços públicos essenciais, especialmente nas áreas de saneamento básico e saúde pública. Em contrapartida, o Grupo 3 abrange dez municípios que concentram os indicadores mais críticos: Sossego, Pedra Lavrada, Cubati, São Vicente do Seridó, Juazeirinho, Barra de Santana, Alcântil, Lagoa Seca, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça. Esses municípios acumulam os piores resultados nos três critérios, revelando a sobreposição de fatores críticos que comprometem diretamente a saúde pública e o acesso a serviços essenciais.

Um aspecto relevante é a heterogeneidade dos sistemas de abastecimento dentro do próprio Grupo 3. Enquanto cinco municípios – Sossego, Pedra Lavrada, Cubati, São Vicente do Seridó e Juazeirinho – integram o Sistema Adutor do Cariri, outros quatro – Barra de Santana, Lagoa Seca, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça – pertencem ao Sistema Integrado Campina Grande, e Alcântil está vinculado ao Sistema Alcântil-Riacho de Santo Antônio. A presença de municípios do mesmo sistema em extremos diferentes do agrupamento reforça a ideia de que a vulnerabilidade

sanitária não é apenas determinada pela estrutura técnica do sistema adutor, mas também pela governança local, qualidade do monitoramento, eficiência operacional e cobertura de atendimento.

Além disso, três municípios classificados no grupo de maior vulnerabilidade – Matinhas, Alcantil e São Sebastião de Lagoa de Roça – não possuem Plano Municipal de Saneamento Básico, o que compromete a capacidade de diagnóstico, de definição de metas e de captação de recursos junto aos entes federativos. A inexistência desses planos é um reflexo direto da fragilidade técnica e administrativa que afeta o planejamento de longo prazo e perpetua a condição de vulnerabilidade.

Do ponto de vista da infraestrutura, os dados do SINISA (2022) reforçam de forma contundente o cenário de precariedade nos municípios mais vulneráveis, evidenciando graves deficiências no acesso à água tratada. Em Sossego, por exemplo, não há qualquer registro de atendimento por rede de abastecimento (0,00%); em Barra de Santana, apenas 7,33% da população é atendida; e em Matinhas, esse percentual é de 20,17%. Esses números revelam uma realidade marcada pela dependência de fontes alternativas, como cisternas e poços, geralmente sem controle sistemático de qualidade, o que amplia os riscos de exposição a contaminantes e a ocorrência de doenças.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa evidenciou disparidades marcantes na condição sanitária dos 21 municípios abastecidos pelo reservatório Epitácio Pessoa. A classificação integrada identificou municípios com altos níveis de vulnerabilidade, tanto do ponto de vista sanitário quanto socioeconômico. A persistência de amostras de água em desconformidade com os padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021) configura um cenário crítico, especialmente em localidades com baixa cobertura por rede de abastecimento. Tal situação intensifica a ocorrência de enfermidades relacionadas ao consumo de água contaminada, como as DDA, conforme já amplamente evidenciado por estudos que relacionam saneamento precário à alta morbidade por doenças de veiculação hídrica (Correia *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2025). A análise também demonstrou que a simples existência de sistemas integrados de abastecimento não assegura a qualidade da água distribuída. Fatores como gestão operacional, manutenção das redes, presença de PMSB e capacidade técnica local se mostram determinantes na garantia da segurança hídrica. Nesse contexto, os resultados reforçam a urgência de políticas públicas articuladas e investimentos estruturantes, para redução das desigualdades territoriais no acesso à água potável.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.H.M. *Conglomerados especiais: uma nova proposta*. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Programa de Pós-Graduação em Estatística. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 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. Brasília, 2021.

CALADO, T.O. *Análise da relação do uso do solo com a qualidade da água do Açude Epitácio Pessoa no eixo leste do projeto de integração do Rio São Francisco*. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

CASTRO, R.S.; CRUVINEL, V.R.N.; OLIVEIRA, J.L.M. (2019). “Correlação entre qualidade da água e ocorrência de diarreia e hepatite A no DF/Brasil”. *Saúde em Debate*, 43(3), pp. 8 - 19.

CORREIA, C.V.; HUSZCZ, G.B.; PAES, B.A.; SANTOS, A.G.E; MARTENS, L.B. (2021). “Doenças de veiculação hídrica e seu grande impacto no Brasil: consequência de alterações climáticas ou ineficiência de políticas públicas?”. *Brazilian Medical Students*, 5(8).

COSTA, K.L.P.; PINHEIRO, P.G.; LINS, F.S.V.; OLIVEIRA, C.R.T.; BEZERRA, W.K.T.; CUSTÓDIO, P.P.; SAMPAIO, I.A.A.; PENHA, A.T.C.; LEITE, F.S.L.S.; COSTA, A.P.T.; ADRIANO, M.S.P.F. (2024). “*Saneamento e impacto na saúde coletiva: um estudo em comunidades rurais no alto sertão paraibano*”. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 17(10), e11324.

COSTA, W.S.; GÜNTHER, W.M.R.; GUIMARÃES, R.M.; BILOTTA, P. (2025). “*Mudanças climáticas, carências na infraestrutura urbana e doenças de veiculação hídrica: uma análise de escopo da leptospirose*”. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, 14(2), e1795.

ONU. *ODS*. Agenda 2030. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2015.

ONU. Assembleia Geral. *Resolução 64/292*. AG Index: A/RES/64/292, 28 de julho de 2010. Disponível em: <<https://docs.un.org/en/A/Res/64/292>>. Acesso em: 03 maio 2025.

ONU. Organização das Nações Unidas. (2023). *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: Água potável e saneamento*. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 03 maio 2025.

OPRICOVIC, S. TZENG, G. (2004). “*Compromisse solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS*”. *European Journal of Operational Research*, 16 pp. 445- 455.

PARAÍBA. AESA - *Volume dos açudes*. 2025. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/volume-dos-acudes/>>. Acesso em: 27 de maio de 2025.

PENSO-CAMPOS, J.M.; PÉRICO, E.; SILVEIRA, E.F. (2020). “*Análise espacial da morbimortalidade humana associada ao saneamento, destinação do lixo, abastecimento e tratamento de água*”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(6), pp. 2355 - 2376.

RAMOS, A.P.M.; MARCATO JÚNIRO, J.; DECANINI, M.M.S.; PUGLIESI, E.A.; OLIVEIRA, R.F.; PARANHOS FILHO, A.C. (2016). “*Avaliação qualitativa e quantitativa de métodos de classificação de dados para o mapeamento coroplético*”. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68(3).

RAMOS, F.A.; PICCOLE, E.M.; RIBAS, W.V.C.; ROMERO, R.B.; ROMERO, A.L. (2023). “*Reflexões sobre o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (Água Potável e Saneamento): emergência de (novos) paradigmas e paradoxos*”. *Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável*, 2(7).

ROCHA, I.; HEIN, N.; KROENKE, A. *Entropia da informação em indicadores econômicofinanceiros das empresas pertencentes ao setor econômico materiais básicos*. XIV SemeAd – Seminários em Administração, 2011. Anais [...]. [S. l.]: 2011.

SILVA, J.F.C.B.C. *Crise hídrica no abastecimento de água em Campina Grande: Análise de cenários futuros no volume de água do Reservatório Epitácio Pessoa entre 2020 e 2030*. 2019. 122f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SINISA. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2022*. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snис/painel>>. Acesso em: 03 maio 2025.

SOARES, A.F.S.; SOUZA, L.P.S. (2020). “*Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde*”. *Revista de Direito Sanitário*, 20(2), pp. 100-133.

TRATA BRASIL. (2021). *Saneamento e doenças de veiculação hídrica DATASUS e SNIS 2019*. São Paulo: Trata Brasil, 25 p.

VITORINO, D.C.F.R.; ALMEIDA, V.G.; GUIMARÃES, J.C.S.; SILVA, A.C.; MORAES, L.A.R.; SOUZA, G.K.S. (2019). “*Gerenciamento e caracterização dos recursos hídricos na comunidade do Barro Preto no município de Santa Maria de Itabira MG*”. *Research, Society and Development*, 8(9).

YU, P.L. (1973). “*A class of solutions for group decision problems*”. *Management Science*, 19(8), pp. 936-946.