



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

SAHARA GUIMARÃES DA CRUZ

**VULNERABILIDADE À DEFICIÊNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS
MICRORREGIONAIS DE SANEAMENTO DA PARAÍBA**

Campina Grande – PB

2025

SAHARA GUIMARÃES DA CRUZ

**VULNERABILIDADE À DEFICIÊNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS
MICRORREGIONAIS DE SANEAMENTO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Andréa Carla Lima Rodrigues

Co-orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Dayse Luna Barbosa

Campina Grande – PB

2025

C957v

Cruz, Sahara Guimarães da.

Vulnerabilidade à deficiência do esgotamento sanitário nas microrregionais de saneamento do Estado da Paraíba / Sahara Guimarães da Cruz – Campina Grande, 2025.

103 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2025.

"Orientação: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa."

Referências.

1. Saneamento Ambiental. 2. Recursos Hídricos. 3. Dimensões da Vulnerabilidade. 4. Saúde Pública. 5. Índice de Desempenho. 6. Entropia de Shannon. 7. Método de VIKOR. I. Rodrigues, Andréa Carla Lima. II. Barbosa, Dayse Luna. III. Título.

CDU 628(043)

SAHARA GUIMARÃES DA CRUZ

**VULNERABILIDADE À DEFICIÊNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS
MICRORREGIONAIS DE SANEAMENTO DA PARAÍBA**

Dissertação aprovada em: 24 de fevereiro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Andrea Carla Lima Rodrigues
Universidade Federal de Campina Grande
Presidente/Orientadora

Prof.^a Dr.^a Dayse Luna Barbosa
Universidade Federal de Campina Grande
Coorientadora

Prof.^a Dr.^a Iana Alexandra Alves Rufino
Universidade Federal de Campina Grande
Examinadora Interna

Prof. Dr. Igor Souza Ogata
Universidade Estadual da Paraíba
Examinador Externo



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

1. **ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**
2. **ALUNO(A): SAHARA GUIMARÃES DA CRUZ / COMISSÃO EXAMINADORA: DR.ª ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES - PPGECA/UFCG (PRESIDENTE) - ORIENTADORA, DR.ª DAYSE LUNA BARBOSA - PPGECA/UFCG – COORIENTADORA, DR.ª IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO - PPGECA/UFCG – EXAMINADORA INTERNA, DR. IGOR SOUZA OGATA - CCTS/UEPB - EXAMINADOR EXTERNO (PORTARIA 08/2025). / TITULO DA DISSERTAÇÃO: “VULNERABILIDADE À DEFICIÊNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS MICRORREGIONAIS DE SANEAMENTO DA PARAÍBA” / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INICIO: 14:30 HORAS /LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA I, BLOCO CR, CAMPUS SEDE DA UFCG, DE FORMA HÍBRIDA.**
3. **EM SESSÃO REALIZADA DE FORMA HÍBRIDA, APÓS EXPOSIÇÃO DE CERCA DE 40 MINUTOS, O(A) CANDIDATO(A) FOI ARGUIDO(A) ORALMENTE PELOS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO NO TEMA DE SUA DISSERTAÇÃO, SENDO-LHE ATRIBUÍDA O CONCEITO “EM EXIGÊNCIA”, SENDO QUE A POSSIBILIDADE DE APROVAÇÃO ESTÁ CONDICIONADA À AVALIAÇÃO DA NOVA VERSÃO DO TRABALHO FINAL, SEGUINDO PROCEDIMENTOS PREVISTOS NA RESOLUÇÃO DO PROGRAMA. O PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA, OUVIDOS OS DEMAIS MEMBROS, DEVERÁ FICAR RESPONSÁVEL POR ATESTAR QUE AS CORREÇÕES SOLICITADAS NA LISTA DE EXIGÊNCIAS FORAM ATENDIDAS NA VERSÃO FINAL DO TRABALHO. A COMISSÃO EXAMINADORA CUMPRINDO OS PRAZOS REGIMENTAIS, ESTABELECE UM PRAZO MÁXIMO DE 30 DIAS PARA QUE SEJAM FEITAS AS ALTERAÇÕES EXIGIDAS. APÓS O DEPÓSITO FINAL DO DOCUMENTO DE DISSERTAÇÃO, DEVIDAMENTE REVISADO E MEDIANTE ATESTADO DO ORIENTADOR, O CONCEITO “EM EXIGÊNCIA” PASSARÁ IMEDIATAMENTE PARA O DE “APROVADO”. NA FORMA REGULAMENTAR, FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, QUE É ASSINADA POR MIM, ISABELLY CRISTINNY GOMES GAUDENCIO, ASSISTENTE EM ADMINISTRAÇÃO, ALUNO(A) E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**
4. **CAMPINA GRANDE, 24 DE FEVEREIRO DE 2025.**



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2025, às 16:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2025, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sahara Guimarães da Cruz, Usuário Externo**, em 25/02/2025, às 11:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/02/2025, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Souza Ogata, Usuário Externo**, em 25/02/2025, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ISABELLY CRISTINNY GOMES GAUDENCIO, ASSISTENTE EM ADMINISTRACAO**, em 25/02/2025, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **5243956** e o código CRC **ABEEF0C2**.

*Dedico este trabalho à minha mãe,
Maria de Fátima, mulher forte, amiga e
companheira de todas as horas.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, toda honra, glória e louvor. Se cheguei até aqui, foi unicamente pela Sua graça em minha vida. Que eu possa louvá-Lo também em minha jornada acadêmica e profissional.

À minha mãe, mulher que me inspira todos os dias com seu amor, sua dedicação e força extraordinária. Se hoje estou me tornando mestre, é graças ao seu empenho, que desde sempre nunca mediu esforços para me proporcionar a melhor educação. Espero honrar cada um desses esforços.

Ao meu grande amor, Emanuel, que esteve comigo em cada etapa dessa caminhada. Desde a graduação, ele acompanhou todos os altos e baixos, permanecendo ao meu lado em todos os momentos. Sou imensamente grata por tê-lo como meu melhor amigo, meu grande amor e colega de profissão. Que Deus abençoe todos os dias da sua vida.

Às minhas orientadoras, Andréa e Dayse, que vão muito além do papel de professoras. Sempre me auxiliaram, incentivaram e, quando preciso, souberam também corrigir e direcionar, contribuindo para meu amadurecimento acadêmico. Vocês são profissionais inspiradoras. Louvo a Deus por suas vidas.

Aos meus colegas da pós-graduação, que tornaram essa jornada mais leve. Em especial, Milena, um exemplo de resiliência e serenidade, que transmite doçura e reflete o amor de Deus através de sua amizade. A Áurea, Pedro Augusto, Matheus, Epitácio, Ângelo e Roseane, minha gratidão por cada momento compartilhado.

À Roberta, Cristiane e Sonally, pela disponibilidade e por toda ajuda ao longo desses anos.

Aos professores que foram essenciais para o meu aprendizado e amadurecimento acadêmico. Meu agradecimento especial a Carlos Galvão e Iana Rufino, que me acompanham desde a graduação e por quem tenho imenso carinho.

Aos professores, membros da banca examinadora, Iana Rufino e Igor Souza Ogata pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições.

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, por proporcionarem um ambiente acadêmico, e aos servidores, sempre tão solícitos e prestativos. Vocês fazem com que esse programa seja excelente.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desse trabalho. Minha gratidão.

*“Que darei eu ao Senhor, por todos os
benefícios que me tem feito?”*

Salmos 116:12

RESUMO

A falta de acesso a serviços de saneamento compromete a qualidade de vida das populações, e a precariedade na coleta e tratamento de esgoto agrava ainda mais sua vulnerabilidade. Nesse contexto, a identificação de áreas críticas por meio de índices e indicadores de desempenho é fundamental para subsidiar a implementação de ações estratégicas eficazes. O objetivo desta pesquisa é estudar a vulnerabilidade ao serviço de esgotamento sanitário nas microrregiões de saneamento do estado da Paraíba, para auxiliar o direcionamento e a priorização de políticas públicas que reduzam os impactos resultantes da deficiência do serviço. O estudo considera três dimensões da vulnerabilidade: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa. A metodologia foi estruturada em seis etapas: pré-seleção dos indicadores; aplicação de métodos estatísticos para selecionar indicadores representativos e sem correlação; atribuição de pesos e cálculo do Índice de Vulnerabilidade à Deficiência do Esgotamento Sanitário (IVES) utilizando a entropia de Shannon; agregação dos indicadores pelo método VIKOR e classificação do IVES; uso de geotecnologias para visualização dos resultados; e análise da vulnerabilidade nas microrregiões. A Microrregião de Espinharas destacou-se com 91% dos municípios em situação de vulnerabilidade muito alta, devido à ausência de esgotamento sanitário, pobreza e escassez de investimentos. O município de Diamante foi considerado o mais vulnerável do estado. Em contrapartida, a Microrregião Borborema obteve os melhores resultados, com cinco municípios classificados com muito baixa vulnerabilidade. João Pessoa, na Microrregião Litoral, foi o município menos vulnerável. Os principais desafios incluem a precariedade do serviço de esgotamento sanitário na dimensão de risco, condições socioeconômicas desfavoráveis na dimensão de susceptibilidade e a falta de planejamento e distribuição equitativa de recursos na capacidade adaptativa. Conclui-se que a metodologia desenvolvida pode subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à redução da vulnerabilidade, contribuindo para um planejamento mais eficaz e a melhoria das condições de vida das populações afetadas.

Palavras-chave: Dimensões da vulnerabilidade; Saúde pública; Índice de desempenho; Entropia de Shannon; Método de VIKOR.

ABSTRACT

The lack of access to sanitation services compromises the quality of life of the population, and the precariousness of sewage collection and treatment further aggravates their vulnerability. In this context, the identification of critical areas through performance indexes and indicators is essential to support the implementation of effective strategic actions. The objective of this research is to study the vulnerability of the sewage service in the sanitation microregions of the state of Paraíba, to assist in the direction and prioritization of public policies that reduce the impacts resulting from the deficiency of the service. The study considers three dimensions of vulnerability: risk, susceptibility and adaptive capacity. The methodology was structured in six stages: pre-selection of indicators; application of statistical methods to select representative and uncorrelated indicators; assignment of weights and calculation of the Sewage Deficiency Vulnerability Index (SVII) using Shannon entropy; aggregation of indicators by the VIKOR method and classification of the SVII; use of geotechnologies to visualize the results; and analysis of vulnerability in the microregions. The Espinharas Microregion stood out with 91% of municipalities in a situation of very high vulnerability, due to the lack of sanitation, poverty and lack of investment. The municipality of Diamante was considered the most vulnerable in the state. In contrast, the Borborema Microregion obtained the best results, with five municipalities classified as having very low vulnerability. João Pessoa, in the Litoral Microregion, was the least vulnerable municipality. The main challenges include the precariousness of the sanitation service in the risk dimension, unfavorable socioeconomic conditions in the susceptibility dimension and the lack of planning and equitable distribution of resources in the adaptive capacity. It is concluded that the methodology developed can support the formulation of public policies aimed at reducing vulnerability, contributing to more effective planning and improving the living conditions of the affected populations.

Keywords: Dimensions of vulnerability; Public health; Performance index; Shannon entropy; VIKOR method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Proporção de municípios que relataram endemias ou epidemias relacionadas à inadequação dos serviços de saneamento em 2017	10
Figura 2 – Diagrama conceitual proposto de vulnerabilidade sob um enfoque multidisciplinar e interdisciplinar.	13
Figura 3 – Nível de agregação de dados para avaliação da vulnerabilidade	18
Figura 4 – Delimitação do semiárido do estado da Paraíba	19
Figura 5 – Mapa de localização do estado da Paraíba e suas bacias hidrográficas	20
Figura 6 – Mapa das microrregiões de água e esgoto do estado da Paraíba	21
Figura 7 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa	23
Figura 8 – Fluxograma da análise estatística.....	26
Figura 9 – Etapas para aplicação do método de VIKOR	31
Figura 10 – Mapa da vulnerabilidade nas microrregiões do estado da Paraíba.	48
Figura 11 – Mapa da vulnerabilidade na microrregião Alto Piranhas	49
Figura 12 - Mapa da vulnerabilidade na microrregião Espinharas.....	52
Figura 13 - Mapa da vulnerabilidade na microrregião Borborema	55
Figura 14 - Mapa da vulnerabilidade na microrregião Litoral	59
Figura 15 – Mapa da vulnerabilidade nos municípios da Paraíba	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do IVES.....	33
Tabela 2 – Resultados do teste de Shapiro-Wilk	34
Tabela 3 – Resultado da correlação de Spearman dos indicadores da dimensão de Risco	35
Tabela 4 – Valor de VIF para cada indicador da dimensão de Risco.....	36
Tabela 5 - Resultado da correlação de Spearman dos indicadores da dimensão de Susceptibilidade	37
Tabela 6 – Valor de VIF para cada indicador da dimensão de Susceptibilidade	37
Tabela 7 - Resultado da correlação de Spearman dos indicadores da dimensão de Capacidade Adaptativa	38
Tabela 8 – Valor de VIF para cada indicador da dimensão de Capacidade Adaptativa	39
Tabela 9 – Média e pesos dos indicadores da dimensão de Risco	40
Tabela 10 – Média e pesos dos indicadores da dimensão de Susceptibilidade	41
Tabela 11 – Média e pesos dos indicadores da dimensão de Capacidade Adaptativa	41
Tabela 12 – Valores das dimensões e IVES	42
Tabela 13 – Ranking das microrregiões para a dimensão de risco	43
Tabela 14 – Ranking das microrregiões para a dimensão de Susceptibilidade	45
Tabela 15 – Ranking das microrregiões para a dimensão de Capacidade Adaptativa	46
Tabela 16 – Ranking das microrregiões para o IVES	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores das dimensões de risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa....	24
Quadro 2 – Principais desafios e possíveis sugestões para a redução da vulnerabilidade das microrregiões.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADERASA	<i>Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Americas</i>
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DFID	<i>Department for International Development</i>
DRSAI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FUNDACE	Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBNET	<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities</i>
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITB	Instituto Trata Brasil
IVES	Índice de Vulnerabilidade à Deficiência de Esgotamento Sanitário
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
IWA	<i>International Water Association</i>
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MS	Ministério da Saúde
MUNIC	Pesquisa de Informações Básicas Municipais
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos

PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SAB	Semiárido Brasileiro
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
VIF	Fator Inflacionário de Variância
VIKOR	<i>ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2	OBJETIVOS.....	5
2.1	OBJETIVO GERAL.....	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	SANEAMENTO BÁSICO: UMA VISÃO GERAL	5
3.1.1	Histórico do saneamento básico no Brasil	6
3.1.2	Legislação atual do saneamento no Brasil	7
3.2	ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	8
3.3	VULNERABILIDADE: CONCEITO E APLICAÇÃO NO SANEAMENTO BÁSICO	11
3.4	INDICADORES DE QUALIDADE DE SANEAMENTO BÁSICO	14
3.5	ÍNDICES DE DESEMPENHO.....	17
4	ÁREA DE ESTUDO	18
5	METODOLOGIA	23
5.1	PRÉ-SELEÇÃO DOS INDICADORES.....	24
5.2	PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS	25
5.3	ATRIBUIÇÃO DE PESOS E OBTENÇÃO DO ÍNDICE GERAL	28
5.3.1	Método de peso de entropia de Shannon	28
5.3.2	Cálculo do IVES.....	30
5.4	AGREGAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE.....	30
5.4.1	Método de VIKOR.....	31
5.4.2	Classificação do IVES	32
5.5	GEOPROCESSAMENTO DOS RESULTADOS	33
5.6	ANÁLISE DO IVES NAS MICRORREGIÕES	33
6	RESULTADOS	34
6.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	34
6.2	APLICAÇÃO DA ENTROPIA DE SHANNON E OBTENÇÃO DO IVES.....	39
6.3	UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE VIKOR E CLASSIFICAÇÃO DO IVES	43
6.4	ANÁLISE DO IVES POR MICRORREGIÕES.....	49
6.4.1	Alto Piranhas	49
6.4.2	Espinharas	51
6.4.3	Borborema.....	55
6.4.4	Litoral.....	58
6.4.5	Comparativo entre as microrregiões	62
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
7.1	CONCLUSÕES.....	66
7.2	RECOMENDAÇÕES.....	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	APÊNDICE A – VALORES DAS DIMENSÕES E DO IVES PARA OS MUNICÍPIOS PARAIBANOS	80
	APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS MUNICÍPIOS PARAIBANOS	87

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A ausência de acesso a serviços de saneamento em quantidade e qualidade adequadas compromete a qualidade de vida das populações (Paiva, Souza, 2018). Estudos feitos por Fontoura *et al.* (2018) apontam que as populações expostas a condições de saneamento inadequadas apresentam maior susceptibilidade a doenças de veiculação hídrica, intensificando a incidência de Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI), que incluem infecções de transmissão feco-oral (bacterianas e não bacterianas), helmintos através do solo e água, tênias (solitárias) e doenças causadas por insetos (Lucena, 2024; Oliveira *et al.*, 2015).

De acordo com o Instituto Trata Brasil (ITB), só em 2021 foram registrados cerca de 130 mil internações e 1.493 óbitos em razão dessas enfermidades. Esse cenário alarmante evidencia o impacto significativo da falta de saneamento na saúde e no desenvolvimento de milhões de brasileiros. O estudo ainda revela que, caso o país alcance a universalização do saneamento, entre 2021 e 2040, estima-se que o valor presente da economia total com a melhoria das condições de saúde da população brasileira seja de R\$ 25,1 bilhões, o que resultaria num ganho anual de R\$ 1,25 bilhão (ITB, 2021).

No Brasil, o saneamento básico é definido pela Lei nº 11.445/07 como sendo um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2007). De forma mais específica, a legislação detalha que o esgotamento sanitário abrange as atividades, infraestruturas e instalações necessárias para a coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente.

A coleta e o tratamento do esgoto desempenham um papel essencial na garantia da qualidade de vida da população e na preservação do meio ambiente, uma vez que a disposição inadequada de esgotos resulta na contaminação dos recursos hídricos. Além disso, o esgotamento sanitário também se relaciona diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um conjunto de metas globais, integradas e indivisíveis estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) para serem alcançadas até 2030. Dentre os ODS, destaca-se o ODS 6, que visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos; o ODS 3, que visa assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas as pessoas; o ODS 10, voltado à redução das desigualdades; e o ODS 11, que

tem como foco tornar as cidades mais sustentáveis. Assim, a coleta e o tratamento adequados de esgoto são fundamentais para promover cidades mais desenvolvidas e melhorar a qualidade de vida da população (ONU, 2015).

Em 15 de julho de 2020, a Lei nº 11.445/2007 foi atualizada pela Lei nº 14.026, que define universalização como a “ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico, em todos os serviços públicos de saneamento, incluídos o tratamento e a disposição final adequados dos esgotos sanitários” (Brasil, 2020a). Com o intuito de atingir as metas de universalização até 2033, a Lei nº 14.026, conhecida como o novo marco legal do saneamento, instituiu a prestação regionalizada. De acordo com essa legislação, essa modalidade consiste na prestação integrada de um ou mais componentes dos serviços de saneamento básico em determinada região cujo território abranja mais de um município.

Entretanto, o processo de universalização no Brasil avança de forma lenta, principalmente no que se refere ao tratamento dos esgotos. Em 2022, apenas 56% da população tinha seus efluentes coletados por redes de esgoto, o que corresponde a 112,8 milhões de brasileiros sem o acesso adequado. O restante da população recorre a soluções alternativas individuais como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e, em alguns casos, o lançamento em corpos d’água. Além disso, apenas 52,2% do esgoto gerado no país passa por um tratamento adequado (Arrais, 2024; SINISA, 2023).

O esgoto que não recebe o tratamento adequado é despejado diariamente na natureza, agravando a degradação ambiental. No Nordeste, por exemplo, são lançados, em média, 35 hm³ de esgoto sem tratamento por dia no meio ambiente, segundo o ITB. Esse despejo irregular causa implicações na saúde pública e no meio ambiente, contribuindo para a contaminação de rio, mares e lagos, prejudicando ecossistemas, afetando a biodiversidade e comprometendo fontes de água potável para a população (ITB, 2024).

Na Paraíba, o processo de regionalização ocorreu através da Lei Complementar nº 168, de 21 de julho de 2021, que criou as quatro microrregiões de água e esgoto do Estado: Alto Piranhas, Borborema, Espinharas e Litoral. Entretanto, há questionamentos se a divisão dessas microrregiões foi devidamente embasada em estudos que garantam a segurança hídrica e a sustentabilidade, conforme apontado por pesquisas recentes (Alves *et al.* 2024; Barreto *et al.* 2021; Ribeiro; Cruz; Rufino, 2023).

Os dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) evidenciam a situação crítica do acesso aos serviços de saneamento no estado da

Paraíba. Em 2022, apenas 40% da população apresentava acesso à rede de esgoto, e somente 38,7% do esgoto produzido era tratado (SINISA, 2023). Esses indicadores revelam que apesar da implementação da regionalização conforme exigido por lei, a ineficiência dos serviços de saneamento básico no estado persiste, especialmente nos pequenos municípios.

Embora os indicadores na Paraíba ainda sejam baixos, o estado apresenta desempenho superior à média da região Nordeste, onde apenas 31,4% dos esgotos são coletados e 34,3% recebem tratamento. Além disso, a Paraíba se destaca em relação a estados vizinhos, como Pernambuco, que registra uma taxa de coleta de 34,2% e tratamento de 30,1%, e o Rio Grande do Norte, onde apenas 30,2% dos esgotos são coletados e 29,8% passam por um tratamento (SINISA, 2023).

De acordo com Lucena (2024), os maiores impactos da ausência de saneamento básico ocorrem em áreas com habitações populares precárias, desprovidas de infraestrutura adequada. Essa realidade acarreta a perda da qualidade de vida das pessoas, o aumento dos índices de mortalidade infantil e as taxas de morbidade e mortalidade por causas evitáveis, como doenças diarreicas e parasitoses intestinais (BRASIL, 2004). Essa deficiência dos serviços de saneamento básico, especialmente do esgotamento sanitário, torna a população mais vulnerável a esses impactos. Nesse sentido, a análise da vulnerabilidade é essencial para identificar as áreas críticas e, posteriormente, propor ações que contribuam para a melhora da qualidade de vida das populações afetadas (Ferreira, 2020).

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), a vulnerabilidade pode ser compreendida a partir de três dimensões fundamentais: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa. O risco refere-se ao perigo direto da população quando expostas a situações adversas; a susceptibilidade diz respeito às características que tornam determinados grupos mais suscetíveis a serem afetados negativamente; e a capacidade adaptativa corresponde aos instrumentos de planejamento adotados pela gestão para minimizar esses impactos.

No contexto do saneamento básico, a vulnerabilidade está diretamente associada à ausência desses serviços. Segundo Guimarães *et al.* (2013) a falta de saneamento é responsável por situações de vulnerabilidade, especialmente em áreas ocupadas por populações mais empobrecidas. Isso se torna ainda mais evidente no acesso ao esgotamento sanitário, em que os grupos mais vulneráveis são aqueles sem infraestrutura adequada, com instalações sanitárias precárias e, muitas vezes, têm seus esgotos despejados a céu aberto nas proximidades de suas residências, expondo-os aos riscos decorrentes da sua ausência.

Diante desse cenário, torna-se fundamental mensurar e analisar os dados relacionados ao esgotamento sanitário, a fim de identificar lacunas e tratá-las de forma mais eficiente e assertiva. Segundo Alcântara, Strauch, Ajara (2013), o uso de índices e indicadores tem sido amplamente difundido na comunidade científica como uma ferramenta essencial para mensurar, caracterizar e identificar as fragilidades nos serviços públicos de saneamento. Os indicadores são ferramentas fundamentais para compreender as diversas dimensões da sociedade, permitindo uma análise abrangente das dinâmicas de desenvolvimento de populações, espaços e ambientes. Essas métricas proporcionam uma visão clara e mensurável, possibilitando uma análise mais detalhada das tendências, desafios e oportunidades presentes em contextos sociais e territoriais diversos (Schumann; Moura, 2015).

De acordo com Ferreira (2020), os indicadores desempenham a importante função de identificar problemas de grande relevância ou de tornar visíveis tendências que, à primeira vista, podem não ser percebidas. Esses instrumentos promovem maior dinamismo nos processos de gestão e avaliação das transformações no meio físico e social, contribuindo diretamente para a formulação de políticas e ações urbanas.

No Brasil, alguns estudos (Malta; Costa; Magrini, 2017; Santos *et al.*, 2019) têm utilizado indicadores para mensurar a vulnerabilidade e fundamentar o desenvolvimento de políticas públicas. No entanto, ainda existem lacunas na literatura no que se refere à criação de índices que integrem, de maneira abrangente, a dimensão social com aspectos habitacionais, o acesso ao saneamento básico e indicadores epidemiológicos (Ferreira, 2020).

A utilização de índices e indicadores nessa pesquisa é de extrema relevância, pois não apenas fornece dados sobre a vulnerabilidade decorrente da insuficiência dos serviços de esgotamento sanitário, mas também identifica áreas que demandam intervenções urgentes. Essas ferramentas são essenciais para apoiar a gestão, possibilitando uma análise mais detalhada das principais fragilidades e vulnerabilidades. Dessa forma, podem contribuir de maneira significativa para a elaboração de políticas públicas mais eficientes e direcionadas.

Outro aspecto que confere relevância a esta pesquisa é a escassez de estudos dedicados ao esgotamento sanitário na Paraíba, principalmente no que se refere à análise de indicadores, apesar da importância inquestionável desse serviço. Evidencia-se, assim, a necessidade de investigações mais aprofundadas para avaliar se o nível de fragilidade do sistema de esgotamento sanitário do Estado está, de fato, atendendo adequadamente à população e se tem apresentado avanços alinhados à meta de universalização, especialmente após a implementação dos arranjos regionais.

Considerando o contexto apresentado, este estudo tem como objetivo investigar a vulnerabilidade nas microrregiões de saneamento do estado da Paraíba em decorrência das deficiências nos serviços de esgotamento sanitário. Para tanto, serão examinados aspectos socioeconômicos, institucionais e de saúde humana, considerando as três dimensões fundamentais da vulnerabilidade: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a vulnerabilidade à deficiência do esgotamento sanitário nas microrregionais de saneamento do estado da Paraíba para auxiliar o direcionamento e priorização de políticas públicas que reduzam os impactos resultantes da deficiência do serviço.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, indicadores de risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa que sejam representativos do panorama do esgotamento sanitário;
- Desenvolver um índice de vulnerabilidade à deficiência do esgotamento sanitário levando em consideração as dimensões de risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa;
- Investigar as desigualdades do serviço de esgotamento sanitário existentes entre as microrregiões a partir da classificação do índice de vulnerabilidade à deficiência do esgotamento sanitário;
- Propor ações relacionadas ao saneamento básico que contribuam para a redução da vulnerabilidade decorrente da deficiência dos sistemas de esgotamento sanitário.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SANEAMENTO BÁSICO: UMA VISÃO GERAL

Para Costa (2017), o saneamento envolve um conjunto de ações que o homem estabelece para manter ou modificar o ambiente, com o objetivo de controlar doenças e promover a saúde, o conforto e o bem-estar. O autor também conceitua o saneamento básico como um conjunto de bens e serviços disponíveis nas cidades, de uso coletivo, que constituem as condições materiais necessárias para o funcionamento da cidade como espaço de produção e consumo.

Por sua vez, de acordo com a Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), o saneamento básico é composto por quatro condicionantes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A Lei define o saneamento básico como:

Conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Segundo a Assembleia Geral da ONU, a água e o saneamento são reconhecidos como direitos humanos fundamentais, o que significa que o acesso a água limpa e segura, assim como a um saneamento adequado são essenciais para a vida e para a dignidade humana (ONU, 2010). Nesse contexto, a ONU lançou, em setembro de 2015, a Agenda 2030, um plano de ação global que estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas associadas, com o propósito de erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que todas as pessoas possam desfrutar de paz e prosperidade até 2030 (ONU, 2015).

Entre os objetivos da Agenda 2030, pode-se destacar o ODS 6, que trata especificamente da água potável e saneamento. Esse objetivo visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos, reconhecendo a importância desses recursos para a saúde pública, o desenvolvimento econômico e o bem-estar social.

3.1.1 Histórico do saneamento básico no Brasil

A história do saneamento básico no Brasil começou no século XIX, acompanhando a urbanização e a expansão dos centros urbanos. Nesse período, os primeiros sistemas de água e esgoto foram instalados nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Santos (Bernardo, 2009). Vale ressaltar que, naquela época, o setor era predominantemente privado.

Nas primeiras décadas do século XX, as frequentes epidemias de febre amarela e outras doenças em diversas regiões do país levaram setores da elite política brasileira a exigir a intervenção federal em questões de saúde pública, especialmente nos estados carentes de

recursos técnicos e financeiros (Ferreira, 2020). Como resultado, a partir de 1930, o Estado passou a atuar no setor de saneamento urbano, implementando ações fundamentadas em diretrizes nacionais de saúde pública (Lucena, 2024).

A partir de 1950, a expansão da industrialização e do setor de serviços acelerou o processo de urbanização nas principais cidades do Brasil, ocasionando um significativo crescimento populacional sem os investimentos adequados em infraestrutura. Nesse período, quase 80% dos municípios brasileiros ainda careciam de um abastecimento regular de água (Costa, 1994).

Outra fase importante na evolução histórica do saneamento no Brasil teve início na década de 1970, quando os investimentos em saneamento básico aumentaram, à medida que se percebeu que melhorias no abastecimento de água e no esgotamento sanitário levariam à redução das taxas de mortalidade (Soares; Bernardes; Cordeiro Netto, 2002). Durante esse período, foi criado o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), um programa de ação contínuo e abrangente em escala nacional, com o objetivo de ampliar o acesso tanto nas grandes cidades quanto nas médias e pequenas cidades do interior. O plano visava eliminar o déficit de saneamento básico no país e, assim, melhorar a qualidade de vida da população brasileira por meio dos benefícios do saneamento para a saúde (Sousa, 2018).

Mesmo com os avanços do PLANASA, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), indica que avanços ocorridos entre 1989 e 2000 foram predominantemente observados em municípios de maior porte, principalmente nas regiões mais desenvolvidas. De modo a chegar num cenário em que os municípios com mais de 300.000 habitantes possuíam quase três vezes mais domicílios ligados à rede geral de esgoto em comparação aos municípios de até 20.000 habitantes (IBGE, 2002).

Durante todo esse período, ocorreram diversos debates acerca de novas diretrizes para o saneamento básico. No entanto, foi apenas em 2007 que a Lei nº 11.445, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico, foi aprovada (Brasil, 2007). Mais recentemente, em 2020, foi aprovada a Lei nº 14.026, mais conhecida como o novo marco legal do saneamento, que atualiza e complementa a legislação de 2007, introduzindo várias mudanças significativas para melhorar a prestação dos serviços de saneamento no país (Brasil, 2020a).

3.1.2 Legislação atual do saneamento no Brasil

A Lei nº 11.445/2007 foi a primeira a regulamentar o setor de saneamento no país, seus principais objetivos são a universalização do acesso, a melhoria da qualidade dos serviços e a

promoção da saúde pública e do meio ambiente. A lei também incentiva uma abordagem mais participativa e planejada na gestão dos serviços de saneamento, exigindo que os municípios elaborem seus planos de saneamento básico.

Outro aspecto importante desta legislação é a regulação e fiscalização, pois ela estabelece a necessidade de existência de entidades reguladoras responsáveis por fiscalizar e regular os serviços de saneamento, assegurando a qualidade e a eficiência deles (Brasil, 2007).

Em 2020 a Lei nº 11.445/2007 foi atualizada pela Lei nº 14.026/2020 que introduziu diversas mudanças significativas na regulação e prestação de serviços de saneamento, com o objetivo de universalizar e qualificar o acesso ao saneamento no Brasil. Entre os principais pontos da Lei nº 14.026/2020 destacam-se:

- a) A universalização dos serviços: a lei estabelece metas de universalização para que, até 2033, 99% da população tenha acesso a água potável e 90% tenha acesso ao tratamento e à coleta de esgoto. Esse esforço representa um avanço significativo na ampliação do alcance dos serviços de saneamento básico em todo o território nacional;
- b) Participação privada: a nova legislação facilita a participação de empresas privadas na prestação de serviços de saneamento, promovendo a competição e incentivando investimentos no setor;
- c) Regionalização dos serviços: a lei introduz a prestação integrada de um ou mais componentes dos serviços de saneamento em regiões cujo território abranja mais de um município.

3.2 ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Os esgotos são gerados a partir de atividades humanas que utilizam água de abastecimento para diversas finalidades, como lavar as mãos, lavar roupas e realizar atividades fisiológicas. De acordo a Funasa (2016) o esgoto é formado pela combinação de águas utilizadas nos ambientes domésticos, comerciais e institucionais, que se transformam efluentes líquidos.

Esses efluentes podem ser classificados de acordo com o uso a que a água foi submetida. Segundo a Funasa (2016), os contribuintes na formação do esgoto sanitário são: esgoto doméstico (contribuição doméstica), formado pelos efluentes resultantes do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas; esgoto industrial (contribuição industrial), composto pelos efluentes gerados pelos processos industriais, respeitando os padrões de

lançamentos estabelecidos; águas de infiltração, toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema esgoto e que penetra nas canalizações; e contribuição pluvial parasitária, que se refere à parcela do escoamento superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário.

Além disso, Sanches (2009) comenta que a literatura internacional propõe uma classificação dos esgotos domésticos em águas cinzas e águas negras. As águas cinzas são aquelas provenientes de pias, tanques, lavatórios e chuveiros, excluindo as águas dos sanitários. Enquanto as águas negras são aquelas resultantes dos vasos sanitários, que contêm uma alta concentração de matéria orgânica e um elevado índice de microrganismos patogênicos.

O descarte desses efluentes sem tratamento adequado pode gerar diversos impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde pública. Um dos principais impactos ambientais é a comprometimento da autodepuração dos corpos d'água. A autodepuração é a capacidade de receber uma determinada quantidade de resíduos, degradá-los e transformá-los em produtos não nocivos ou benéficos (Teodoro, 2010). No entanto, quando efluentes são lançados de forma inadequada, essa capacidade é prejudicada, dificultando o restabelecimento do equilíbrio ecológico do meio aquático devido às alterações causadas pela introdução desses efluentes.

Quanto aos impactos na saúde humana, o despejo inadequado de resíduos líquidos propicia a disseminação de diversas doenças transmitidas pela água. O Manual de Saneamento (Funasa, 2019) menciona algumas das principais doenças de veiculação hídrica, incluindo febre tifoide, cólera, diarreia, hepatite infecciosa, esquistossomose, escabiose, dengue, malária, febre amarela, amebíase, entre outras. Segundo a Fiocruz (2023), a diarreia está entre as cinco principais causas de mortalidade infantil no mundo. Essa pesquisa também enfatiza que a implementação adequada de saneamento básico é fundamental e tem um impacto significativo na diminuição desses casos ao redor do mundo.

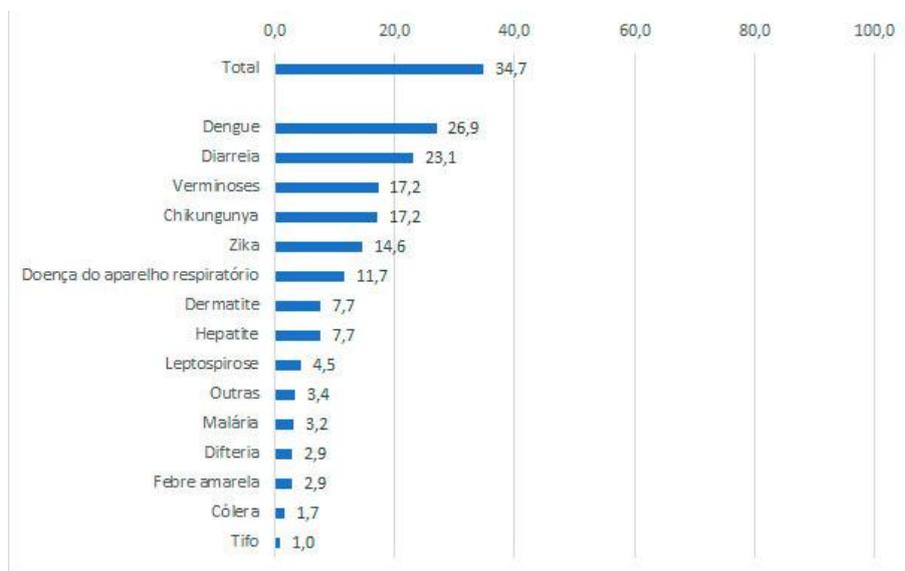
Dados do ITB (2021) indicam que, em 2021, cerca de 130 mil internações foram atribuídas a deficiência no sistema de tratamento de esgoto. Entre essas internações, um número significativo envolve crianças menores de 10 anos, que não apenas enfrentam graves problemas de saúde, mas também experimentam impactos negativos no seu desenvolvimento escolar. Isso se deve, em parte, ao fato de que muitas dessas crianças vivem em áreas de alta vulnerabilidade.

Ademais, uma pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizada em 2017, revelou que 34,7% dos municípios brasileiros relataram ter enfrentado

endemias ou epidemias associadas a problemas de saneamento básico, sendo a dengue a mais frequentemente citada (26,9%). A região Nordeste destacou-se com as maiores taxas de ocorrências de zika (29,6%) e chikungunya (37,3%). Já a febre amarela foi a doença mais mencionada nas regiões Norte e Sudeste, com 4,7% e 5,1%, respectivamente (IBGE, 2018). De acordo com Almeida (2019), esses dados refletem a realidade, pois essas regiões possuem os indicadores sociais mais desfavorecidos em comparação com as regiões Sul e Sudeste.

A Figura 1 mostra a proporção de municípios que informaram ter conhecimento da ocorrência de endemias ou epidemias de doenças relacionadas a prestação inadequada dos serviços de saneamento em 2017.

Figura 1 – Proporção de municípios que relataram endemias ou epidemias relacionadas à inadequação dos serviços de saneamento em 2017



Fonte: IBGE (2018).

Diante desse cenário, uma gestão eficiente dos recursos hídricos é essencial para mitigar essas vulnerabilidades. As autoridades governamentais devem basear suas ações no panorama atual e nas experiências de regiões que enfrentam problemas similares nesse setor (Apollonio *et al.*, 2018).

Contente (2020) destaca que as intervenções relacionadas ao esgotamento sanitário devem começar com uma análise abrangente dos aspectos socioambientais, incluindo os contextos históricos, culturais e sociais das populações afetadas pelo saneamento inadequado. Portanto, essas ações devem ir além da simples remoção de sujeira e odores, incorporando a implementação de tecnologias apropriadas para a realidade local.

Nesse contexto, as Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011, regulamentadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), definem as condições e padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Essas resoluções estabelecem parâmetros como pH, temperatura, concentração de materiais sedimentáveis, óleos e graxas, e ausência de materiais flutuantes. A Resolução nº 430/2011 complementa a nº 357/2005, especificando limites para substâncias poluentes e proibições sobre diluição de efluentes com água pura antes do despejo (Brasil, 2005; Brasil, 2011). Na Paraíba, a resolução nº 8/2010 define critérios de metas progressivas obrigatórias para a melhoria da qualidade da água, com foco na diluição de efluentes em cursos de água sob domínio estadual, visando garantir a qualidade da água para fins de outorga (Paraíba, 2010).

É importante ressaltar que, na Paraíba, a legislação sobre o despejo de efluentes segue as diretrizes estabelecidas em âmbito federal, com ênfase nas resoluções do CONAMA.

3.3 VULNERABILIDADE: CONCEITO E APLICAÇÃO NO SANEAMENTO BÁSICO

De maneira geral, a vulnerabilidade é considerada uma condição desfavorável, caracterizada pela fragilidade e susceptibilidade a danos. No caso da vulnerabilidade ambiental, é sabido que todas as pessoas estão expostas aos impactos ambientais, mas a capacidade de adaptação a essas situações adversas varia entre indivíduos e comunidades. Essa desigualdade na capacidade de adaptação significa que certos grupos são desproporcionalmente afetados. Em particular, as pessoas em situação de pobreza, assim como crianças e idosos, tendem a sofrer mais com as condições de vulnerabilidade (Almeida, 2019; Nogueira, 2021).

Cardona (2004) descreve que a vulnerabilidade é a predisposição física, econômica, política ou social de uma comunidade para ser impactada ou sofrer danos em caso de um fenômeno desestabilizador de origem natural ou antrópica. Assim, a vulnerabilidade é influenciada não apenas pela exposição ao risco, mas também pelas condições subjacentes que tornam uma comunidade mais suscetível a danos.

Almeida (2019) amplia essa definição ao destacar a vulnerabilidade como a exposição e sensibilidade de qualquer sistema ou indivíduo a condições adversas, além de sua capacidade de resiliência para lidar, se adaptar e recuperar-se dos efeitos dessas condições. Em outras palavras, vulnerabilidade não é apenas o risco de ser afetado por situações negativas, mas também a habilidade de um sistema ou indivíduo de resistir e se recuperar dessas situações.

Por sua vez, Almeida (2017) afirma que a vulnerabilidade não pode ser vista como um evento único e universal, aplicável a qualquer sociedade em qualquer escala temporal. Ela varia

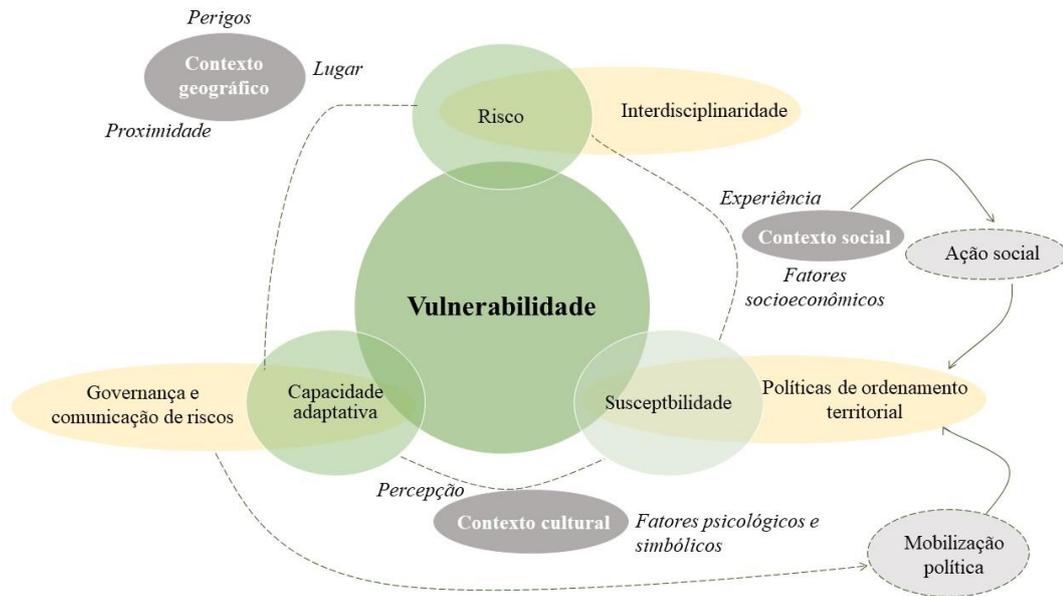
de acordo com o espaço e o tempo, e depende da escala e da dinâmica, com características e forças motrizes em constante mudança.

No contexto ambiental, Sena, Moraes Neto e Lucena (2021) descrevem a vulnerabilidade como a capacidade de um sistema em lidar com os efeitos negativos das mudanças climáticas. Ela é determinada pela intensidade, extensão e ritmo das mudanças climáticas, além da exposição do sistema, sua sensibilidade e a sua habilidade para se adaptar (IPCC, 2007).

Além disso, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) define a vulnerabilidade com base em três elementos principais: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa. O risco refere-se à presença de pessoas, meios de subsistência, serviços ambientais, infraestruturas em áreas que podem ser negativamente impactadas por perigos climáticos. A susceptibilidade está ligada às deficiências do sistema em enfrentar esses perigos, enquanto a capacidade adaptativa diz respeito aos recursos disponíveis (humanos, físicos, institucionais, entre outros) que permitem o sistema lidar com as ameaças e se ajustar a elas (Carvalho *et al.*, 2021).

Iwama *et al.* (2016) desenvolveram um diagrama conceitual (Figura 2) para análise multidisciplinar e interdisciplinar da vulnerabilidade, destacando suas três dimensões: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa. O diagrama ilustra as possíveis causas ou forçantes que atuam simultaneamente e, muitas vezes, de forma interconectada. A interação desses processos tem intensificado a exposição aos riscos e ampliado a vulnerabilidade de grupos sociais ou de indivíduos, que é influenciada por fatores geográficos, socioculturais, psicológicos e simbólicos.

Figura 2 – Diagrama conceitual da vulnerabilidade sob um enfoque multidisciplinar e interdisciplinar



Fonte: Adaptado de Iwama *et al.* (2016).

No contexto do saneamento básico, a vulnerabilidade refere-se à condição do produto das ações humanas que afetam o meio ambiente. Pires (2015) discute essa questão ao enfatizar que o descarte inadequado de esgoto em corpos d'água é um exemplo de como atividades humanas podem causar degradação ambiental, pois quando esgoto é despejado de forma inadequada em rios, lagos ou outros corpos d'água, ele polui essas fontes de água, tornando-as impróprias para consumo e uso e, por consequência, essa poluição eleva a vulnerabilidade das pessoas que dependem dessas águas para suas necessidades diárias.

Além do mais, a ausência de serviços de esgotamento sanitário expõe as pessoas a maior vulnerabilidade. De acordo com o ITB (2022), a falta de esgotamento sanitário é mais acentuada em regiões que concentram populações de baixa renda, menor nível de escolaridade e maior presença de população rural. Esses dados são importantes para entender a extensão dos impactos negativos resultantes da prestação inadequada dos serviços de esgoto, visto que, essa problemática afeta de maneira desproporcional grupos específicos da população, tornando-os especialmente vulneráveis à falta de acesso a serviços de esgoto adequados.

Por fim, a vulnerabilidade é uma condição multifacetada que vai além da mera exposição a riscos ambientais. Envolve também a capacidade de adaptação e resiliência de indivíduos e comunidades, que varia significativamente entre diferentes grupos sociais. As ações humanas, como a inadequada gestão de esgoto, agravam essa vulnerabilidade, especialmente entre populações mais pobres e marginalizadas. Portanto, estratégias eficazes

para reduzir a vulnerabilidade devem considerar tanto a mitigação dos riscos quanto o fortalecimento das capacidades adaptativas das comunidades afetadas.

3.4 INDICADORES DE QUALIDADE DE SANEAMENTO BÁSICO

De acordo com Jannuzzi (2001), indicadores são medidas quantitativas com significado substantivo, empregadas para representar, quantificar ou operacionalizar conceitos teóricos ou programáticos. Martins (2021) destaca que um bom indicador é capaz de simplificar informações sobre fenômenos complexos, tornando-as mais acessíveis e compreensíveis para diferentes públicos. Indicadores são bastante utilizados para o monitoramento de processos sociais, econômicos e ambientais, para compreender melhor a evolução de uma determinada sociedade ao longo do tempo.

A literatura apresenta diversas definições e abordagens sobre o uso de indicadores. Ferreira (2020) enfatiza que os indicadores sintetizam e revelam informações estratégicas, orientando a tomada de decisões tanto no setor público quanto no privado. Essas ferramentas são fundamentais para a formulação e aprimoramento de políticas públicas que estejam em consonância com as realidades locais.

Instituições públicas e privadas utilizam amplamente os indicadores para avaliar, monitorar e prever tendências, contribuindo para a definição de metas e estratégias de melhoria contínua. Almeida (2019) ressalta que, ao agrupar informações complexas em um formato mais acessível, os indicadores permitem uma gestão mais eficiente e eficaz. Gallopín (1997, *apud* Almeida, 2019, p. 34) destaca a versatilidade dos indicadores, que podem assumir várias formas, incluindo variáveis, parâmetros, medidas estatísticas, valores representativos, e até mesmo modelos empíricos da realidade.

No entanto, apesar de sua utilidade, indicadores oferecem apenas uma visão parcial da realidade. Alegre *et al.* (2007) alertam que o uso descontextualizado de indicadores pode resultar em interpretações equivocadas, destacando a importância de uma análise integrada que leve em consideração o contexto em que os indicadores estão inseridos.

No campo do saneamento básico, os indicadores desempenham um papel crucial na gestão e no planejamento. A Lei nº 11.445/2007 sistematiza os indicadores como ferramentas essenciais para o diagnóstico do saneamento nos municípios brasileiros, assegurando o controle de qualidade e orientando as revisões periódicas dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) (Brasil, 2007). Conforme apontado por Almeida (2019), esses indicadores são

fundamentais não apenas para a avaliação da eficiência dos serviços de saneamento, mas também para alinhar as diretrizes com a Política Federal de Saneamento Básico.

De acordo com Daronco (2014), os indicadores de saneamento devem atender às necessidades político-institucionais, bem como estar fundamentados em uma base conceitual sólida, que abranja tanto a avaliação quanto o planejamento estratégico das ações. Para garantir a eficácia desses indicadores, Tironi *et al.* (1991), Carmo, Fiore, Borba (2018) e Vitorino, Pinho Neto (2023) identificam diversas propriedades essenciais que um indicador de qualidade deve possuir:

- Simplicidade: Os indicadores devem ser compreensíveis por todos os envolvidos no processo, facilitando sua aplicação e interpretação;
- Pertinência: Os dados utilizados devem ser relevantes para a tomada de decisões e diretamente relacionados à questão que se deseja medir;
- Consistência: Os indicadores devem ser coerentes entre si, sem apresentar contradições;
- Confiabilidade da informação: Os dados devem ser precisos e consistentes, garantindo a integridade das análises baseadas neles;
- Comunicabilidade: Os indicadores devem transmitir informações de maneira clara e compreensível, permitindo que os resultados sejam facilmente interpretados pelos diversos *stakeholders*;
- Disponibilidade e periodicidade: Os dados precisam ser acessíveis e atualizados regularmente para garantir que os indicadores reflitam a realidade atual;
- Desagregação: A capacidade de detalhar os dados por diferentes categorias, como região ou grupo populacional, é crucial para análises mais aprofundadas e específicas;
- Especificidade com sensibilidade: Os indicadores devem ser precisos na captura de variações específicas dentro do contexto estudado, garantindo que nuances importantes não sejam negligenciadas.

Diante desse cenário, diversas instituições desenvolvem indicadores de desempenho como ferramentas essenciais para apoiar a gestão pública na avaliação dos serviços de saneamento básico, tanto no Brasil quanto no âmbito internacional. Esses indicadores são fundamentais para monitorar, avaliar e aprimorar a qualidade da prestação desses serviços essenciais.

No Brasil, o SINISA, instituído em 2007 e implementado em 2024, deu continuidade às atividades do SNIS, sendo gerido pelo Ministério das Cidades (MC). Este sistema é a principal ferramenta de gestão pública no setor de saneamento básico. O SINISA reúne informações institucionais, administrativas, operacionais, gerenciais, econômico-financeiras, contábeis e de qualidade sobre os serviços prestados nas quatro condicionantes do saneamento básico (Brasil, 2024).

Outro importante órgão nacional é o IBGE, fundado em 1936 com o objetivo de organizar, coordenar e operacionalizar o Censo de 1940 (IBGE, 2022). Além de dados populacionais, o IBGE realiza a PNSB, iniciada em 1989, que fornece, periodicamente, uma análise detalhada da infraestrutura e dos serviços de saneamento nos municípios brasileiros. O IBGE também executa a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), realizada pela primeira vez em 1999, que coleta anualmente informações sobre a estrutura administrativa, os recursos humanos, os equipamentos e os serviços disponíveis nas prefeituras dos municípios brasileiros (IBGE, 2024).

Na área da saúde, o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), fundado em 1991 com a criação da FUNASA, é gerido pela Secretaria Executiva do Ministério da Saúde (MS). Sua principal função é estruturar sistemas de informação, integrar dados de saúde e apoiar a gestão nos diversos níveis de atenção à saúde (BRASIL, 2020b). Os indicadores gerados pelo DATASUS são ferramentas indispensáveis para a gestão eficiente do sistema de saúde no Brasil.

Além dessas iniciativas nacionais, há também plataformas internacionais que desempenham um papel crucial na geração e uso de indicadores no setor de saneamento básico. A *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities*¹(IBNET), promovida pelo Banco Mundial com apoio financeiro do *Department for International Development* (DFID) do Reino Unido, é uma iniciativa de cooperação internacional que compila uma vasta base de dados de prestadores de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário de diversos países (VON SPERLING, 2010).

A *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Americas*²(ADERASA), fundada em 2001, facilita a integração e cooperação entre os países membros

¹ Acesso à plataforma IBNET <<https://newibnet.org/>>

² Acesso à plataforma ADERASA <<https://aderasa.org/>>

para a regulação do setor de saneamento e o Brasil passou a fazer parte da associação em 2003 (VON SPERLING, 2010).

Por fim, a *International Water Association*³(IWA), é reconhecida por definir um conjunto de indicadores de desempenho que atendem às necessidades comuns dos principais tipos de empresas de saneamento (Bezerra; Pertel; Macêdo, 2019). Segundo Ferreira (2020), a IWA elabora guias de indicadores de desempenho para os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, contando com a colaboração de agentes do setor em todo o mundo, consolidando-se como uma das principais referências internacionais na formulação de indicadores.

3.5 ÍNDICES DE DESEMPENHO

A distinção entre os conceitos de indicador e índice é muitas vezes ignorada, resultando em confusões. Conforme argumentam Miranda (2003) e Almeida (2019), um indicador é um valor derivado de um parâmetro específico, utilizado para mensurar aspectos de interesse em diferentes contextos. Por outro lado, um índice consiste em um conjunto de indicadores que sintetiza informações complexas em uma única expressão adimensional, facilitando a compreensão de fenômenos multidimensionais.

Embora, em uma análise superficial, índice e indicador possam parecer sinônimos, a diferença está no fato de que um índice representa o valor agregado final de um processo de cálculo, no qual indicadores são utilizados como variáveis que o compõem. Segundo Sobral *et al.* (2011), um índice busca representar, por meio de um valor numérico, a relação entre diferentes aspectos de um sistema, bem como sua evolução em relação a uma referência. Já um indicador é um dispositivo ou sinal que serve para evidenciar um fenômeno.

De maneira semelhante, Siche *et al.* (2007) definem um índice como um valor numérico que representa a realidade de um sistema, seja ele simples ou complexo. Seu cálculo deve se basear em métodos científicos adequados, de modo a garantir sua confiabilidade. Assim, os índices tornam-se instrumentos essenciais para tomada de decisão, constituindo uma forma mais sofisticada de agregação de indicadores. A Figura 3 ilustra o processo de agregação de dados até sua transformação em um índice.

³ Acesso à plataforma IWA < <https://iwa-network.org/> >

Figura 3 – Nível de agregação de dados para avaliação da vulnerabilidade



Fonte: Adaptado de Shields, Solar, Martin (2002).

A construção de índices é uma das principais estratégias para sumarizar e estruturar informações provenientes de um grande número de indicadores, cuja análise isolada seria mais complexa. Em geral, essa construção envolve a aplicação de procedimentos estatísticos para a atribuição de pesos relativos, escalas e agregação de variáveis, resultando em uma medida-síntese que pode ser utilizada como referência (Sobral *et al.*, 2011).

Dois exemplos amplamente conhecidos de índices são o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Criado na década de 1980 pelo PNUD, o IDH é uma medida resumida do progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde (PNUD, 2021). Já o IVS foi desenvolvido em 2015 a partir de um grupo de trabalho formado pelo IPEA, como um índice sintético complementar ao IDHM. Para sua construção, os indicadores que o compõem foram organizados em três dimensões: IVS-Infraestrutura Urbana, IVS-Capital Humano e IVS-Renda e Trabalho (COSTA, 2020). Uma característica comum aos índices é a adoção de escalas padronizadas, normalmente variando entre 0 e 1, como é o caso do IDH e do IVS, isso permite a comparação entre seus valores.

4 ÁREA DE ESTUDO

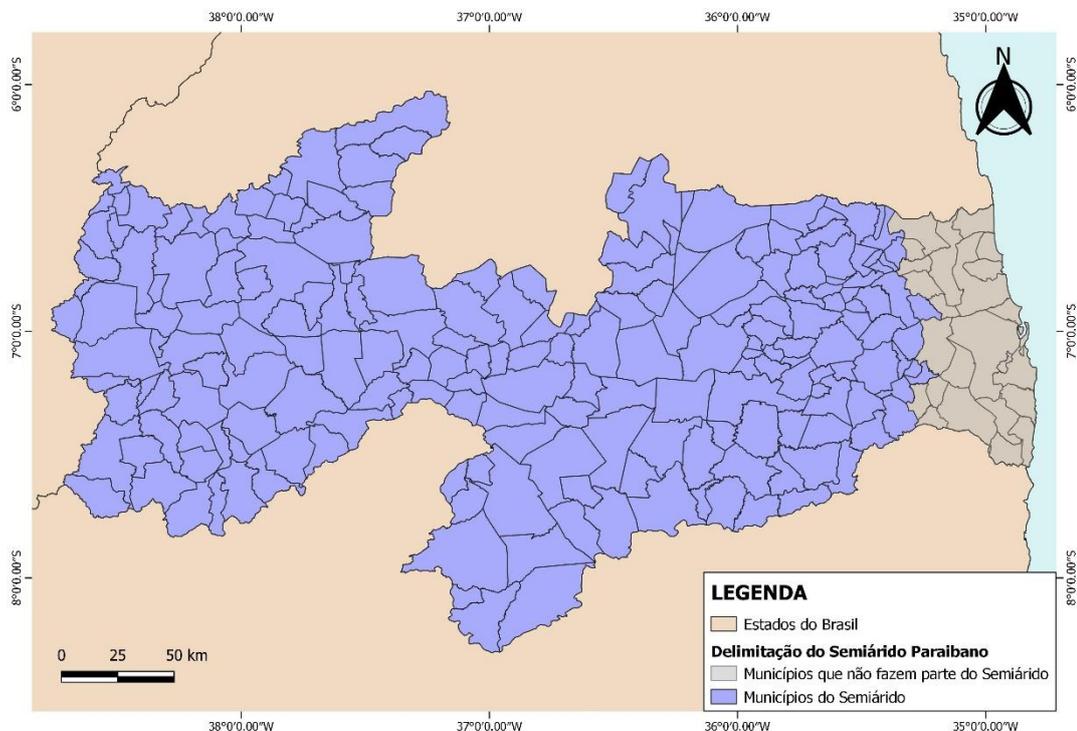
O estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, possui uma área territorial de 56.467,242 km² e uma população de 3.974.687 habitantes, sendo o 13º estado mais populoso do país (IBGE, 2022). É composto por 223 municípios, organizados em quatro regiões

intermediárias denominadas: Agreste Paraibano, Borborema, Mata Paraibana e Sertão Paraibano (IBGE, 1990).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2021), a Paraíba apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio de 0,698. Além disso, conforme dados do DATASUS (2022), a taxa de mortalidade infantil no estado é de 14,72 óbitos a cada mil nascidos vivos, um índice superior à média nacional registrada no mesmo ano, que foi de 12,59 óbitos por mil nascidos vivos.

A Paraíba possui 198 municípios incluídos no Semiárido Brasileiro (SAB), o que representa 89% do total de municípios do estado. Essa região abriga aproximadamente 2,5 milhões de habitantes, correspondendo a 63% da população paraibana (INSA, 2024). O Semiárido é uma região delimitada pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e abrange 1.477 municípios distribuídos nos nove estados do Nordeste, além de Minas Gerais e Espírito Santo (INSA, 2024). Os municípios pertencentes ao SAB têm acesso a políticas de crédito e benefícios fiscais (Ferreira, 2020). A Figura 4 apresenta o mapa com a delimitação do semiárido paraibano.

Figura 4 – Delimitação do semiárido do estado da Paraíba



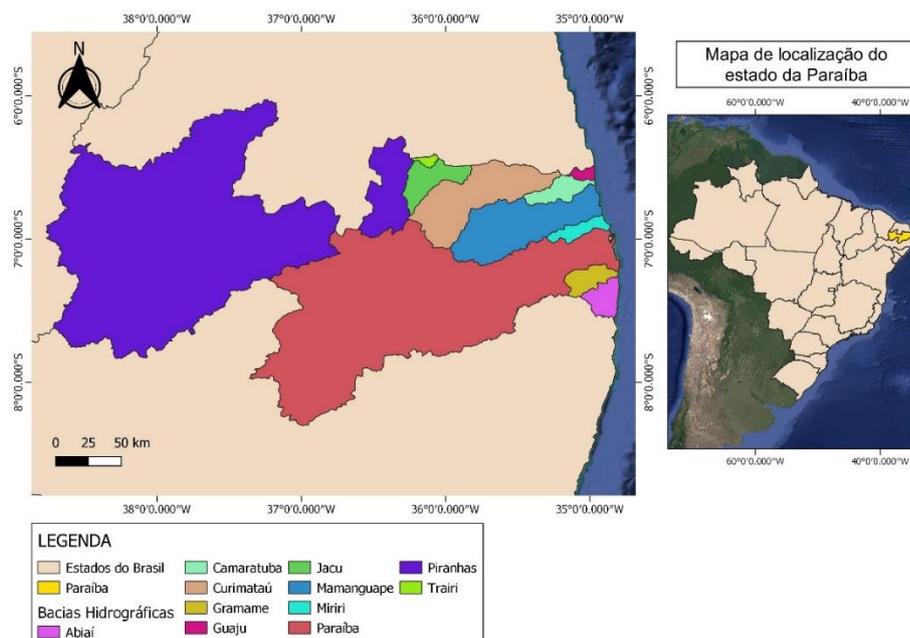
Fonte: Adaptado de Paraíba (2022).

No que tange aos aspectos climáticos, a Paraíba está localizada em uma região predominantemente de zona tropical com verão seco e de zona seca – semiárida com baixa latitude e altitude (Álvares *et al.*, 2013). Os baixos índices de precipitação, a irregularidade do regime pluviométrico, as temperaturas elevadas ao longo do ano e a baixa capacidade de armazenamento de água no solo são fatores que contribuem para os reduzidos níveis de disponibilidade hídrica na região. Essa condição é particularmente evidente no Semiárido e no Nordeste Setentrional que abrange os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, onde 88% do território está inserido no Semiárido (ANA, 2019)

Segundo o Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013), prevê-se que o semiárido nordestino tenha sua precipitação reduzida em até 20% até 2040, acompanhada por um aumento médio de 0,5°C a 1°C na temperatura. Nesse contexto, o estado da Paraíba, onde 92% dos municípios já enfrentam impactos da seca (IBGE, 2018), está especialmente vulnerável. A intensificação das secas em regiões marcadas pela escassez hídrica agrava a competição pelo acesso à água, afetando principalmente a população de baixa renda, que enfrenta maiores dificuldades de adaptação (Ferreira, 2020).

Com relação a hidrografia (Figura 5), a Paraíba está dividida em onze bacias hidrográficas: Bacia do Rio Piranhas, Bacia do Rio Paraíba, Bacia do Rio Jacu, Bacia do Rio Curimataú, Bacia do Rio Camaratuba, Bacia do Rio Guaju, Bacia do Rio Mamanguape, Bacia do Rio Gramame, Bacia do Rio Miriri, Bacia do Rio Trairi e Bacia do Rio Abiaí (Paraíba, 2022).

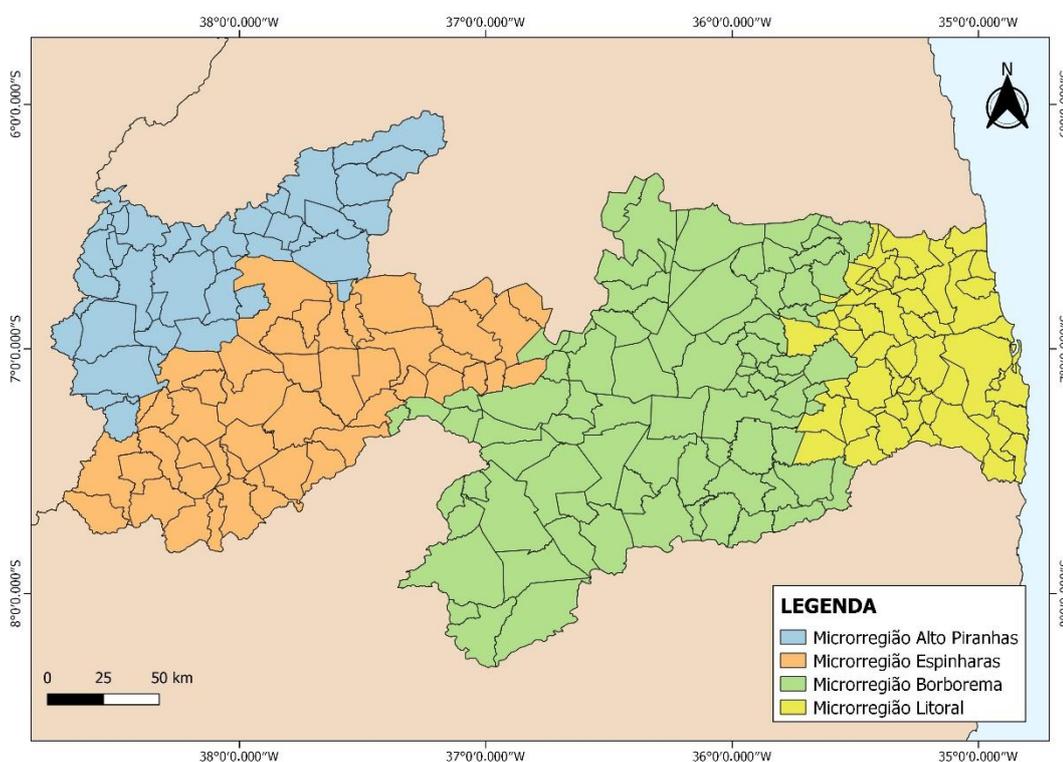
Figura 5 – Mapa de localização do estado da Paraíba e suas bacias hidrográficas



Quanto ao abastecimento de água no estado, este ocorre majoritariamente por meio de águas superficiais. Entre os principais mananciais de suprimento de água da Paraíba, destacam-se: o Sistema Coremas – Mãe d'água, com capacidade de armazenamento de 1.358,7 hm³; o Açude Epitácio Pessoa, com 411,7 hm³; o Açude Engenheiro Ávidos, com capacidade de 255 hm³; e o Reservatório Acauã – Argemiro de Figueiredo, com volume total de 250,0 hm³ (PERH, 2022).

Para esta pesquisa, será utilizada a divisão das microrregiões de água e esgoto, instituída pela Lei complementar n° 168, de 22 de junho de 2021. Essa legislação institui as quatro microrregiões de água e esgoto, que são: Alto Piranhas, Borborema, Espinharas e Litoral (Paraíba, 2021). A Figura 6 apresenta a divisão dessas microrregiões.

Figura 6 – Mapa das microrregiões de água e esgoto do estado da Paraíba



Fonte: Autora (2024).

A microrregião Alto Piranhas é composta por 38 municípios com uma população total de 422.454 habitantes. O maior município da regional é Sousa, que possui 67.259 habitantes. A área territorial da microrregião é de 9.443 km², estando inserida na Bacia hidrográfica do Rio Piranhas. Os índices de atendimento de abastecimento de água na microrregião são de 57,69%, enquanto a cobertura por rede de esgoto alcança 66,52% (IBGE, 2022; FUNDACE, 2021; SINISA, 2023; AESA, 2021).

Por sua vez, a microrregião Borborema é a que engloba o maior número de municípios, com 84 municípios e uma população total de 1.255.918 habitantes. O município de maior porte dessa microrregião é Campina Grande, com uma população de 419.379 habitantes. A microrregião ocupa uma área territorial de 24.204 km². Predominantemente inserida na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, ela também compreende as bacias dos rios Curimataú, Jacu, Mamanguape, Piranhas e Trairi. Em termos de abastecimento de água, a microrregião atende 47,76% da população com água tratada, enquanto a cobertura de rede de esgoto atinge 72,53% da população (IBGE, 2022; FUNDACE, 2021; SINISA, 2023; AESA, 2021).

A microrregião Espinharas abrange uma área de 14.317 km², com 46 municípios e uma população total de 439.904 habitantes. O maior município dessa microrregião é Patos, com 103.165 habitantes. A microrregião está inteiramente inserida na bacia hidrográfica do Rio Piranhas. O abastecimento de água na microrregião atende 66,54% da população, e 70,07% da população tem acesso à rede de esgoto (IBGE, 2022; FUNDACE, 2021; SINISA, 2023; AESA, 2021).

A microrregião Litoral é composta de 55 municípios, com uma população total de 1.856.411 habitantes e uma área de 8.503 km², sendo a mais populosa entre as quatro. A presença de João Pessoa, a capital do estado, com 833.932 habitantes, explica essa alta densidade populacional. A microrregião está inserida em oito bacias hidrográficas: Abiaí, Camaratuba, Curimataú, Gramame, Guaju, Mamanguape, Miriri e Paraíba, com destaque para as bacias do Mamanguape e Paraíba. O abastecimento de água na microrregião é de 67,96%, e o atendimento de rede de esgoto cobre apenas 38,88% da população (IBGE, 2022; FUNDACE, 2021; SINISA, 2023; AESA, 2021).

O estudo de Barreto *et al.* (2021) e Sousa *et al.* (2023) destaca que a microrregião Litoral recebe os maiores investimentos públicos no setor de saneamento, devido ao maior número de municípios com mais de 50 mil habitantes e à mais alta taxa de urbanização entre as quatro microrregiões. No entanto, apesar desses investimentos, os indicadores revelam que a regional ainda enfrenta desafios no acesso aos serviços de esgotamento sanitário.

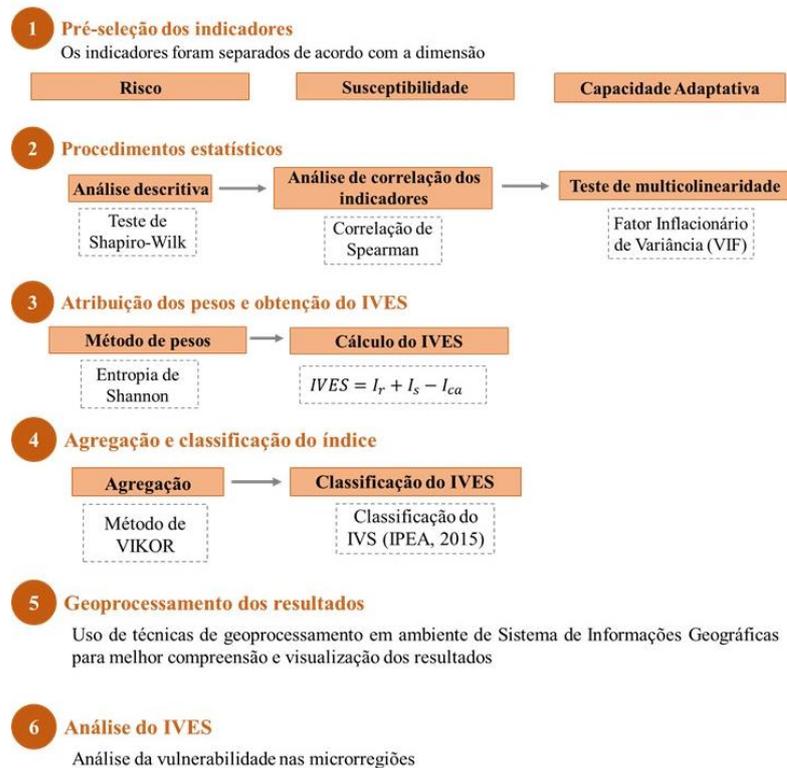
Essa problemática é corroborada pelo estudo de Sousa *et al.* (2023), que identificou uma disparidade entre o abastecimento de água e o esgotamento sanitário na microrregião, onde os municípios apresentam altos índices de acesso à água, mas uma cobertura menor para a coleta de esgoto. Esse cenário evidencia a necessidade de avaliar se a baixa cobertura de esgotamento sanitário na microrregião decorre, de fato, da deficiência do serviço ou se está relacionada à ausência de dados nas plataformas oficiais. Como as informações são autodeclaradas pelos

municípios, muitas podem estar incompletas ou subnotificadas, o que compromete a precisão dos indicadores e dificulta uma análise fiel da realidade local.

5 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização da pesquisa foi estruturada em seis etapas, conforme detalhado no fluxograma apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Autora (2024).

A pesquisa caracteriza-se por uma abordagem quali-quantitativa, pois combina a análise de aspectos quantificáveis e qualitativos para diagnosticar um problema real: a vulnerabilidade à deficiência do serviço de esgotamento sanitário. Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, uma vez que busca caracterizar determinada localidade e estabelecer relações entre variáveis. Além disso, adota um método dedutivo, aplicando métodos estatísticos para analisar os dados e responder à questão da pesquisa.

No que se refere aos procedimentos técnicos, a pesquisa é classificada como documental, pois se baseia em dados secundários provenientes de diversas fontes, incluindo Censo Demográfico (IBGE), a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), o Atlas Esgoto (ANA), o DATASUS, o Atlas de Vulnerabilidade Social, o SINISA e os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB).

5.1 PRÉ-SELEÇÃO DOS INDICADORES

A primeira etapa metodológica para o desenvolvimento do índice de vulnerabilidade relacionado à deficiência do serviço de esgotamento sanitário envolveu o levantamento de indicadores, que teve como base o estudo de Ferreira (2020) e o Atlas de Vulnerabilidade Social do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2015). Seguindo as diretrizes do IPCC (2007), os indicadores foram organizados em três dimensões principais: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa. Para esta pesquisa, esses componentes foram denominados **dimensões de vulnerabilidade**, compondo assim o Índice de Vulnerabilidade à Deficiência de Esgotamento Sanitário (IVES).

Os indicadores selecionados para compor a dimensão de risco apontam a situação dos municípios em relação às condições externas adversas, como frequência de secas, proximidade de áreas contaminadas, entre outros. Esses indicadores mostram como fatores externos podem aumentar a vulnerabilidade. Já os indicadores de susceptibilidade estão mais relacionados às condições internas dos municípios, como situação econômica e falta de infraestrutura, que tornam os municípios mais vulneráveis; exemplos desses indicadores incluem a taxa de mortalidade infantil e analfabetismo. Por fim, os indicadores escolhidos para a dimensão de capacidade adaptativa representam a habilidade do município para responder, adaptar e se recuperar dos impactos negativos. Eles refletem os recursos e a estrutura disponíveis que ajudam a reduzir vulnerabilidades e promover resiliência.

No total, foram selecionados 18 indicadores, detalhados no Quadro 1. Para uma interpretação mais precisa de cada dimensão, é importante destacar que as dimensões de risco (I_r) e de susceptibilidade (I_s) são fatores que aumentam a vulnerabilidade diante da deficiência no esgotamento sanitário. Em contraste, a dimensão de capacidade adaptativa (I_{ca}) considera que, quanto maior o valor de seus indicadores, menor será a vulnerabilidade.

Quadro 1 – Indicadores das dimensões de risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa

Dimensão	Indicador	Código	Fonte
Risco	Índice sem atendimento (sem coleta e sem tratamento)	ISA	Atlas esgoto (ANA, 2017)
	Ocorrência de impactos ambientais (Esgotamento inadequado)	OIA	MUNIC (IBGE, 2020)
	Ocorrência de seca nos últimos 4 anos	OS4	MUNIC (IBGE, 2020)
	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)	DRSI	Ministério da saúde (DATASUS, 2022)

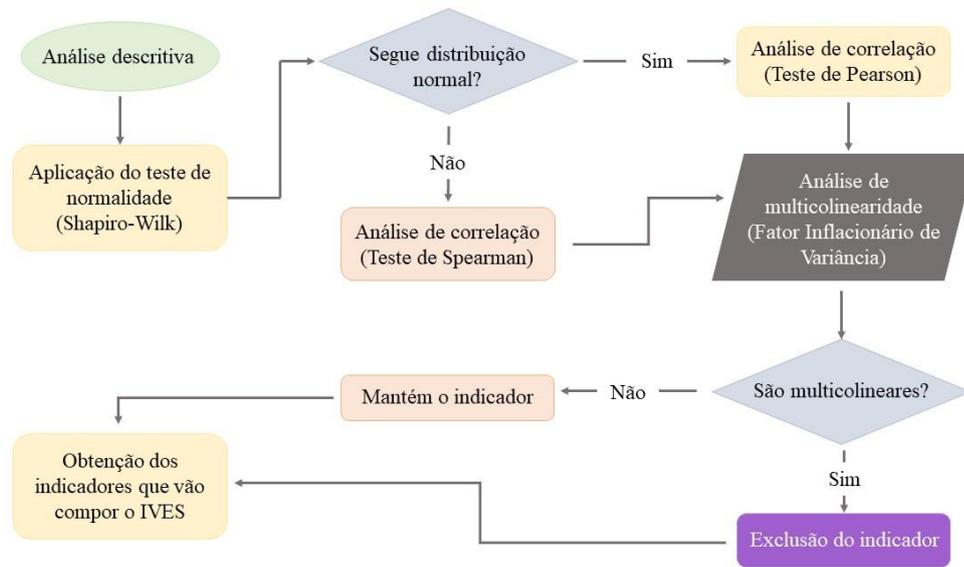
Risco	Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário	TBS	Censo demográfico (IBGE, 2022)
	Taxa de domicílios sem rede de esgoto	TRE	Censo demográfico (IBGE, 2022)
Susceptibilidade	População em domicílios vulneráveis	PDV	Atlas de vulnerabilidade social (IPEA, 2015)
	Razão de dependência	RD	Censo demográfico (IBGE, 2022)
	Taxa de analfabetismo	TA	Censo demográfico (IBGE, 2022)
	Taxa de mortalidade em menores 5 anos	TMM5	Ministério da saúde (DATASUS, 2022)
	Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo	PPRD	Atlas de vulnerabilidade social (IPEA, 2015)
Capacidade Adaptativa	Existência de Conselho municipal de Saneamento Básico	CMSB	MUNIC (IBGE, 2017)
	Existência de Fundo municipal de Saneamento Básico	FMSB	MUNIC (IBGE, 2017)
	Existência de Plano Municipal de Saneamento Básico	PMSB	MUNIC (IBGE, 2017); (PMSB, 2021)
	Existência de Política Municipal de Saneamento Básico	PSB	MUNIC (IBGE, 2017)
	Investimento Per Capita em Infraestrutura de Saneamento	IPIS	SINISA (2022)
	Investimento Anual em Infraestrutura de Saneamento	IAIS	SINISA (2022)
	Quantidade de Profissionais de Saúde e Saneamento	QPSS	DATASUS (2024)

Fonte: Adaptado de ANA (2017), IBGE (2017, 2020, 2022), IPEA (2015), SINISA (2022), Ministério da Saúde (2022, 2024); PMSB (2021).

5.2 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Após a pré-seleção dos indicadores, é essencial realizar uma análise estatística para verificar a correlação e a multicolinearidade entre os indicadores dos municípios do estado da Paraíba. Esse processo permite identificar a presença de indicadores cuja informações se sobrepõem, evitando a redundância na composição do IVES. A sequência da análise estatística segue o fluxograma apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma da análise estatística



Fonte: Autora (2024).

A fim de reduzir a subjetividade presente em métodos participativos que incorporam opiniões de especialistas, optou-se pela utilização de métodos estatísticos para esta etapa metodológica. Para a realização das análises, foi utilizado o software estatístico JAMOVI (versão 2.3.28), que permitiu a aplicação das técnicas necessárias.

Inicialmente foi realizada uma análise descritiva, visando compreender se os dados seguem uma distribuição normal, ou seja, se estão simetricamente distribuídos em torno da média (Lopes; Branco; Soares, 2013). Essa etapa é essencial, pois ela influencia diretamente na escolha do método estatístico mais adequado para análise posterior. A verificação da normalidade é feita por meio de um teste estatístico de normalidade, como o teste de Shapiro-Wilk.

Esse teste é baseado em duas hipóteses:

- Hipótese nula (H_0): A amostra segue uma distribuição normal;
- Hipótese alternativa (H_1): A amostra não segue uma distribuição normal.

A decisão sobre qual hipótese aceitar é feita com base no valor do p -valor, que corresponde ao nível de significância associado ao teste. Se o p -valor for maior que o nível de significância escolhido ($p\text{-valor} > 0,05$), não se rejeita a hipótese nula, sugerindo que os dados podem ser considerados normalmente distribuídos. Por outro lado, se o p -valor for menor que

0,05, rejeita-se a hipótese nula, pois indica que os dados não seguem uma distribuição normal (Toebe, 2012).

Uma segunda etapa essencial é a análise da correlação dos dados, fundamental para compreender o grau de associação entre os indicadores. Essa análise é necessária para evitar redundâncias, garantindo que informações semelhantes não sejam repetidas ao incluir indicadores fortemente correlacionados. De acordo com Nascimento Junior (2020), o estudo correlacional visa identificar a intensidade da relação entre duas variáveis, ou seja, o grau de associação existente entre elas. Estudos, como os de Nascimento (2020), Origuela (2018), Tabosa (2017) e Oliveira (2020), destacam dois coeficientes de correlação amplamente utilizados: o coeficiente de correlação linear de Pearson e o coeficiente de correlação por postos de Spearman.

O coeficiente de correlação de Pearson mede a intensidade e a direção da relação linear entre duas variáveis x e y , com valores variando de -1 a $+1$. Segundo Johnson e Bhattacharyya (2009), um valor de Pearson próximo de -1 indica uma forte correlação negativa, enquanto valores próximos de $+1$ indicam uma forte correlação positiva. Já um valor próximo de 0 sugere uma correlação fraca ou inexistente. No entanto, o coeficiente de Pearson é sensível à presença de outliers, ou seja, à distribuição não-normal dos dados, o que pode distorcer a correlação medida (Origuela, 2018).

Por outro lado, o coeficiente de correlação de Spearman é similar ao de Pearson, mas utiliza os postos das variáveis x e y em vez de seus valores originais. Assim como o coeficiente de Pearson, os valores do coeficiente de Spearman também variam entre -1 e $+1$. No entanto, o coeficiente de Spearman é capaz de capturar relações que, embora não lineares, sejam monotônicas, ou seja, uma relação crescente ou decrescente consistente entre as variáveis. Isso torna o coeficiente de Spearman mais adequado em situações em que os dados seguem uma relação monotônica, mas não linear (Origuela, 2018; Tabosa, 2017; Oliveira, 2020).

A principal vantagem do coeficiente de Spearman é a sua resistência a outliers, já que esses valores extremos têm menor impacto na ordenação dos dados. Além disso, a utilização de postos elimina disparidades entre as distribuições das variáveis, permitindo a comparação entre séries com diferentes curvas de distribuição, como uma normal e outra assimétrica (ORIGUELA, 2018). Isso proporciona uma análise mais robusta em contextos em que a distribuição dos dados é heterogênea.

Para eliminar qualquer influência indesejada entre os indicadores selecionados, além do teste de correlação, foi aplicado o teste de multicolinearidade. A multicolinearidade ocorre quando duas ou mais variáveis independentes em um modelo estão altamente correlacionadas. A literatura descreve vários métodos para o diagnóstico de multicolinearidade, como o Fator de Inflação da Variância (VIF), a Tolerância, o Determinante da Matriz de Correlação e a Condição de Número (TOEBE, 2012). No entanto, para esta pesquisa, será considerado o VIF, conforme recomendado por Silva *et al.* (2009), Constantino *et al.* (2023) e Lucena (2024).

O VIF quantifica o grau de colinearidade entre as variáveis preditoras, medindo o quanto essa colinearidade inflaciona os erros padrão das estimativas dos coeficientes. O uso do VIF ajuda a assegurar que as variáveis independentes no modelo não estejam tão fortemente correlacionadas a ponto de comprometer a eficácia do modelo (Haesbaert, 2016). O VIF é calculado conforme a Equação 1.

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (1)$$

Onde R^2 é o coeficiente de ajuste da regressão entre a variável x e as outras variáveis presentes.

Na interpretação dos valores do VIF, um valor de 1 indica ausência de correlação entre a variável independente e as demais variáveis. Valores entre 1 e 5 sugerem uma correlação moderada, geralmente considerada aceitável. Por outro lado, um valor de VIF superior a 5 sugere alta multicolinearidade, e valores superiores a 10 são considerados indicativos de multicolinearidade severa, o que pode comprometer significativamente o modelo (Toebe, 2012). Diante disso, esta pesquisa adotou como critério a exclusão de indicadores com VIF superior a 5.

5.3 ATRIBUIÇÃO DE PESOS E OBTENÇÃO DO ÍNDICE GERAL

5.3.1 Método de peso de entropia de Shannon

Como o foco central desta pesquisa é o desenvolvimento de um índice de vulnerabilidade associado à deficiência do esgotamento sanitário, torna-se fundamental, na etapa metodológica, a aplicação de pesos aos indicadores selecionados.

Para calcular os pesos dos indicadores, de forma a garantir que o índice seja composto de maneira objetiva, foi escolhido o método da entropia de Shannon, que mede o nível de desordem, incerteza ou aleatoriedade de um sistema. A entropia é bastante usada na Teoria da

Informação, criada por Claude Shannon em 1948. Ela serve para quantificar as informações presentes em uma variável, mostrando o quanto os dados são incertos ou imprevisíveis (Lima; Assis; Souza, 2010; Magossi *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a entropia de Shannon pode ser aplicada para determinar o peso dos indicadores em um sistema de avaliação multicritério, como o cálculo do índice de vulnerabilidade. A ideia central é que a entropia mensura a dispersão das informações em cada indicador. Conforme destacado por Rocha, Hein e Kroenke (2011), quanto maior a entropia, menos informação o indicador transmite, o que faz com que ele receba um peso menor. Por outro lado, indicadores com entropia menor são considerados mais informativos e, por isso, recebem um peso maior.

O processo de obtenção dos pesos dos indicadores inicia-se pelo cálculo da entropia, conforme a Equação 2.

$$H_j = -\frac{1}{\log(m)} \sum p_{ij} \log(p_{ij}) \quad (2)$$

Onde:

- H_j é a entropia da variável j ;
- P_{ij} é o valor normalizado do dado;
- m é o número total de itens.

Em seguida, é calculado o grau de diversificação e, posteriormente, os pesos são atribuídos de acordo com as Equações 3 e 4.

$$d_j = 1 - H_j \quad (3)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \quad (4)$$

Onde:

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

Dado que os indicadores possuem variáveis em diferentes unidades, é necessário normalizar os dados para que todos estejam em uma mesma escala. Para isso, foi aplicada a normalização Min-Max, conforme a Equação 5.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (5)$$

Onde:

- x_{ij} é o valor original;
- $\min(x_j)$ e $\max(x_j)$ são os valores mínimo e máximo do conjunto de dados;
- p_{ij} é o valor normalizado, que ficará no intervalo de 0 a 1.

5.3.2 Cálculo do IVES

A etapa final dos procedimentos estatísticos consiste na formação do IVES. O cálculo do IVES foi realizado de acordo com a abordagem proposta por Carvalho *et al.* (2021), utilizando a Equação 6. Nesse método, as dimensões de risco e susceptibilidade contribuem para o aumento da vulnerabilidade, enquanto a capacidade adaptativa atua na sua redução. Assim, em municípios onde a capacidade adaptativa for suficientemente elevada para superar os efeitos do risco e da susceptibilidade, o valor resultante deve ser zero (ou negativo). Por outro lado, os piores valores atingem o limite máximo de um.

$$IVES = I_r + I_s - I_{ca} \quad (6)$$

Onde:

- I_r representa a dimensão de risco,
- I_s representa a dimensão de susceptibilidade,
- I_{ca} representa a dimensão de capacidade adaptativa.

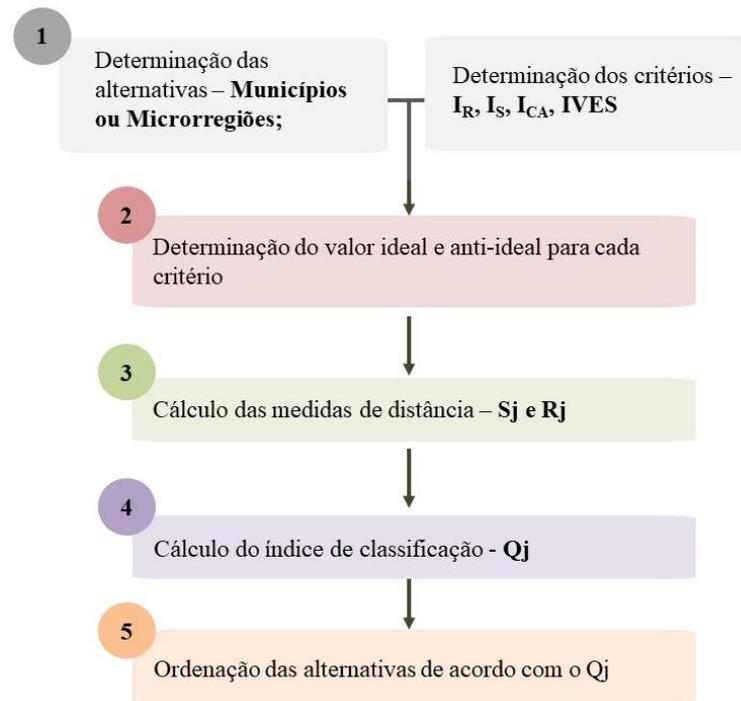
Cada dimensão foi calculada a partir do peso obtido pelo método da entropia de Shannon e a média ponderada dos indicadores que o compõem, conforme indicado na Equação 7.

$$\text{Subíndice ponderado}_i = \sum (\text{Média do indicador}_i \times \text{Peso}_i) \quad (7)$$

5.4 AGREGAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE

Para a classificação do IVES, adotou-se o método VIKOR, amplamente reconhecido e aplicado em diversas áreas para análises multicritério (Lucena, 2024; Chatterjee, Chakraborty, 2016; Keunecke, Hein, Kroenke, 2015). A Figura 9 apresenta o fluxograma com as etapas para aplicação do método.

Figura 9 – Etapas para aplicação do método de VIKOR



Fonte: Autora (2024).

5.4.1 Método de VIKOR

O método multicritério de VIKOR (*VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*), traduzido como “Otimização Multicritério e Solução de Compromisso”, foi desenvolvido por Yu (1973) com o objetivo de determinar um ranking de compromisso entre alternativas que possuem diferentes critérios, classificando-as pela proximidade com a solução ideal (Opricovic e Tzeng, 2004).

Neste estudo, o método de VIKOR foi utilizado para classificar os municípios com base no IVES. De acordo com Degenhart *et al.* (2017), o processo de classificação segue as seguintes fases:

1) Determinação do valor ideal (f_{i^*}) e não ideal (f_{i^-}) de toda a função, $i = 1, 2, \dots, n$, de acordo com as Equações 8 e 9, respectivamente

$$f_{i^*} = \max_j f_{ij} \quad (8)$$

$$f_{i^-} = \min_j f_{ij} \quad (9)$$

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 (grupo de utilidade máxima) e R_j (peso individual mínimo), $j = 1, 2, \dots, n$ nas relações, em que w_i são os pesos obtidos pelo método da Entropia de Shannon. Os valores de S_j e R_j são obtidos pelas equações 10 e 11.

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (f_{i^*} - f_{ij})}{(f_{i^*} - f_{i^-})} \quad (10)$$

$$R_j = \max_j \left[\frac{w_i (f_{i^*} - f_{ij})}{(f_{i^*} - f_{i^-})} \right] \quad (11)$$

Onde: w_i = peso estratégico (obtido pela entropia de Shannon); 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 .

3) Cálculo dos valores Q_j (índice de classificação), $j = 1, 2, \dots, j$, conforme a Equação 12.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - v) * (R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (12)$$

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 $v = 0,5$; 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.

5.4.2 Classificação do IVES

A análise da vulnerabilidade foi realizada com base na interpretação dos resultados obtidos, seguindo a classificação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), conforme proposto pelo IPEA (2015). Nesse modelo, os valores do IVES variam de 0 a 1, onde 0 representa "muito

baixa" vulnerabilidade e 1 corresponde a "muito alta" vulnerabilidade. A classificação detalhada pode ser observada no Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Classificação do IVES

IV	0,000 – 0,200	Muito baixa
III	0,201 – 0,300	Baixa
II	0,301 – 0,400	Média
I	0,401 – 0,500	Alta
0	0,501 – 1	Muito alta

Fonte: IPEA (2015).

5.5 GEOPROCESSAMENTO DOS RESULTADOS

Essa etapa do percurso metodológico da pesquisa envolve o uso de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para uma melhor compreensão e visualização da distribuição da vulnerabilidade e das relações espaciais entre os municípios. Para isso, foi utilizado o software QGIS (versão 3.10.9).

O SIG é um sistema que integra a aquisição, processamento, armazenamento e exibição de informações georreferenciadas, permitindo a combinação e interação com diferentes fontes de dados. Essa capacidade possibilita a geração de produtos de fácil visualização e análise, permitindo a modelagem espacial e a realização de prognósticos para subsidiar a tomada de decisões (Fonseca, 2008; Almeida *et al.*, 2015).

Camargo *et al.* (2017) reforça essa importância ao destacar que as análises geoespaciais permitem o mapeamento das áreas mais vulneráveis, favorecendo o planejamento público e a alocação de investimentos em infraestrutura e saneamento, direcionando recursos para as regiões com maior demanda.

5.6 ANÁLISE DO IVES NAS MICRORREGIÕES

Após a classificação dos municípios com base em sua vulnerabilidade e a aplicação de geotecnologias foi realizada uma análise da vulnerabilidade das microrregiões, destacando-se os municípios com maior potencial e aqueles mais fragilizados. Além disso, foram identificadas as principais dificuldades enfrentadas nas microrregiões em relação às dimensões de risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa, bem como possíveis sugestões para mitigar essas fragilidades.

6 RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa serão apresentados de forma detalhada, abordando as seguintes etapas do estudo: i) Análise estatística dos dados; ii) Aplicação da Entropia de Shannon e obtenção do IVES; iii) Utilização do Método de VIKOR e classificação do IVES; e iv) Análise do IVES. Além disso, serão realizadas análises separadas para cada dimensão (risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa), permitindo uma visão mais detalhada acerca da vulnerabilidade à deficiência do esgotamento sanitário nas microrregiões de saneamento do estado da Paraíba.

6.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk estão apresentados na Tabela 2. Para as três dimensões analisadas, a maioria dos indicadores apresenta p -valor menor que 0,05, o que indica que os dados não seguem uma distribuição normal. Apenas o indicador “taxa de analfabetismo” possui p -valor maior que 0,05, caracterizando uma distribuição normal para esse dado.

Tabela 2 – Resultados do teste de Shapiro-Wilk

Dimensão	Código	Indicador	P -valor	Tipo de distribuição
Risco	TRE	Taxa de domicílios sem rede de esgoto	<0,001	Não-Normal
	TBS	Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário	<0,001	Não-Normal
	ISA	Índice sem atendimento – sem Coleta e sem Tratamento	<0,001	Não-Normal
	OIA	Ocorrência de impactos ambientais (Esgotamento inadequado)	<0,001	Não-Normal
	DRSI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado	<0,001	Não-Normal
	OS4	Ocorrência de seca nos últimos 4 anos	<0,001	Não-Normal
	Susceptibilidade	PDV	População em domicílios vulneráveis	<0,001
RD		Razão de dependência	0,015	Não-Normal
TA		Taxa de Analfabetismo	0,131	Normal
TMM5		Taxa de mortalidade em menores de 5 anos	<0,001	Não-Normal
PPRD		Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo	<0,001	Não-Normal
Capacidade Adaptativa	PSB	Política Municipal de Saneamento Básico	<0,001	Não-Normal
	PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico	<0,001	Não-Normal
	CMSB	Conselho Municipal de Saneamento Básico	<0,001	Não-Normal

FMSB	Fundo Municipal de Saneamento Básico	<0,001	Não-Normal
IPIS	Investimento Per Capita em Infraestrutura de Saneamento	<0,001	Não-Normal
IAIS	Investimento Anual em Infraestrutura de Saneamento	<0,001	Não-Normal
QPSS	Quantidade de profissionais de saúde e saneamento	<0,001	Não-Normal

Fonte: Autora (2024).

Os testes de correlação e VIF foram realizados para todos os indicadores de suas respectivas dimensões. O teste de Spearman foi escolhido para a análise, pois é adequado tanto para dados com distribuição normal quanto para os que não seguem distribuição normal. Para a análise da vulnerabilidade, uma situação favorável ocorre quando dois indicadores apresentam baixa correlação, indicando que um não sobrepõe o outro e reduzindo a probabilidade de multicolinearidade entre eles.

Sendo assim, tomou-se como referência o ρ -valor fornecido pelo software utilizado para as análises (JAMOVI 2.3.28). Valores com ρ -valor <0,05 indicam correlação significativa, ρ -valor <0,01 indicam correlação moderada e ρ -valor <0,001 indicam correlação forte. Os resultados dessas correlações para a dimensão de Risco estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado da correlação de Spearman dos indicadores da dimensão de Risco

Indicadores		TRE	TBS	ISA	OIA	DRSAI	OS4
TRE	R	-					
	ρ -valor	-					
TBS	R	-0,016	-				
	ρ -valor	0,818	-				
ISA	R	-0,069	0,004	-			
	ρ -valor	0,303	0,956	-			
OIA	R	-0,032	-0,008	-0,028	-		
	ρ -valor	0,636	0,904	0,681	-		
DRSAI	R	0,072	-0,142*	-0,132*	-0,083	-	
	ρ -valor	0,28	0,035	0,049	0,219	-	
OS4	R	-0,019	0,154*	-0,173**	0,035	0,047	-
	ρ -valor	0,773	0,022	0,010	0,600	0,482	-

Nota * ρ -valor <0,05, ** ρ -valor <0,01, *** ρ -valor <0,001; TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; ISA: Índice sem atendimento; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; OS4: Ocorrência de secas nos últimos 4 anos.

Fonte: Autora (2024).

Analisando os resultados foi possível verificar que houve uma correlação moderada entre os indicadores ISA e OS4. O ISA é um indicador importante pois mostra a proporção da população sem acesso ao serviço de esgotamento sanitário, enquanto o OS4 reflete os impactos

das mudanças climáticas, destacando como esses eventos extremos podem aumentar a vulnerabilidade da população. Por apresentarem informações distintas e complementares, não se justificou a exclusão de nenhum desses indicadores.

Sendo assim, realizou-se o cálculo do VIF, utilizando o software JAMOVI. Para o cálculo do VIF define-se, alternadamente, cada indicador como variável dependente, enquanto os demais são considerados variáveis independentes. Os resultados, apresentados na Tabela 4, mostram que, em todos os casos, o VIF foi inferior a 5, o que indica a ausência de multicolinearidade. Dessa forma, para a dimensão de Risco não haverá a exclusão de nenhum indicador para a construção do IVES.

Tabela 4 – Valor de VIF para cada indicador da dimensão de Risco

Variáveis independentes	Variáveis dependentes					
	TRE	TBS	ISA	OIA	DRSAI	OS4
TRE	-	1,01	1,01	1,00	1,01	1,01
TBS	1,01	-	1,01	1,01	1,01	1,00
ISA	1,06	1,06	-	1,06	1,03	1,02
OIA	1,03	1,03	1,03	-	1,01	1,03
DRSAI	1,07	1,07	1,05	1,05	-	1,05
OS4	1,06	1,06	1,03	1,06	1,04	-

TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; ISA: Índice sem atendimento; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; OS4: Ocorrência de secas nos últimos 4 anos.

Fonte: Autora (2024).

Para a dimensão de Susceptibilidade, o teste de correlação (Tabela 5) mostrou alguns resultados importantes. Destaca-se a forte correlação negativa entre TA e TMM5, um resultado que reflete um contraste significativo: enquanto a TA é maior, a TMM5 tende a ser menor. Esse padrão já foi observado por Bezerra *et al.* (2017) que identificaram assimetrias nos serviços de saúde e educação. Os autores explicam que essa relação negativa pode ser atribuída ao fato de que a população de municípios menores tende a buscar atendimento em localidades maiores, onde há melhor infraestrutura de saúde. Como consequência, as taxas de saúde nos municípios menores são impactadas, pois a demanda local por esses serviços se reduz.

A TA também apresentou forte correlação positiva com PPRD evidenciando que a parcela da população com os menores salários são as que têm menos acesso à educação. Isso mostra como essas pessoas se tornam ainda mais vulneráveis, já que a falta de escolaridade dificulta a busca por empregos melhores.

Outro ponto importante foi a forte correlação positiva entre RD e TA. Essa relação reflete como o acesso limitado à educação está associado a contextos socioeconômicos mais

desfavoráveis. Estudos de Catolico e Strauch (2024), mostram que, em locais com altos índices de analfabetismo, é comum a existência de núcleos familiares maiores, especialmente com mais crianças, o que acaba gerando uma maior RD – associada ao número de pessoas fora da idade ativa (crianças e idosos).

Tabela 5 - Resultado da correlação de Spearman dos indicadores da dimensão de Susceptibilidade

Indicadores		PDV	RD	TA	TMM5	PPRD
PDV	R	-				
	ρ -valor	-				
RD	R	-0,163*	-			
	ρ -valor	0,015	-			
TA	R	-0,024	0,306***	-		
	ρ -valor	0,719	<0,001	-		
TMM5	R	0,206**	-0,120	-0,234***	-	
	ρ -valor	0,002	0,073	<0,001	-	
PPRD	R	0,026	0,111	0,387***	-0,043	-
	ρ -valor	0,706	0,098	<0,001	0,523	-

Nota * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$; PDV: População em domicílios vulneráveis; RD: Razão de dependência; TA: Taxa de analfabetismo; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo.

Fonte: Autora (2024).

De forma análoga ao que foi aplicado no Dimensão de Risco, o VIF foi calculado para a dimensão de Susceptibilidade, após a exclusão das variáveis com maior correlação. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valor de VIF para cada indicador da dimensão de Susceptibilidade

Variáveis independentes	Variáveis dependentes			
	PDV	RD	TMM5	PPRD
PDV	-	1,03	1,03	1,08
RD	1,01	-	1,08	1,09
TMM5	1,01	1,00	-	1,01
PPRD	1,01	1,03	1,03	-

PDV: População em domicílios vulneráveis; RD: Razão de dependência; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo.

Fonte: Autora (2024).

Observa-se que ao fixar cada indicador como variável dependente os valores de VIF foram inferiores a 5, indicando ausência de multicolinearidade. Dessa forma, após as análises apenas o indicador TA foi excluído das próximas análises para composição do IVES.

A última análise de correlação foi feita para a dimensão de Capacidade Adaptativa e os resultados estão ilustrados na Tabela 7. Observa-se que o indicador de PSB teve correlação muito forte com PMSB, CMSB, FMSB e QPSS. Essa relação reflete a interdependência entre os indicadores da gestão do saneamento municipal, uma vez que o PMSB é a base para formulação e execução de ações de saneamento, o CMSB assegura a participação e o controle social, o FMSB viabiliza as ações através dos recursos financeiros e QPSS reflete a capacidade operacional para atender a população. Além disso, o QPSS também apresentou forte correlação com IPIS e IAIS, essa relação mostra a importância dos recursos humanos e financeiros para fortalecer o setor.

Tabela 7 - Resultado da correlação de Spearman dos indicadores da dimensão de Capacidade Adaptativa

Indicadores		PSB	PMSB	CMSB	FMSB	IPIS	IAIS	QPSS
PSB		-						
		-						
PMSB	R	0,586***	-					
	ρ-valor	<0,001	-					
CMSB	R	0,357***	0,230***	-				
	ρ-valor	<0,001	<0,001					
FMSB	R	0,286***	0,105	0,581***	-			
	ρ-valor	<0,001	0,118	<0,001				
IPIS	R	-0,018	-0,033	-0,042	0,027	-		
	ρ-valor	0,793	0,621	0,536	0,693			
IAIS	R	0,054	0,028	-0,027	0,059	0,968***	-	
	ρ-valor	0,447	0,695	0,699	0,404	<0,001		
QPSS	R	0,221***	0,185**	-0,074	0,031	0,280***	0,437***	-
	ρ-valor	<0,001	0,006	0,271	0,644	<0,001	<0,001	

Nota * p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001; PSB: Política municipal de saneamento básico; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; FMSB: Fundo municipal de saneamento básico; IPIS: Investimento Per Capita em Infraestrutura de Saneamento; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento.

Fonte: Autora (2024).

Após a análise do VIF (Tabela 8) foram excluídos os indicadores FMSB, PSB e IPIS para verificar se os demais indicadores possuíam multicolinearidade. Os resultados mostraram que, em todos os casos, os valores de VIF ficaram abaixo de 5, confirmando a ausência de multicolinearidade. Sendo assim, os indicadores FMSB, PSB e IPIS não foram considerados para as análises posteriores.

Tabela 8 – Valor de VIF para cada indicador da dimensão de Capacidade Adaptativa

Variáveis independentes	Variáveis dependentes			
	PMSB	IAIS	QPSS	CMSB
PMSB	-	1,09	1,06	1,06
IAIS	3,82	-	1,08	3,76
QPSS	3,73	1,08	-	3,87
CMSB	1,07	1,08	1,11	-

PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento.
Fonte: Autora (2024).

6.2 APLICAÇÃO DA ENTROPIA DE SHANNON E OBTENÇÃO DO IVES

A aplicação da entropia de Shannon foi essencial para determinar os pesos atribuídos a cada indicador de suas respectivas dimensões. Para uma análise mais detalhada dos resultados obtidos, serão apresentadas as médias dos indicadores por microrregião e os pesos calculados, permitindo uma melhor compreensão e relação dos resultados.

É importante lembrar que os pesos atribuídos através da entropia de Shannon refletem a consistência dos indicadores. Quando um indicador apresenta grande variabilidade em seus valores, isso indica uma maior heterogeneidade entre eles, resultando em uma entropia de informação menor. Consequentemente, esse critério assume maior relevância em um ambiente de decisão (Santos, 2018; Lucena, 2024).

Nesse sentido, a partir da Tabela 9, observa-se que o indicador DRSAI apresentou o peso mais significativo devido à alta discrepância nas médias entre as microrregiões. A microrregião do Litoral, por exemplo, registrou um número considerável de doenças relacionadas ao saneamento inadequado, evidenciando uma deficiência da microrregião nesse setor. Além disso, a média do ISA para essa mesma microrregião também foi elevada, indicando uma certa vulnerabilidade da microrregião com relação a falta de atendimento ao esgotamento sanitário. Outro indicador expressivo foi o TBS que apresentou alta disparidade entre as microrregiões, destacando uma deficiência significativa na microrregião Espinharas.

Tabela 9 – Média e pesos dos indicadores da dimensão de Risco

Indicador	Microrregião				Peso
	Alto Piranhas	Borborema	Espinharas	Litoral	
TRE	1,17	1,05	1,42	1,7	2,76
TBS	1,82	1,44	2,88	0,56	21,28
DRSAI	13,37	33,12	17,72	107,71	56,00
ISA	50,29	45,97	45,69	72,27	3,21
OIA	0,13	0,07	0,22	0,20	12,42
OS4	0,95	0,97	0,83	0,52	4,32

TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; ISA: Índice sem atendimento; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; OS4: Ocorrência de secas nos últimos 4 anos.

Fonte: Autora (2024).

Com relação aos indicadores de Susceptibilidade (Tabela 10), observa-se que o indicador TMM5 apresentou as médias mais discrepantes entre as microrregiões, resultando no maior peso entre todos os indicadores. Esse valor reflete as variações significativas com relação a mortalidade infantil, com a microrregião Alto Piranhas registrando as melhores médias, o que sugere que, nessa microrregião, as políticas públicas voltadas a saúde infantil têm se mostrado mais eficazes. O indicador PDV também obteve médias com maior variação, com Litoral e Borborema apresentando os maiores valores e indicando que nessas microrregiões a quantidade de pessoas em domicílios vulneráveis é bem maior. Os demais indicadores de susceptibilidade mantiveram as médias similares e, conseqüentemente, maior homogeneidade entre as microrregiões. Entretanto, essa homogeneidade não elimina a existência de vulnerabilidades. Um exemplo é o PPRD, cujas médias superaram 50% em todas as microrregiões, indicando que uma parcela considerável da população enfrenta condições econômicas desfavoráveis.

Essa realidade socioeconômica também é observada em outros estados brasileiros, como no Maranhão, onde ainda há um elevado número de pessoas vivendo em situação de pobreza e desvantagem socioeconômica. Nesse estado, a renda domiciliar per capital mensal é de apenas R\$ 814,00 (Silva; Oliveira; Kamimura, 2023). Além disso, observa-se uma estreita relação entre vulnerabilidade socioeconômica e acesso ao saneamento básico. Estudos mostram que a proporção de famílias sem acesso a esses serviços aumenta à medida que a renda domiciliar per capita diminui. Das famílias sem acesso ao saneamento, 61,3% possuem renda inferior a meio salário-mínimo (Leite; Branchi, 2023).

Tabela 10 – Média e pesos dos indicadores da dimensão de Susceptibilidade

Indicador	Microrregião				Peso
	Alto Piranhas	Borborema	Espinharas	Litoral	
PDV	191,00	278,08	189,61	396,87	15,91
RD	48,68	50,93	49,43	49,96	0,04
TMM5	0,37	3,59	4,89	7,94	83,29
PPRD	56,28	59,25	52,72	63,54	0,76

PDV: População em domicílios vulneráveis; RD: Razão de dependência; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo. Fonte: Autora (2024).

Por fim, a Tabela 11 mostra as médias e os pesos dos indicadores da dimensão de Capacidade Adaptativa. Nota-se que o indicador IAIS obteve o maior peso, refletindo a disparidade nos investimentos realizados entre as microrregiões. A microrregião Litoral, por exemplo, concentra um volume de investimentos muito superior ao somatório dos investimentos das outras três microrregiões. Essa diferença na quantidade de recursos destinados aos investimentos de infraestruturas dos serviços de saneamento resulta em uma desigualdade no atendimento desse serviço entre as microrregiões. Além disso, observa-se que a microrregião do Litoral também apresenta os melhores índices de quantidade de profissionais voltados para a saúde e o saneamento, o que contribui para a melhoria da qualidade dos serviços nessa regional. A concentração de investimentos no Litoral colabora para acentuar as desigualdades enfrentadas nas demais microrregiões com relação aos serviços básicos de saneamento.

Tabela 11 – Média e pesos dos indicadores da dimensão de Capacidade Adaptativa

Indicador	Microrregião				Peso
	Alto Piranhas	Borborema	Espinharas	Litoral	
PMSB	0,21	0,28	0,13	0,25	6,24
IAIS	12.0298,77	55.5198,80	26.5697,42	125.0934,29	53,98
QPSS	206,76	306,58	230,94	706,36	24,41
CMSB	0,05	0,10	0,07	0,03	15,37

PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento.

Fonte: Autora (2024).

Após a obtenção dos pesos, foram calculados os valores das dimensões (I_R , I_S , e I_{CA}) e do IVES. Esse cálculo foi realizado para todos os municípios e também para as microrregiões. Contudo, como o objetivo principal do estudo é análise das microrregiões, serão apresentados os resultados obtidos para as microrregiões. Os resultados detalhados para os municípios estão

disponíveis no Apêndice A, bem como a memória de cálculo da normalização dos indicadores. Nesse sentido, a Tabela 12 a seguir mostra os resultados calculados.

Tabela 12 – Valores das dimensões e IVES

Microrregião	I_R	I_S	I_{CA}	IVES
Alto piranhas	0,068	0,013	0,025	0,057
Borborema	0,056	0,043	0,043	0,056
Espinharas	0,092	0,050	0,024	0,118
Litoral	0,075	0,083	0,044	0,115

Fonte: Autora (2024).

De antemão, observa-se que os piores valores para a dimensão de Risco foram registrados na microrregião Espinharas, devido às altas taxas de população sem banheiro e sanitário e às maiores médias de ocorrência de impactos ambientais causados pelo esgoto inadequado. Estudos realizados por Silva e Silva (2022) complementam essa análise, mostrando que, na Paraíba, a maioria dos domicílios sem essas instalações está localizada na zona rural, o que mostra a importância do saneamento básico para a salubridade ambiental e a qualidade de vida no meio rural.

A microrregião Litoral também obteve resultados desfavoráveis na dimensão de Risco, devido principalmente às elevadas taxas de DRSAI e ISA⁴. Isso evidencia que, em locais onde o esgoto não é adequadamente tratado, há uma maior probabilidade de surgimento de doenças devido ao contato com os líquidos sem o devido tratamento (Vieira *et al.*, 2024).

A microrregião do Litoral também se destacou negativamente quando foram observados os valores da dimensão de Susceptibilidade. Essa situação é atribuída ao elevado número de pessoas vivendo em domicílios vulneráveis e às altas taxas de população que sobrevivem com menos de meio salário mínimo por mês, evidenciando o quanto essas pessoas estão expostas a condições de risco. Em um cenário ideal, os valores devem ser zero, indicando que a capacidade adaptativa supera os riscos e a susceptibilidade do local. Os piores valores, por sua vez, são iguais a um. No entanto, é importante analisar as particularidades de cada microrregião e seus municípios. Por exemplo, as microrregiões Alto Piranhas e Espinharas obtiveram os melhores valores para essa dimensão. Contudo, isso significa que as microrregiões não sejam vulneráveis, pois os cálculos representam uma comparação entre as quatro microrregiões. Vale destacar que, em Alto Piranhas, por exemplo, ainda há elevados índices de razão de dependência e de população com renda inferior a meio salário mínimo.

⁴ DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; ISA: Índice sem atendimento

De maneira relevante, a microrregião do Litoral alcançou os melhores resultados na dimensão de Capacidade Adaptativa, indicando que essa região é a que mais atrai investimentos no setor de saneamento. Apesar disso, esses investimentos ainda não são suficientes para suprir plenamente as necessidades da microrregião como um todo. É importante enfatizar que a capital paraibana, João Pessoa, está inserida na microrregião Litoral, o que provavelmente influencia os valores de investimentos e a quantidade de profissionais de saúde e saneamento na região, pois se trata de um grande polo no Estado, então os recursos destinados a capital são consideravelmente maiores em comparação aos pequenos municípios que compõem a microrregião.

6.3 UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE VIKOR E CLASSIFICAÇÃO DO IVES

Neste tópico são apresentados os resultados referentes à classificação do IVES nas microrregiões analisadas. O método de VIKOR foi utilizado para ranquear as alternativas, que, nesta pesquisa, correspondem às microrregiões. Sendo assim, os resultados a seguir são discutidos com base nesse ranking, de acordo com o desempenho de cada microrregião.

A Tabela 13 mostra que, para a dimensão de Risco, a microrregião Espinharas foi classificada como a mais vulnerável, seguida por Litoral, Alto Piranhas e Borborema. O método de VIKOR ranqueia as alternativas considerando que, para a dimensão de Risco, o valor ideal corresponde a zero ou o mais próximo possível de zero, enquanto o valor mais desfavorável é igual a um ou o mais próximo de um. Nesse sentido, os dados mostram que Espinharas apresentou os piores índices para essa Dimensão.

Tabela 13 – Ranking das microrregiões para a dimensão de risco

Ranking	Microrregião	Qj* - Risco
1°	Espinharas	1,00
2°	Litoral	0,53
3°	Alto piranhas	0,34
4°	Borborema	0,00

*Qj = Índice de classificação

Fonte: Autora (2024).

Essa classificação da microrregião Espinharas pode ser atribuída às médias significativas dos indicadores que compõem a dimensão de Risco, os quais contribuíram diretamente para esse resultado. Entre os indicadores mais críticos, destaca-se a TBS, que foi de 2,87%, essa ausência de instalações sanitárias pode aumentar os casos de impactos

ambientais (OIA) devido ao esgotamento sanitário inadequado. Outro dado relevante é o ISA que foi de 46%, indicando que boa parte da população não tem acesso a rede de esgoto.⁵

Vale ressaltar que, na falta de infraestrutura sanitária adequada, o esgoto continua sendo produzido e descartado de maneira imprópria, ampliando os impactos negativos ao meio ambiente e elevando a ocorrência de DRSAl, como afirmam Salvador e Frigo (2021). Na microrregião Espinharas foram registrados 815 casos, evidenciando a correlação entre os problemas de saneamento e saúde pública. Esses problemas interligados justificam a posição de Espinharas como a microrregião mais vulnerável no ranking de risco, revelando a necessidade de intervenções específicas nessa microrregião.

Embora Espinharas tenha ocupado a posição mais crítica, é importante destacar que a vulnerabilidade das demais microrregiões também é significativa. O Litoral, que ocupa o segundo lugar, apresenta altos índices de DRSAl, com 5.924 casos registrados, e elevada quantidade de pessoas sem acesso adequado ao esgotamento sanitário (ISA), com uma porcentagem de 71%. Já a microrregião Alto Piranhas, terceira no ranking, apresentou um ISA de 50,28%, indicando que metade da população não é atendida por redes de esgoto, além de registros de OS4, que aumenta a escassez de água na microrregião.

A microrregião Borborema (4º lugar) merece destaque por registrar valores baixos na maioria dos indicadores analisados, mesmo sendo a microrregião do estado com maior número de municípios (84 no total). A TBS foi de apenas 1,44%, indicando que 98,56% dos domicílios possuem unidades hidrossanitárias, um percentual superior a taxa da região Nordeste, que foi de 89,2% em 2017, segundo Almeida, Brito e Silva (2022). Esse desempenho mostra que programas voltados para a área do saneamento são importantes na provisão do serviço adequado podendo servir como modelo para as demais microrregiões do estado.⁶

Com o objetivo de aprimorar ainda mais os índices de atendimento, existem programas voltados para suprir a deficiência de locais sem banheiro ou sanitário. Um exemplo é o Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares (MSD), da Funasa, que realiza intervenções nos domicílios para atender as necessidades básicas de saneamento das famílias, por meio da instalação de unidades hidrossanitárias mínimas (BRASIL, 2014).

⁵ TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; ISA: Índice sem atendimento.

⁶ DRSAl: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; ISA: Índice sem atendimento; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 14, a microrregião Litoral foi considerada a mais vulnerável na dimensão de Susceptibilidade. Esse resultado é justificável pelos elevados valores obtidos para os indicadores desse grupo, que revelam um cenário de múltiplas vulnerabilidades interligadas.

Tabela 14 – Ranking das microrregiões para a dimensão de Susceptibilidade

Ranking	Microrregião	Qj* - Susceptibilidade
1°	Litoral	1,00
2°	Espinharas	0,54
3°	Borborema	0,43
4°	Alto piranhas	0,00

*Qj = Índice de classificação

Fonte: Autora (2024).

Na microrregião Litoral (1° lugar), uma parcela significativa da população (23.030 pessoas) vive em domicílios vulneráveis (PDV), e essas mesmas pessoas, muito provavelmente, apresentam os piores salários da microrregião, com a PPRD de 63,48%. Além disso, essa vulnerabilidade também está associada ao acesso precário aos serviços de saúde, que contribui para o aumento da TMM5 que foi de 7%. Esses dados traduzem uma situação preocupante e ressaltam a necessidade de uma gestão mais direcionada à população mais vulnerável, que requer atenção especial nas áreas de moradia, renda e saúde. A resolução dessas questões é fundamental para melhorar as condições de vida da população que enfrenta as maiores dificuldades.

As fragilidades sociais também impactam diretamente o setor do saneamento básico. Populações que vivem em condições habitacionais precárias, frequentemente carecem de acesso a água potável e a coleta adequada de esgoto. Da mesma forma, famílias com renda inferior a meio salário mínimo enfrentam dificuldades para custear os serviços de abastecimento de água e esgoto fornecidos pela companhia regional, conforme destaca Santos (2020). Isso ressalta como as questões de saneamento, saúde, moradia e renda estão interligados, evidenciando a necessidade de uma gestão pública multidisciplinar e sensível para lidar com esses problemas.

As microrregiões Espinharas e Borborema, classificadas em segundo e terceiro lugares, respectivamente, apresentaram valores similares. A RD foi de 49% em Espinharas e 50% em Borborema, enquanto a TMM5 foi de 4% e 3%, respectivamente. Embora esses valores sejam menores que os do Litoral, essas microrregiões também enfrentam desafios significativos

relacionados à moradia digna, à oferta de salários adequados e à melhoria dos serviços de saúde.⁷

Por fim, a microrregião Alto Piranhas, que ocupou a última posição no ranking de susceptibilidade, apresentou os melhores indicadores entre as microrregiões analisadas. A quantidade de pessoas em domicílios vulneráveis foi a menor (7.258 pessoas), e a TMM5 foi de apenas 0,3%. Apesar dessa colocação “mais favorável”, é importante ressaltar que a microrregião ainda enfrenta vulnerabilidades socioeconômicas, uma vez que 56% da população possui renda domiciliar igual ou inferior a meio salário mínimo, e a RD foi de 48%.

A Tabela 15 apresenta o ranking referente à dimensão de Capacidade Adaptativa. A capacidade adaptativa reflete o nível de investimento dos municípios em melhoria no setor de saneamento, onde valores mais altos indicam um melhor desempenho. Contudo, é importante ressaltar que, na metodologia aplicada, o cálculo já considera o valor ideal (o maior valor) e o anti-ideal (o menor valor), o que influencia na classificação do ranking.

Tabela 15 – Ranking das microrregiões para a dimensão de Capacidade Adaptativa

Ranking	Microrregião	Qj* - Capacidade
1°	Espinharas	1,00
2°	Alto piranhas	0,96
3°	Borborema	0,05
4°	Litoral	0,00

*Qj = Índice de classificação

Fonte: Autora (2024).

Nesse sentido, a partir dos indicadores analisados e da aplicação do método, observa-se que as microrregiões Espinharas e Alto Piranhas apresentaram valores próximos, quase empatando na dimensão de capacidade adaptativa. Esse resultado mostra que essas microrregiões enfrentam maiores deficiências em termos de investimentos voltados ao saneamento básico.

Os baixos valores observados podem ser explicados, em grande parte, pela insuficiência de recursos destinados à infraestrutura. Por exemplo, o IAIS nas microrregiões Espinharas e Alto Piranhas somaram R\$ 14 milhões, o montante ainda é inferior ao valor investido na microrregião Borborema, que foi de R\$ 43 milhões em 2022.⁸ Quando se comparam o número

⁷ PDV: População em domicílios vulneráveis; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; RD: Razão de dependência

⁸ IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento

de municípios das microrregiões, o total de municípios das microrregiões Alto Piranhas e Espinharas é 84, o mesmo da microrregião Borborema. Além disso, a população dessas duas microrregiões soma 862.358 habitantes, enquanto a microrregião Borborema conta com 1.255.918 habitantes. Apesar dessa diferença de aproximadamente 400.000 habitantes, a discrepância nos investimentos ainda é considerável, destacando a necessidades de uma distribuição mais equitativa nos recursos, levando em consideração tanto as necessidades específicas dos municípios quanto o número de habitantes de cada microrregião.

Ademais, o número reduzido de Planos e Conselhos Municipais de Saneamento nessas regionais dificulta o acesso a verbas federais destinadas ao setor, conforme destaca Lisboa *et al.* (2013). Na microrregião Alto Piranhas, apenas doze municípios possuem PMSB, enquanto na microrregião Espinharas são dezesseis municípios que dispõem de PMSB. No caso dos CMSB, apenas quatro municípios, somando as duas microrregiões, dispõem desse recurso.

Outro fator que contribui para a baixa capacidade adaptativa é a escassez de QPSS. Na microrregião Alto Piranhas, há apenas 7.857 profissionais, enquanto na microrregião Espinharas são 10.623, números insuficientes para atender as demandas das populações locais, que somam 422.454 habitantes em Alto Piranhas e 439.904 em Espinharas. A ausência desses profissionais aumenta a vulnerabilidade da população, especialmente daquelas que necessitam de acompanhamento técnico e orientação. Vale ressaltar que, além de realizarem intervenções práticas, esses profissionais desempenham um papel fundamental na educação e conscientização da população, especialmente em domicílios vulneráveis onde, muitas vezes, os moradores não tiveram acesso à educação básica e carecem de informações adequadas de saneamento.⁹

Em contraste, as microrregiões Borborema e Litoral apresentaram uma situação favorável na dimensão de Capacidade Adaptativa. Os bons resultados mostram que houve investimentos significativos no setor de saneamento nessas regionais, sendo R\$ 43 milhões na Borborema e R\$ 61 milhões no Litoral. No entanto, é importante analisar os municípios individualmente, uma vez que os dois maiores municípios do estado estão inseridos nessas microrregiões, o que pode “mascarar” os resultados gerais e sobrepor a situação real dos pequenos municípios que compõem essas microrregiões, ocultando suas vulnerabilidades.

⁹ PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento

Por fim, a Tabela 16 mostra o ranking do IVES, permitindo identificar as microrregiões mais e menos vulneráveis com base nas dimensões analisadas. Os valores revelam que Espinharas é a microrregião mais vulnerável entre as quatro analisadas. O valor zero atribuído à Borborema não implica na ausência de vulnerabilidade, apenas indica que ela ocupa a posição menos crítica no ranking. Além disso, foi possível mapear a vulnerabilidade das microrregiões a partir do ranking do IVES, conforme ilustrado na Figura 10.

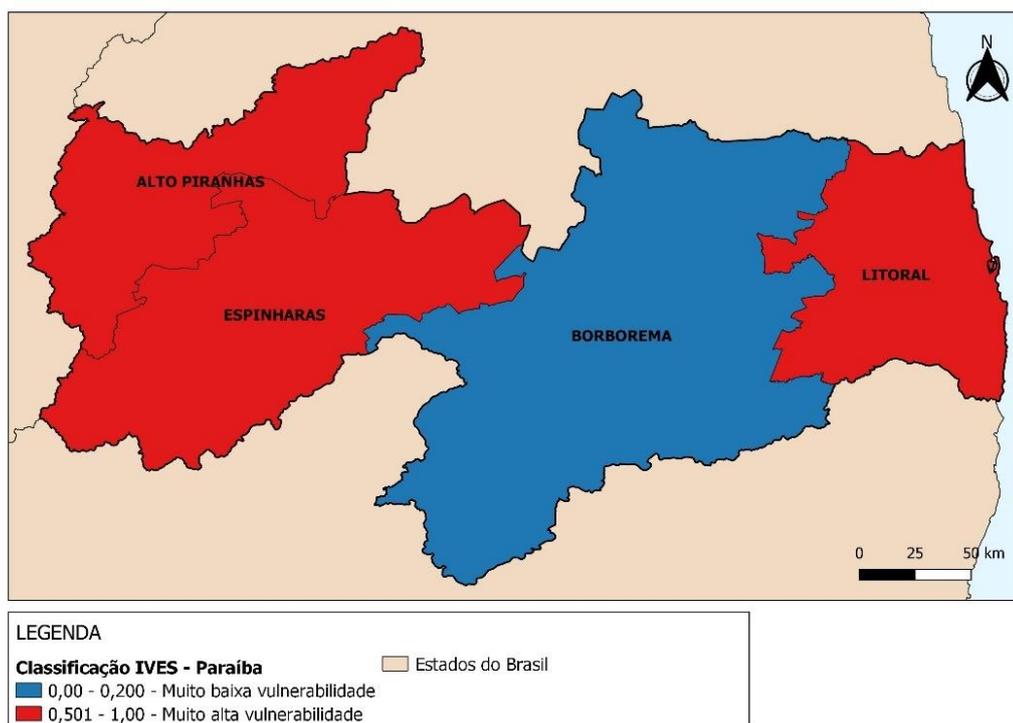
Tabela 16 – Ranking das microrregiões para o IVES

Ranking	Microrregião	Qj* - IVES
1°	Espinharas	1,00
2°	Litoral	0,75
3°	Alto piranhas	0,67
4°	Borborema	0,00

*Qj = Índice de classificação

Fonte: Autora (2024).

Figura 10 – Mapa da vulnerabilidade nas microrregiões do estado da Paraíba.



Fonte: Autora (2024).

Para compreender melhor a dinâmica em relação à vulnerabilidade calculada, deve-se considerar as particularidades dos municípios que compõem cada microrregião. Isso inclui, por exemplo, identificar se os municípios mais vulneráveis estão entre os de maior ou menor porte, uma análise indispensável para discutir a vulnerabilidade de forma aprofundada. Nesse sentido, o próximo tópico irá abordar uma análise mais detalhada das microrregiões.

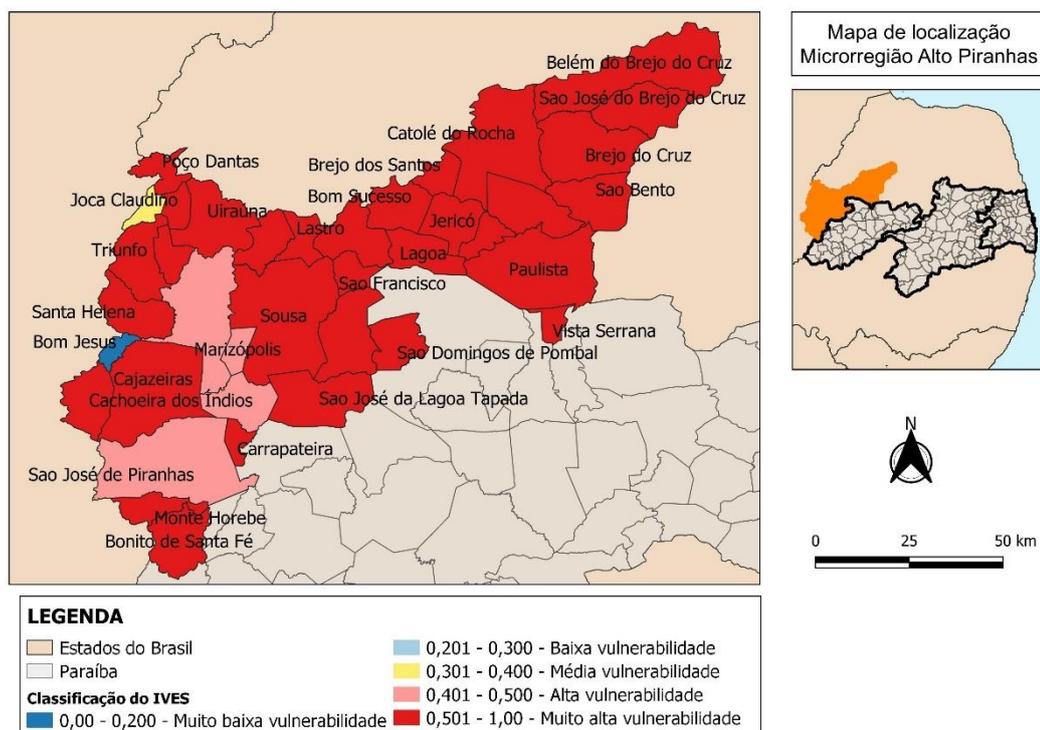
6.4 ANÁLISE DO IVES POR MICRORREGIÕES

Com base na classificação do IPEA para o IVS (2015), que categoriza a vulnerabilidade entre “muito baixa” e “muito alta”, foi possível elaborar mapas para visualizar espacialmente a distribuição da vulnerabilidade no estado. Os mapas foram elaborados utilizando o software QGIS. Para uma análise mais detalhada, as microrregiões serão examinadas de forma individual, com foco nas fragilidades e potencialidades dos municípios.

6.4.1 Alto Piranhas

Na Figura 11, observa-se a distribuição espacial da vulnerabilidade nos municípios da microrregião Alto Piranhas. Nenhum município foi classificado com “baixa vulnerabilidade”. Apenas o município de Bom Jesus foi classificado como “muito baixa vulnerabilidade”, seguido por Joca Claudino com “vulnerabilidade média”. São José de Piranhas, São João do Rio do Peixe, Marizópolis e Nazarezinho foram classificados com “alta vulnerabilidade”, enquanto os demais 32 municípios da microrregião apresentaram “muita alta vulnerabilidade”.

Figura 11 – Mapa da vulnerabilidade na microrregião Alto Piranhas



Fonte: Autora (2024).

A partir desses resultados pode-se destacar os municípios de Sousa e Cajazeiras, os maiores da microrregião, com populações de 67.259 e 63.239 habitantes, respectivamente. Sousa, classificado com “muito alta vulnerabilidade”, reflete essa condição devido aos altos

índices. O município registrou 205 casos de DRSAI em 2022, além de 1.171 pessoas vivendo em domicílios vulneráveis e uma razão de dependência de 45,95%. Esses fatores aumentam significativamente a vulnerabilidade do município. Além disso, os indicadores de capacidade adaptativa, que poderiam mitigar esse cenário, são deficientes. Sousa não possui PMSB nem CMSB, ferramentas essenciais para o planejamento e execução de ações no setor.

De maneira semelhante, Cajazeiras apresenta indicadores preocupantes que elevam sua vulnerabilidade. Em 2022, foram registrados 55 casos de DRSAI e 1.140 pessoas vivendo em domicílios vulneráveis. O município também enfrenta desafios relacionados aos impactos ambientais decorrentes do esgotamento sanitário inadequado, bem como à ocorrência de secas frequentes, fatores que intensificam os riscos e agravam a vulnerabilidade. No entanto, Cajazeiras se destaca positivamente na capacidade adaptativa, sendo o município da microrregião que mais recebeu investimentos no setor de saneamento (IAIS), totalizando mais de R\$ 2 milhões. Além disso, possui a maior QPSS, com 1.932. Contudo, a ausência de PMSB e CMSB compromete o planejamento integrado do saneamento básico no município.

Um ponto relevante é que todos os municípios da microrregião com menos de 10 mil habitantes foram classificados com “muito alta vulnerabilidade”, exceto Bom Jesus. Ao todo, 27 municípios de pequeno porte apresentaram essa classificação. A análise dos indicadores desses municípios mostra que 71% dos municípios possuem um ISA superior a 50%, evidenciando as fragilidades em relação à cobertura de rede de esgoto. Além disso, os indicadores de susceptibilidade também apresentaram resultados críticos, com a PPRD acima de 50% nesses municípios, bem como a RD e PDV com valores significativos.

Um exemplo é o município de Poço de José de Moura, com uma população de 4 mil habitantes, onde mais da metade da população está fora da idade ativa (RD). O município possui uma PPRD de 49,44%, com quase metade da população vivendo com menos de meio salário mínimo. Esses fatores aumentam as condições de susceptibilidade e risco, contribuindo para a alta vulnerabilidade local.

Outro município que merece destaque é Paulista, com 11.834 habitantes, que recebeu apenas R\$ 607,39 em investimentos para infraestrutura de saneamento em 2022, segundo o SINISA (2023). O município também não dispõe de PMSB ou CMSB, além de apresentar indicadores de risco e susceptibilidade elevados, como 60% da população vivendo com renda

inferior a meio salário mínimo, um ISA de 34,3% e 3% dos domicílios ainda sem banheiro ou sanitário.¹⁰

Por outro lado, Bom Jesus, com 2.286 habitantes, foi classificado com “baixa vulnerabilidade”, destacando-se como o município com melhores condições na microrregião. Entretanto, os dados apresentam uma aparente controvérsia. Embora o ISA seja elevado (98,48%), indicando que a maioria dos domicílios não possuem coleta e tratamento de esgoto, os indicadores TRE e TBS apontam que as taxas de rede de esgoto inadequada são relativamente baixas. Essa discrepância, levanta questionamentos sobre a consistência das informações preenchidas pelos municípios.

Ainda assim, o município apresenta aspectos positivos em termos de susceptibilidade e capacidade adaptativa, como a inexistência de TMM5, além de Bom Jesus ser um dos doze municípios da microrregião que possuem PMSB e dispor CMSB, instrumentos que contribuem significativamente para a redução da vulnerabilidade.

É importante destacar que, em muitos municípios de pequeno porte, a maioria da população reside na zona rural, onde as condições de saneamento são ainda mais precárias e de difícil acesso. Lima, Mamede e Lima Neto (2018) afirmam em seus estudos que 95% da população rural não possui banheiros ou conta apenas com fossas rudimentares. Isso ajuda a explicar os elevados índices de ausência de atendimento de esgoto nesses municípios. Além disso, Pereira *et al.* (2024) mostra que a maioria das pessoas que vivem na zona rural apresenta baixa escolaridade, baixa renda, menor acesso a serviços de saúde e maior vulnerabilidade a fatores de risco, o que justifica os altos índices de PPRD e de PDV.¹¹

6.4.2 Espinharas

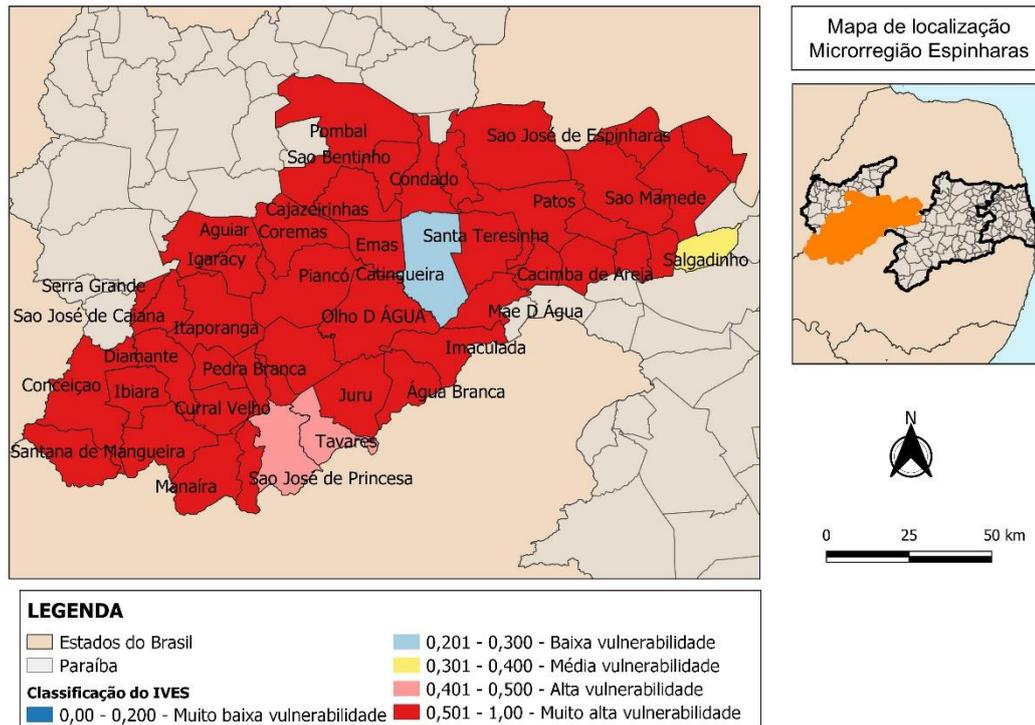
Ao analisar os resultados obtidos da classificação da vulnerabilidade dos municípios da microrregião Espinharas (Figura 12), observa-se que nenhum município foi classificado com “muito baixa vulnerabilidade”. Apenas Catingueira apresentou “baixa vulnerabilidade”,

¹⁰ DRSAl: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; ISA: Índice sem atendimento; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; RD: Razão de dependência; PDV: População em domicílios vulneráveis

¹¹ ISA: Índice sem atendimento; TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; PDV: População em domicílios vulneráveis.

seguido por Salgadinho com “média vulnerabilidade”. Já Princesa Isabel e Tavares foram classificados com “vulnerabilidade alta”, enquanto os demais 42 municípios foram classificados com “muito alta vulnerabilidade”, sendo Diamante o mais vulnerável entre eles. A partir das análises dos indicadores utilizados para compor essa classificação, algumas considerações importantes podem ser destacadas.

Figura 12 - Mapa da vulnerabilidade na microrregião Espinharas



Fonte: Autora (2024).

Catingueira se destacou como o município menos vulnerável da microrregião. Alguns dados explicam essa classificação, como o pequeno percentual de TRE e TBS, o baixo registro de DRSAI, além da ausência OIA e OS4. O município também não apresentou TMM5 em 2022. Apesar de ser um município pequeno, com 4.491 habitantes, recebeu mais de R\$ 1 milhão em IAIS em 2022 e conta com um CMSB, pontos determinantes para reduzir sua vulnerabilidade. No entanto, o município apresenta desafios, como a insuficiente proporção de QPSS, com aproximadamente 50 habitantes para cada profissional, o que compromete a capacidade de garantir a qualidade dos serviços e a assistência adequada às necessidades da população. Além disso, indicadores como RD e PPRD também são elevados, com valores superiores a 50%,

evidenciando que uma parcela significativa da população vive em condições econômicas desfavoráveis, ressaltando a necessidade de intervenções mais efetivas nesse setor.¹²

O município de Salgadinho, com 3.355 habitantes, foi classificado com “média vulnerabilidade”, o que o coloca em uma posição de alerta. Mais de 5% dos seus domicílios não possuem banheiro ou sanitário (TBS), representando cerca de 160 residências em condições inadequadas, e 54,11% da população não tem acesso a rede de esgoto (TRE). Esses índices aumentam a exposição ao risco e refletem a precariedade da infraestrutura de saneamento. Além disso, 70,14% dos moradores sobrevivem com menos de meio salário mínimo. O baixo investimento em saneamento (IAIS), com apenas R\$ 834,00 aplicados em 2022, e a inexistência de um PMSB evidenciam a carência de planejamento e de ações efetivas voltadas ao saneamento. Apesar disso, indicadores de saúde mostraram aspectos positivos, como a ausência de TMM5 e de casos de DRSAI em 2022, segundo o DATASUS. Contudo, esses dados não são suficientes para reverter o cenário de vulnerabilidade.

Patos, o maior município da microrregião, com 103.165 habitantes, também foi classificado com “muito alta vulnerabilidade”. Apesar de receber mais de R\$ 800 mil em investimentos no setor de saneamento em 2022 e contar com uma proporção razoável de profissionais por habitante (28), mais de 90% da população não é atendida por esgotamento sanitário (ISA), segundo dados do Atlas Esgoto. O município também apresentou OIA e enfrentou OS4, reflexo de sua localização no sertão paraibano. Além disso, 56% dos moradores vivem com menos de meio salário mínimo (PPRD), e a ausência do PMSB e CMSB compromete o desenvolvimento e a gestão integrada do saneamento.

Outro município de destaque é Pombal, o segundo maior da microrregião, com 34.473 habitantes, classificado com “muito alta vulnerabilidade”. Apesar de possuir o PMSB, a ausência de um CMSB e os baixos investimentos no setor de saneamento (R\$ 24 mil em 2022) limitam a eficácia das ações. Embora os indicadores de infraestrutura, como TRE, TBS e ISA, sejam relativamente baixos, os índices de susceptibilidade permanecem altos, com 54,93% de

¹² TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; OS4: Ocorrência de secas nos últimos 4 anos; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento; RD: Razão de dependência; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo.

PPRD, 47,86% de RD e 623 pessoas vivendo em domicílios vulneráveis (PDV), evidenciando a necessidade de melhorias na gestão e planejamento.¹³

É importante destacar que algumas verbas destinadas aos municípios são condicionadas à existência de PMSB. O PMSB permite identificar as prioridades, definir projetos e ações para melhorar a qualidade desses serviços. A ausência desse instrumento na maioria dos municípios da microrregião demonstra fragilidades significativas nesse setor, contribuindo para o aumento de sua vulnerabilidade. Souza e Pereira (2022) ressaltam a importância do PMSB como ferramenta essencial para aprimorar as condições sanitárias dos municípios.

Com relação ao menor município da microrregião, Quixabá, também foi classificado com “muito alta vulnerabilidade”. Apesar dos baixos índices de TRE (0,35%), TBS (0,35%) e ISA (14,53%) e de dispor de PMSB, o município não conta com CMSB, além dos baixos investimentos no setor de saneamento (R\$ 38 mil) e uma QPSS insuficiente (51 pessoas), o que compromete a eficiência dos serviços prestados no município. Além disso, mais da metade da população de Quixabá vive com renda inferior a meio salário mínimo (56,52%) e 46,22% da população está fora da idade ativa (RD), fatores que aumentam a susceptibilidade da população a situações de vulnerabilidade.

Por fim, observa-se que apenas Passagem, Santa Inês, Itaporanga e São Mamede apresentaram PPRD inferior a 50%, o que indica que grande parte da população da microrregião enfrenta condições econômicas desfavoráveis. Contudo, mesmo nesses municípios, a vulnerabilidade geral é elevada, evidenciando que a combinação de múltiplos fatores contribui para essa classificação. A prevalência de condições econômicas desfavoráveis nos municípios da microrregião impede muitas vezes que a população tenha acesso adequado aos serviços de saneamento, levando muitas pessoas a viver em moradias sem rede de esgoto ou com ligações irregulares de água, o que agrava a exposição a situações de risco e, conseqüentemente, aumenta a vulnerabilidade da população.¹⁴

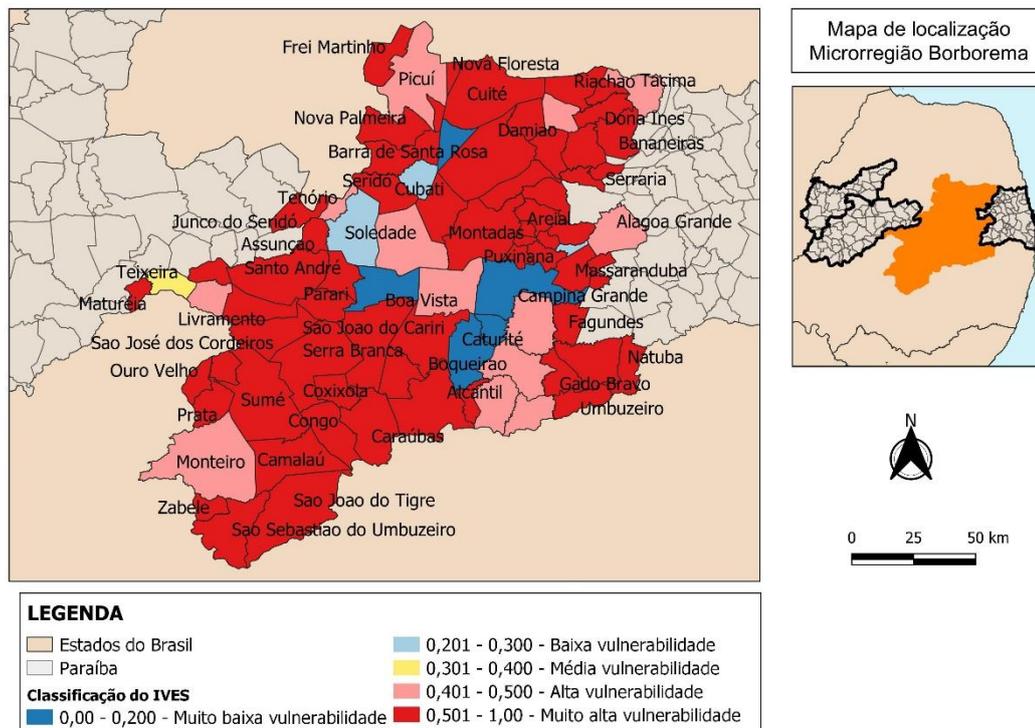
¹³ PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; ISA: Índice sem atendimento; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; RD: Razão de dependência.

¹⁴ TRE: Taxa de domicílios sem rede de esgoto; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; ISA: Índice sem atendimento; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento; RD: Razão de dependência.

6.4.3 Borborema

A Figura 13 apresenta a classificação da vulnerabilidade dos municípios da microrregião Borborema. Dentre os 84 municípios analisados, cinco foram classificados como de “muito baixa vulnerabilidade” (Campina Grande, Boqueirão, Caturité, Gurjão e Sossego), enquanto três apresentaram “baixa vulnerabilidade” (Juazeirinho, Cubati e Matinhas). Apenas Teixeira obteve classificação de “média vulnerabilidade”, enquanto treze municípios classificados como de “alta vulnerabilidade” e 62 como de “muito alta vulnerabilidade”. A lista completa das classificações está disponível em Apêndice B.

Figura 13 - Mapa da vulnerabilidade na microrregião Borborema



Fonte: Autora (2024).

Campina Grande, o segundo maior município do estado, com 419.349 habitantes, destacou-se positivamente, sendo classificado como de “muito baixa vulnerabilidade”. O município apresentou bons resultados em todos os indicadores analisados, com um ISA de 12,19% (um dos menores da microrregião) e a menor TBS da região, de apenas 0,05%. Embora o número de DRSAl seja o maior da microrregião (345 casos), ele é proporcionalmente baixo em relação à população. Além disso, não foram registrados OIA, e os indicadores de susceptibilidade, como PPRD (33,88%), foi o menor da microrregião e TMM5 de 1,73%, reforçando a eficácia das ações de saúde infantil no município. Apesar dos avanços, indicadores

como RD, com 43,77% de pessoas fora da idade ativa, e PDV, com 4.592 pessoas vivendo em domicílios vulneráveis, ainda demandam atenção. Em termos de capacidade adaptativa, o município recebeu mais de R\$ 5 milhões em investimentos no setor de saneamento em 2022, conta com 12.246 QPSS e possui PMSB. Contudo, a ausência de um CMSB ainda limita a participação pública e a transparência nas ações de saneamento.¹⁵

No outro extremo, Parari, com apenas 1.720 habitantes, foi classificado como de “muito alta vulnerabilidade”. Apesar de apresentar bons índices em cobertura de esgoto (ISA de 14,6% e TBS de 0,78%) e ausência de registros de DRSAI, esses resultados não foram suficientes para reduzir sua vulnerabilidade. Parari enfrenta grandes limitações econômicas: 65,43% da população vive com menos de meio salário mínimo e a RD é de 51,94%, refletindo baixa circulação econômica e um cenário de estagnação. Além disso, não foram realizados investimentos em saneamento em 2022 (IAIS), e o município não possui PMSB nem CMSB, evidenciando a falta de planejamento para integrar os serviços de saneamento. Essa carência reflete diretamente nas condições de vida da população, comprometendo a saúde, a educação e as perspectivas de desenvolvimento econômico.

Um ponto crítico é o município de Barra de São Miguel, classificado como o mais vulnerável da microrregião, com uma população de 5.906 habitantes. O município apresentou deficiências expressivas em todas as dimensões analisadas. Na dimensão de risco, o ISA foi de 93,32%, indicando uma baixa cobertura de rede de esgoto, apesar de o indicador TRE registrar apenas 0,14%, revelando possíveis inconsistências nos dados informados. Além disso, Barra de São Miguel, enfrentou episódios de secas nos últimos quatro anos, intensificando a vulnerabilidade da população em relação à escassez de água. Nos indicadores de susceptibilidade, a TMM5 alcançou 100%, e os valores de RD (50,51%) e PPRD (51,67%) destacam as fragilidades socioeconômicas e de saúde. A capacidade adaptativa do município também se mostrou insuficiente, com ausência de PMSB e CMSB e investimentos em saneamento de apenas R\$ 48 mil em 2022. Esses dados ressaltam a gravidade da situação no município e a alta exposição da população local a condições de vulnerabilidade.

O município de Boqueirão, de pequeno porte e com 17.598 habitantes, apresentou alguns aspectos positivos relacionados à vulnerabilidade. Em 2022, foram registrados apenas 9

¹⁵ ISA: Índice sem atendimento; TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; RD: Razão de dependência; PDV: População em domicílios vulneráveis; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico.

casos de DRSAl, e as taxas de cobertura da rede de esgoto se mostraram satisfatórias, com ISA de 30,58% e TBS de 0,3%, além de não apresentar OIA.¹⁶ No entanto, os indicadores de susceptibilidade apontam algumas fragilidades, especialmente considerando a TMM5 de 10%. Além disso, 48,93% da população está fora da idade ativa (RD), 51,85% vive com menos de meio salário mínimo (PPRD), e 304 pessoas residem em domicílios vulneráveis (PDV). O município também não dispõe de PMSB e CMSB. Apesar disso, os investimentos no setor de saneamento foram significativos, somando mais de R\$ 6 milhões em 2022. Esse montante pode ser justificado pela presença do principal reservatório que abastece 20 municípios do estado, localizado em Boqueirão, o que atrai recursos destinados para garantir a infraestrutura necessária para o abastecimento contínuo. Além disso, o município conta com uma QPSS expressiva, composta por 357 profissionais. Embora Boqueirão apresente uma classificação relativamente favorável, isso não significa que esteja isento de vulnerabilidades. Observa-se uma carência de participação pública no planejamento do saneamento, refletida na ausência do CMSB. Além disso, a vulnerabilidade econômica é significativa, considerando que mais da metade da população vive com menos de meio salário mínimo por mês.

Por fim, dos 84 municípios que compõem a microrregião Borborema, apenas trinta possuem PMSB e somente seis contam com CMSB. Assim como observado nas outras microrregiões já analisadas, há uma expressiva carência desses instrumentos em grande parte dos municípios, comprometendo o planejamento e a execução de ações no setor de saneamento.

É importante destacar a relevância desses instrumentos para garantir a universalização e o acesso adequado aos serviços de saneamento, que têm impactos diretos no bem-estar social. O acesso a esses serviços promove, por exemplo, melhorias no desempenho escolar e profissional, contribui para o crescimento econômico e melhora os índices de educação (ITB, 2021; 2024). Além disso, estudo realizado por Almeida *et al.* (2024) comprovam que investimentos no setor reduzem os custos com saúde. Contudo, os dados desta pesquisa mostram que essa realidade está distante para muitos municípios da microrregião Borborema.

No que se refere às DRSAl, 68 municípios da microrregião registraram casos dessas enfermidades, que poderiam ser evitadas com serviços adequados de saneamento. Além disso,

¹⁶ TBS: Taxa de domicílios sem banheiro e sem sanitário; ISA: Índice sem atendimento; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; DRSAl: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; RD: Razão de dependência; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; PDV: População em domicílios vulneráveis.

36 municípios não apresentaram dados de IAIS, o que agrava ainda mais a situação, uma vez que a falta de recursos para melhorar a infraestrutura reflete diretamente na qualidade de vida da população.¹⁷

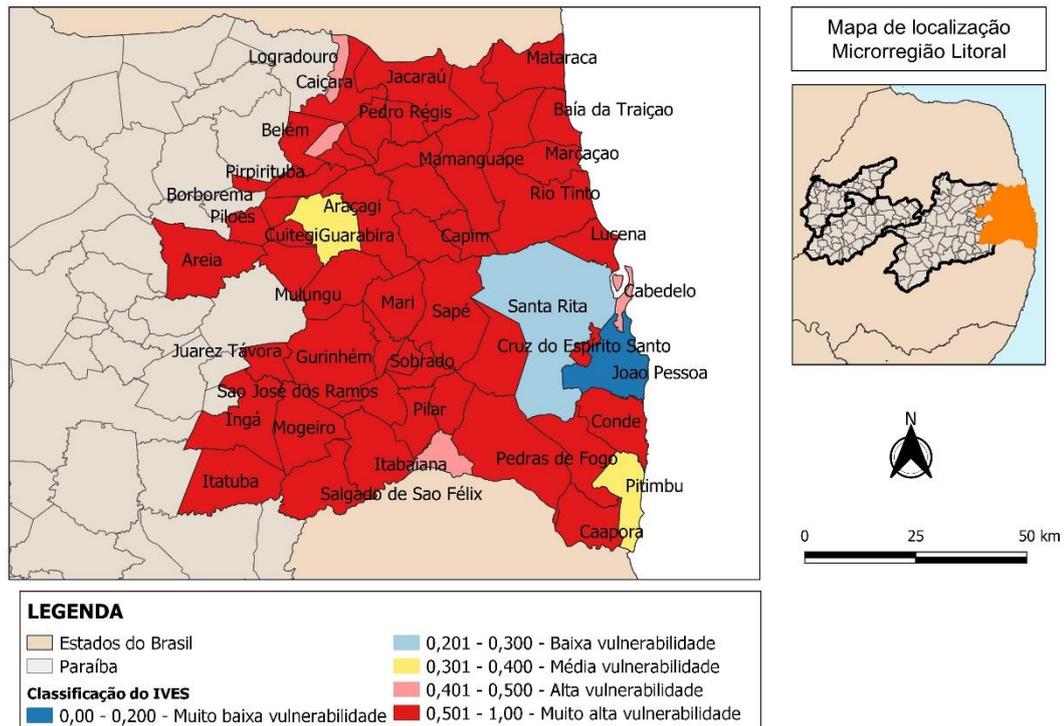
Por fim, é importante destacar que, embora a microrregião apresente um resultado favorável em relação à vulnerabilidade, a análise por município relevou que essa “baixa vulnerabilidade” foi mascarada pelos municípios com os melhores índices, como Campina Grande e Boqueirão. Dessa forma, a microrregião não está isenta de vulnerabilidades. Os dados indicam que a microrregião Borborema ainda enfrenta desafios significativos no setor, especialmente no que diz respeito a garantia de acesso a serviços de qualidade e em quantidade suficiente para toda a população.

6.4.4 Litoral

A Figura 14 apresenta os resultados da análise de vulnerabilidade na microrregião Litoral. Observa-se que apenas um município, João Pessoa, foi classificado como de “muito baixa vulnerabilidade”. Em seguida, Santa Rita foi classificado como de “baixa vulnerabilidade”. Já Guarabira e Pitimbu apresentaram classificação de “média vulnerabilidade”, enquanto Cabedelo, Logradouro, Juripiranga e Serra da Raiz foram classificados como de “alta vulnerabilidade”. Os demais 47 municípios da microrregião foram classificados como de “muito alta vulnerabilidade”, com Pilar sendo o mais crítico. Esses resultados permitem identificar as principais fragilidades e potencialidades de cada município.

¹⁷ PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento; DRSAL: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado.

Figura 14 - Mapa da vulnerabilidade na microrregião Litoral



Fonte: Autora (2024).

O município de Pilar, com uma população de 12.311 habitantes, destacou-se na análise por sua classificação como de “muito alta vulnerabilidade”. Essa classificação pode ser atribuída às deficiências observadas em todas as dimensões avaliadas. Na dimensão de risco, o ISA foi de 76,01% indicando uma baixa cobertura da rede de esgoto e um grande desafio para alcançar a universalização do saneamento. Apesar de terem sido registrados apenas dois casos de DRSAI, esse dado isolado não reflete um atendimento adequado dos serviços de saneamento, considerando os outros indicadores. Na dimensão de susceptibilidade, constatou-se que 72,10% da população possuem renda igual ou inferior a meio salário mínimo, o que corresponde a mais de 8 mil habitantes em situação de vulnerabilidade econômica. A RD foi de 49,97%, indicando que quase metade da população está fora da idade ativa, o que reflete um alto índice de dependência econômica. No que diz respeito a capacidade adaptativa, Pilar não dispõe de instrumentos fundamentais, como o PMSB e o CMSB. Além disso, os investimentos na infraestrutura de saneamento foram baixos, totalizando apenas R\$ 6 mil em 2022. Esses fatores evidenciam o cenário de elevada vulnerabilidade do município.

Outro exemplo crítico é Sobrado, que possui 8.236 habitantes e apresentou uma classificação de “muito alta vulnerabilidade”. Os indicadores justificam essa classificação, pois o município apresentou o pior ISA da microrregião, com um índice de 99,43%. Na dimensão

de susceptibilidade, os indicadores também são preocupantes, com uma RD de 49,85% e uma PPRD de 68,24%, evidenciando que grande parte da população enfrenta vulnerabilidade econômica.

Esses números refletem a realidade de municípios de pequeno porte, onde as condições econômicas limitadas resultam em uma população que, em sua maioria, apenas “sobrevive” com baixos rendimentos, perpetuando um ciclo de estagnação econômica e poucas oportunidades de emprego (Sulzbach, 2012; Marisco, 2018).

No que diz respeito a capacidade adaptativa, a situação é igualmente preocupante visto que, Sobrado não possui um PMSB nem um CMSB. Além disso, o município recebeu os menores investimentos destinados a infraestrutura de saneamento da microrregião, totalizando apenas R\$ 633,28 em 2022. Essa ausência de investimentos compromete não apenas a melhoria dos serviços de saneamento, mas também a qualidade de vida da população.¹⁸

Entre os municípios menos vulneráveis, João Pessoa se destaca como o único classificado com “muito baixa vulnerabilidade”, o que representa um resultado positivo, especialmente por ser a capital do estado. Com uma população de 833.932 habitantes, João Pessoa apresenta uma condição singular no estado, pois de acordo com o Atlas Esgoto o ISA foi de 0%. Além disso, o município registrou os menores índices de PPRD (23,66%) e uma TMM5 de 2,33%, evidenciando a eficácia das ações voltadas à saúde infantil. Contudo, o número de PDV ainda é de 5.453, um dado relativamente elevado que reflete a situação econômica de muitos municípios do estado. A RD de 42% também mostra uma proporção considerável de crianças e idosos dependentes. No que diz respeito a capacidade adaptativa, João Pessoa apresentou os melhores indicadores da microrregião, sendo o único município com CMSB e um dos dezesseis com PMSB. Os investimentos na infraestrutura de saneamento também são expressivos, com o IAIS totalizando mais de R\$ 34 milhões em 2022 e a QPSS de 22.910 profissionais. Esses fatores colocam João Pessoa como o município menos vulnerável não apenas na microrregião, mas de todo o estado. No entanto, o município ainda enfrenta desafios e não pode negligenciar os projetos voltados para o setor de saneamento. Como João Pessoa está em constante expansão, é fundamental que as iniciativas e investimentos

¹⁸ ISA: Índice sem atendimento; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; RD: Razão de dependência; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico.

acompanhem seu crescimento, garantindo melhorias contínuas na infraestrutura de saneamento e, conseqüentemente, na qualidade de vida de sua população.

Santa Rita, o segundo maior município da microrregião, com uma população de 149.910 habitantes, foi classificado como de “baixa vulnerabilidade”. Essa classificação pode ser explicada, em parte, pela ausência de casos de OIA e OS4, além de indicadores como a TBS, que foi de 0,2%, e a TRE, de 0,76%. Entretanto, os dados mostram algumas inconsistências. O ISA, por exemplo, é de 78,11%, o que indica que uma parcela significativa da população não tem acesso à rede de esgoto. Além disso, foram registrados 139 casos de DRSAI, um número elevado, considerando que essas doenças poderiam ser evitadas com um acesso adequado aos serviços de saneamento. Os indicadores de susceptibilidade também não apresentam resultados favoráveis, revelando que 1.840 pessoas residem em domicílios vulneráveis (PDV), 65,19% da população vive com renda de até meio salário mínimo (PPRD), e 45,06% das pessoas estão fora da idade ativa (RD). Quanto à capacidade adaptativa, o município recebeu investimentos superiores a R\$ 11 milhões em 2022, o que representa um bom aporte financeiro para sua infraestrutura de saneamento. Entretanto, Santa Rita ainda não conta com um PMSB nem com um CMSB, o que compromete a gestão e o planejamento a longo prazo.¹⁹

Esses dados mostram que a análise da vulnerabilidade deve ser feita de forma detalhada e considerando as especificidades de cada município. No caso de Santa Rita, mesmo com a classificação de “baixa vulnerabilidade”, ainda há muitos fatores que deixam a população em situação de vulnerabilidade, o que ressalta a necessidade de intervenções direcionadas e mais eficazes para reduzir essas vulnerabilidades.

De forma geral, observa-se que a microrregião do Litoral ainda enfrenta algumas deficiências, especialmente em termos de capacidade adaptativa. Apenas um município dispõe de CMSB, e os maiores volumes de investimentos concentram-se nos municípios mais populosos. Essa concentração acaba prejudicando os municípios de pequeno porte, que sofrem com a falta de recursos adequados, o que, por sua vez, aumenta sua vulnerabilidade. Embora seja compreensível que os municípios maiores demandem investimentos mais elevados devido à sua infraestrutura mais ampla, é fundamental garantir que os municípios menores também

¹⁹ ISA: Índice sem atendimento; OIA: Ocorrência de impactos ambientais; DRSAI: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado; OS4: Ocorrência de secas nos últimos 4 anos; PDV: População em domicílios vulneráveis; RD: Razão de dependência; TMM5: Taxa de mortalidade em menores de 5 anos; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; PMSB: Plano municipal de saneamento básico; CMSB: Conselho municipal de saneamento básico; IAIS: Investimento anual em Infraestrutura de Saneamento; QPSS: Quantidade de profissionais de saúde e saneamento

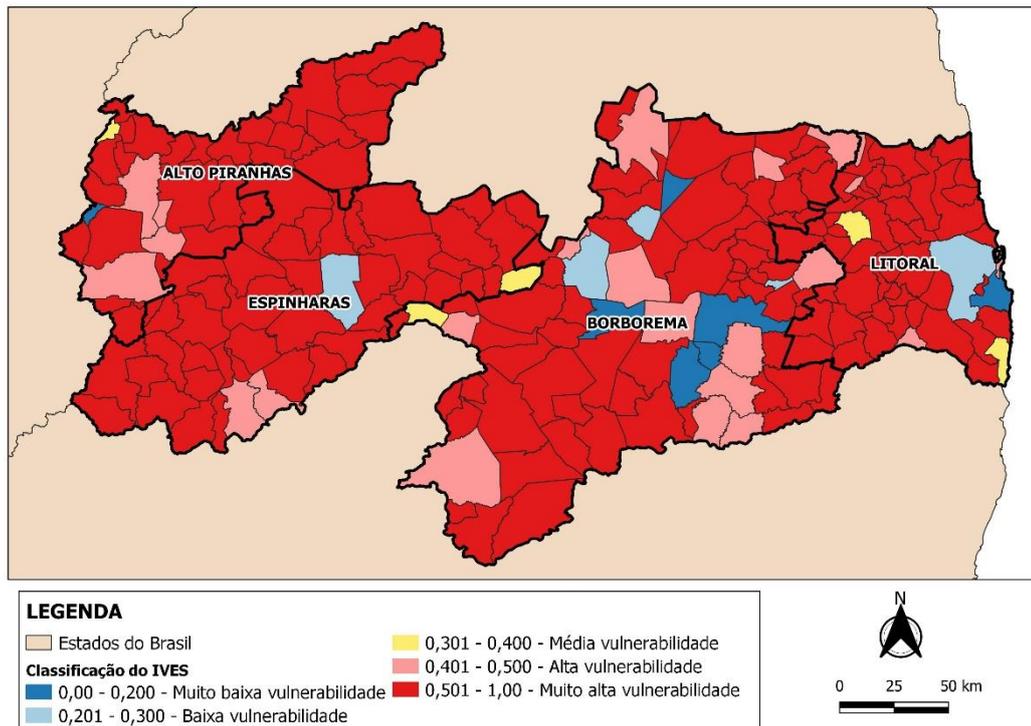
ofereçam serviços de qualidade a população, atendendo as necessidades de todos. Além disso, grande parte da população não atendida reside na zona rural, onde o acesso a rede de esgoto ainda é limitado (Salvador; Frigo, 2022). Para enfrentar essa desigualdade, é necessário um planejamento mais eficiente que permita a expansão dos serviços de esgotamento sanitário para as áreas rurais, assegurando uma cobertura mais inclusiva e equitativa.

Por fim, esses resultados mostram como os diferentes setores estão interligados. A questão do esgotamento sanitário vai além da implantação de redes de esgoto ou construção de fossas sépticas nas zonas rurais. Trata-se de um conjunto de ações que impactam diretamente o cotidiano das pessoas. Em muitas localidades ainda há residências sem banheiros, o que configura uma realidade preocupante que precisa ser transformada. Além disso, a ausência de saneamento adequado agrava problemas de saúde pública, com doenças que são transmitidas por água contaminada ou por vetores, e que poderiam ser evitadas por meio de uma infraestrutura apropriada. Assim, a melhoria de um único setor, como o saneamento, pode desencadear uma série de benefícios em outros setores, promovendo uma melhoria geral na qualidade de vida da população.

6.4.5 Comparativo entre as microrregiões

O último mapa da análise (Figura 15), apresenta a classificação do IVES dos municípios do estado da Paraíba. Ao analisar o mapa, observa-se que a maioria dos municípios se concentra na classificação de “muito alta vulnerabilidade”, com um total de 183 municípios nessa categoria. Destaca-se a microrregião Espinharas, na qual 91% dos municípios estão classificados na situação mais desfavorável de vulnerabilidade. Essa classificação reflete as particularidades da microrregião, que enfrenta desafios relacionados à seca. Dos 46 municípios da microrregião, 39 apresentaram dados de ocorrência de secas, o que é justificável pela localização da regional no semiárido, que agrava a escassez hídrica. Além disso, a microrregião apresenta apenas dezesseis município com PMSB, uma média de 46% de domicílios sem acesso a esgotamento sanitário adequado e elevados índices socioeconômicos negativos, como a RD e o PPRD, ambos superiores a 50%.

Figura 15 – Mapa da vulnerabilidade nos municípios da Paraíba



Fonte: Autora (2024).

Em relação à classificação de “alta vulnerabilidade”, 23 municípios do Estado foram identificados nessa categoria, sendo 13 localizados na microrregião Borborema. As principais fragilidades observadas nessa microrregião estão na dimensão de susceptibilidade, com cerca de 60% da população vivendo em condições econômicas desfavoráveis, além de mais de 22 mil habitantes residindo em domicílios vulneráveis. Entre os municípios dessa microrregião, destaca-se Teixeira, que apresentou elevados índices de DRS²⁰, com 18% dos casos totais da microrregião concentrados neste município, que possui apenas 14.631 habitantes. Esses dados ressaltam a necessidade de melhorias nos serviços de saneamento, uma vez que a ausência desses serviços favorece a propagação de bactérias, vírus, parasitas e, conseqüentemente, contribui para o aumento das taxas de DRS²⁰ (Silva *et al.*, 2024).

No que se refere a classificação de “média vulnerabilidade”, apenas cinco municípios se enquadraram nesta categoria: Bernardino Batista, em Alto Piranhas; Teixeira, em Borborema; Salgadinho, em Espinharas; e Guarabira e Pitimbu, no Litoral. É importante destacar que, entre esses municípios, apenas Guarabira é de médio porte, enquanto os demais possuem populações variando entre 3 mil e 15 mil habitantes.

²⁰ RD: Razão de dependência; PPRD: Porcentagem de pessoas com renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo; DRS²⁰: Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado.

A classificação de “baixa vulnerabilidade” foi atribuída a apenas cinco municípios, sendo que, na microrregião Alto Piranhas nenhum município foi classificado assim. Já nas microrregiões Espinharas e Litoral, apenas um município de cada regional foi classificado com baixa vulnerabilidade: Catingueira e Santa Rita, respectivamente e na microrregião Borborema, os municípios classificados nessa categoria foram Juazeirinho, Cubati e Matinhas.

A classificação de Santa Rita pode ser explicada por sua localização na região metropolitana de João Pessoa, que atrai um maior volume de investimentos. Esse fator, aliado à sua população de 149.910 habitantes, contribui para diminuição de sua vulnerabilidade.

Por outro lado, Catingueira, um município de pequeno porte, foi classificado com baixa vulnerabilidade. Um aspecto interessante é sua proximidade com Patos, o maior da microrregião Espinharas, que, teoricamente deveria atuar como um polo regional, com melhores condições e investimentos. Entretanto Patos apresentou muito alta vulnerabilidade. Esse contraste entre os dois municípios, com Catingueira, um município menor, obtendo uma classificação mais favorável, sugere que a vulnerabilidade não está unicamente associada ao porte populacional ou à proximidade de grandes centros urbanos.

Por fim, no que se refere à classificação de “muito baixa vulnerabilidade”, o estudo revela que as microrregiões ainda apresentam grandes deficiências. Na microrregião Alto Piranhas, apenas o município de Bom Jesus foi classificado dessa forma, enquanto na microrregião Espinharas nenhum município obteve essa classificação. No Litoral, apenas a capital João Pessoa obteve a classificação de muito baixa vulnerabilidade, enquanto na microrregião Borborema, destacaram-se cinco municípios: Campina Grande, Boqueirão, Caturité, Gurjão e Sossego. É importante observar que João Pessoa e Campina Grande, com mais de 100 mil habitantes, são os únicos municípios de maior porte classificados com “muito baixa vulnerabilidade”. Isso evidencia que o tamanho do município não é determinante para a vulnerabilidade, pois vários municípios grandes apresentaram baixos índices de atendimento de esgoto e fragilidades nos indicadores socioeconômicos.

Ademais, esse panorama geral permitiu visualizar que as microrregiões Espinharas e Litoral se mostraram as mais deficientes, concentrando a maior parte dos municípios com altos índices de vulnerabilidade. Este quadro evidencia a fragilidade dessas regionais em termos de serviços de saneamento, que também se relaciona com situação socioeconômica e a saúde da população. A proximidade entre as microrregiões Espinharas e Borborema, sendo que essa última apresentou melhores resultados em termos de vulnerabilidade, levanta um questionamento sobre a divisão dessas microrregiões. A Borborema conta com 84 municípios,

enquanto Espinharas possui 46, o que sugere que a divisão poderia ser mais equilibrada, garantindo uma distribuição mais justa e eficiente dos recursos. Isso é essencial para que os investimentos cheguem aos municípios mais necessitados, contribuindo para o alcance da universalização do acesso ao saneamento, conforme estabelece a Lei nº 14.026/2020, que busca garantir o acesso a esses serviços em todas as regiões, tanto nas zonas urbanas quanto rurais.

Finalmente, a aplicação do IVES no contexto dos municípios paraibanos possibilitou a identificação dos principais desafios, bem como a proposição de algumas sugestões para mitigar as condições de maior criticidade (Quadro 2).

Quadro 2 – Principais desafios e possíveis sugestões para a redução da vulnerabilidade das microrregiões.

Subíndice	Desafios	Sugestões
Risco	Aproximadamente 53% da população não dispõe de rede de esgoto.	Programas de saneamento: Apoiar iniciativas como as da Funasa e do BNDES que desempenham um papel essencial no avanço do saneamento.
	Grande incidência de DRSAl, especialmente em pequenos municípios.	Infraestrutura: Investir na melhoria do sistema de esgotamento sanitário já existente. Capacitação e monitoramento: Treinar agentes de saúde para identificar e agir em casos de despejo de esgoto a céu aberto, além de promover campanhas de conscientização junto à população.
Susceptibilidade	Cerca de 61 mil pessoas residem em domicílios vulneráveis.	Melhoria habitacional: Investir em moradias com instalações sanitárias adequadas.
	57% da população possui renda per capita igual ou inferior a meio salário mínimo.	Capacitação profissional: Buscas apoio da União para a ofertas de cursos de capacitação, aumentando a qualificação e as oportunidades de emprego.
Capacidade adaptativa	67% dos municípios não possuem PMSB.	Implementação do PMSB: Estimular os municípios a elaborar o PMSB, condição essencial para acesso a recursos específicos.
	Investimentos financeiros são mal distribuídos entre os municípios.	Planejamento regional: Melhorar o planejamento e a repartição dos investimentos para garantir acesso equitativo aos recursos evitando desigualdades regionais.

Fonte: Autora (2024).

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

A criação do Índice de Vulnerabilidade à Deficiência do Esgotamento Sanitário (IVES) permitiu a integração de diversos indicadores em um único valor representativo, viabilizando uma análise abrangente da vulnerabilidade sob três dimensões: risco, susceptibilidade e capacidade adaptativa. Dessa forma, foi possível avaliar os impactos da ausência de esgotamento sanitário sobre a sociedade.

A pesquisa demonstrou que o uso de indicadores constitui uma ferramenta essencial para apoiar gestores na elaboração de políticas públicas e na definição de estratégias. A aplicação do índice baseado em indicadores permitiu um diagnóstico mais detalhado das condições das microrregiões analisadas, bem como das necessidades e capacidades municipais, resultando em uma ferramenta eficiente para diagnosticar a realidade do setor e, conseqüentemente, fornecer informações qualificadas para a tomada de decisões.

No que tange ao alcance dos objetivos específicos, conclui-se que a utilização de métodos estatísticos para seleção e ponderação dos indicadores fortaleceu a robustez da metodologia adotada. A inclusão de indicadores ambientais, socioeconômicos e técnicos proporcionou uma visão mais representativa da realidade do esgotamento sanitário no estado da Paraíba. Ademais, a aplicação da Entropia de Shannon na ponderação dos indicadores mostrou-se fundamental para minimizar subjetividades, garantindo parâmetros confiáveis para a análise.

A aplicação do Método de VIKOR para classificação da vulnerabilidade das microrregiões e municípios demonstrou coerência com os resultados do IVES, atendendo às expectativas da pesquisa. Os resultados evidenciaram que a classificação dos municípios reflete fielmente os indicadores selecionados, sendo um reflexo direto das condições locais.

Os resultados mostraram que, dos 223 municípios paraibanos, 183 apresentaram vulnerabilidade muito alta. O município mais vulnerável foi Diamante, devido aos altos índices de inadequação dos serviços de esgotamento sanitário, à elevada taxa de pobreza e à escassez de investimentos no setor. Por outro lado, apenas 7 municípios do Estado apresentaram vulnerabilidade muito baixa, sendo João Pessoa a situação mais favorável. Assim, conclui-se que a vulnerabilidade não se limita às deficiências na infraestrutura sanitária, mas também reflete desigualdades socioeconômicas e a ausência de um planejamento eficaz por parte dos gestores.

A microrregião considerada prioritária para a formulação de políticas públicas foi Espinharas, devido ao seu alto nível de criticidade. Um aspecto relevante observado foi a fragilidade dos municípios com população entre 50 e 150 mil habitantes, que, apesar do porte relativamente maior, apresentaram condições precárias semelhantes às dos pequenos municípios com até 10 mil habitantes.

No que se refere às dimensões da vulnerabilidade analisadas, constatou-se que o principal problema com relação a dimensão de risco é a precariedade ou ausência dos serviços de esgotamento sanitário, expondo a população a elevados riscos de contaminação e comprometendo sua qualidade de vida. Em relação à susceptibilidade, é imprescindível investir em melhorias nas condições habitacionais e sanitárias, bem como em estratégias que favoreçam o desenvolvimento econômico das comunidades mais vulneráveis. Quanto à capacidade adaptativa, destaca-se a necessidade de intensificar os esforços dos gestores para aprimorar a prestação dos serviços de esgotamento sanitário, assegurando melhorias na saúde pública e na qualidade de vida da população. Essas três dimensões estão interligadas, de modo que avanços em uma delas podem impactar positivamente as demais.

Para a aplicação do IVES em outros contextos, destaca-se a importância da periodicidade dos dados. Uma das principais limitações desta pesquisa foi a dificuldade de acessar informações recentes em escala municipal, especialmente para pequenos municípios.

Acredita-se que a metodologia e os dados gerados por esta pesquisa possam fornecer subsídios para a elaboração de políticas públicas voltadas à redução da vulnerabilidade das populações mais desfavorecidas, além de contribuir para a ampliação dos estudos sobre o tema. A identificação das microrregiões que apresentam simultaneamente alta vulnerabilidade socioeconômica, demográfica e sanitária é essencial para direcionar ações estratégicas e promover melhorias na qualidade de vida das populações mais afetadas.

7.2 RECOMENDAÇÕES

Diante da amplitude do tema, há diversos aspectos que não foram incorporados nesta pesquisa e que podem ser explorados em estudos futuros, contribuindo para a expansão do conhecimento na área. Sugere-se, portanto, para pesquisas futuras:

- Empregar outras metodologias para a ponderação e classificação dos indicadores, possibilitando comparações e análises mais abrangentes;
- Adaptar e aplicar a metodologia desenvolvida em diferentes estados que características semelhantes às do estado analisado;

- Expandir a metodologia para investigar a vulnerabilidade considerando os demais eixos do saneamento básico;
- Incluir novos indicadores para fortalecer a construção do índice e aumentar a precisão dos resultados;
- Comparar os resultados obtidos com dados primários (obtidos em contato com a população e em análises técnicas de campo), a fim de garantir maior veracidade e confiabilidade dos resultados gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário (NBR 9648). Rio de Janeiro: 1986.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **SIG-Plano**. Paraíba, 2021. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/sig-plano/page3.html>>. Acesso em: jun. 2024.

ALCÂNTARA, V.S.; STRAUCH, J.C.M; AJARA, C. Metodologia para análise da vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso na macrorregião da Costa Verde. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 65, n. 3, p. 555-570, 2013.

ALEGRE, H.; MATOS, R.; NEVES, E. B.; CARDOSO, A.; DUARTE, P. **Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. [S. l.]: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2007.

ALMEIDA, H. V. D. de; BRITO, E. M. M.; SILVA, J. de O. Análise da contribuição do programa de melhorias sanitárias domiciliares (MSD) da FUNASA na redução do quantitativo de domicílios sem banheiro ou sanitário no estado da Bahia. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 36–47, 2022. DOI: 10.9771/gesta.v0i1.46921.

ALMEIDA, I. R. **Análise de vulnerabilidade à carência de esgotamento sanitário e sua gestão em municípios do Rio Grande do Sul**. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ALMEIDA, L. Vulnerabilidade social aos perigos ambientais. **Revista da ANPEGE**, [S. l.], v. 6, n. 06, p. 151–176, 2017. DOI: 10.5418/RA2010.0606.0010. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/6583>. Acesso em: jul. 2024.

ALMEIDA, S. B. S.; OLIVEIRA, P. J.; SOUZA, A. M. N.; SOUZA, I. L. L. 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**, 2024. DOI:10.34119/bjhrv7n2-090.

ALMEIDA, T. M.; TEIXEIRA, A. C. O.; OLIVEIRA, V. P. V.; COSTA, C. A. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do rio

das Pedrinhas-BA. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, A. P. de A.; FÉLIX, A. C. T.; BARBOSA, D. L.; BRANDÃO, I. A. de P.; PAZ, M. A. de F.; DA CRUZ, S. G. Análise da relação do Índice de Segurança Hídrica com indicadores socioeconômicos em microrregiões de água e esgoto, no Estado da Paraíba, Brasil. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 840–861, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n1-043. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1944>. Acesso em: abr. 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: Informe Anual. Brasília: ANA, 2019.

APOLLONIO, C.; ROSE, M. D.; FIDELIBUS, C.; ORLANDUCCI, L. Water management problems in a karst flood-prone endorheic basin. **Environmental Earth Sciences (Journal)**, 2018. v. 77, pp. 676.

ARRAIS, M. N. **Uma contribuição para a gestão sustentável do tratamento de esgoto sanitário urbano de Juazeiro do Norte – CE**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024.

BALKEMA, A. J.; PREISIG, H. A.; OTTERPOHL, R.; LAMBERT, A. J. D. Developing a Model Based Decision Support Tool for the Identification of Sustainable Treatment for Domestic Wastewater. *Water Science and Technology*. **Elsevier**, v. 43, n. 7, p. 265-269, 2021.

BARRETO, J., FEITOSA, P., ANJOS, K. e VELEZ, W. Análise da regionalização do saneamento: Cenários hídricos e (in)sustentabilidade econômico-financeira das microrregiões de água e esgoto da Paraíba. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021.

BERNARDO, C. C. **Sustentabilidade econômica de um serviço de água e esgoto (S.A.E) – uma análise crítica**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

BEZERRA, A. B.; FREIRE, K.; GURGEL, H.; RAMALHO, W. M. Dinâmica espacial de nascidos vivos e óbitos infantis nas regiões de saúde do Distrito Federal em 2012. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, Uberlândia, v. 13, n. 26, p. 126–138, 2017. DOI: 10.14393/Hygeia132610.

BEZERRA, S. T. M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J. E. S. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 249-258, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Doenças infecciosas e parasitárias**: guia de bolso / Ministério da Saúde,

Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – 4. ed. ampl.– Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 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. [S. l.], 2005.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei n. 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, 2007. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: fev. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 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. [S. l.], 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). **Fundação Nacional de Saúde. Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares** - Funasa / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. **Lei Federal 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, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 126 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrôpole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, 2020a. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). **Departamento de Informática do SUS (DATASUS).** Book das realizações de 2019 a 2020: A estrada para a transformação digital do SUS, de 01 de maio de 2020b.

CAMARGO, D. M.; SOUZA, N. M.; PACHECO, T. C. K. F.; ALCÂNTARA, G. C. Modelagem geoespacial para identificação de áreas vulneráveis ao contágio por doenças relacionadas a falta de saneamento: o caso da região metropolitana de Campinas. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, n. 3, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n3-44349.

CARDONA, O.D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. **Mapping Vulnerability, Disasters, Development and People**. London: Earthscan, 2004. p. 37-51.

CARMO, E.; FIORE, I. A.; BORBA, Y. T. Indicadores, riscos e vulnerabilidades. Seminário de vigilância Socioassistencial. **Secretaria de Desenvolvimento Social**, Governo do estado de São Paulo, São Paulo, 2018.

CARVALHO, T. M.; SILVA, S. M. O.; ARAÚJO, C. B.; FROTA, R.; XAVIER, L. C.; BEZERRA, B.; ALMEIDA, E.; SOUZA FILHO, F. A. S. Índice de vulnerabilidade à COVID-19: uma aplicação para a cidade de Fortaleza (CE), Brasil. **Eng. Sanit Ambient**, v. 26, n. 4, p. 731-739, 2021.

CATOLICO, A. C. C.; STRAUCH, J. Bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: índice sintético de diferenças socioespaciais. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 4, n. 9, p. e5675, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N9-046. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/5675>. Acesso em: nov. 2024.

CHATTERJEE, P.; CHAKRABORTY, S. A comparative analysis of VIKOR method and its variants. **Decision Science Letters**, [S. l.], p. 469-486, 2016.

CONSTANTINO, R. H.; FREITAS, N. J. P.; ROSA, A. A. S.; RIBEIRO, K. C. de S. Impactos do Endividamento em Moeda Estrangeira em Companhias Brasileiras de Capital Aberto Não Financeiras. **Revista de Contabilidade da UFBA**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. e2137, 2023. DOI: 10.9771/rcufba.v16i1.47377.

CONTENTE, E. C. M. de S. **Matriz de convergência para a sustentabilidade amazônica: das condições socioculturais ao esgotamento sanitário**. 2020. Tese (Doutorado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Programa de Pós-Graduação em Sociedade e Cultura na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

COSTA, A. M. **Análise Histórica do Saneamento no Brasil**. 1994. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fiocruz, Rio de Janeiro, 1994.

COSTA, M. A. A Construção da Plataforma Atlas da Vulnerabilidade Social e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). **Medidas de desigualdades no Brasil: Implicações nas políticas sociais e de saúde**, 2020.

COSTA, T. G. N. **Crescimento demográfico e saneamento básico nas capitais regionais do Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

DA SILVA, T.; KAMIMURA, Q. P.; DE OLIVEIRA, A. L. O indicador renda e trabalho nos municípios do Maranhão a partir do índice de vulnerabilidade social. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 11, p. 20114–20132, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n11-083.

DARONCO, G. C. **Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DATASUS. Ministério da Saúde. **Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS**. [S. l.], 2022. Disponível em: < <https://datasus.saude.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2024.

DATASUS. Ministério da Saúde. **Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS**, 2024. Disponível em: < <https://datasus.saude.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2024.

DEGENHART, L.; VOGT, M.; HEIN, N.; HEIN, A. K. Ranking do desempenho de mercado do grupo brics: estudo multicritério a partir do método MOORA e VIKOR. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2017. **Anais [...]**. Blumenau, 2017.

FERREIRA, Y. B. C. **Proposição de um índice de vulnerabilidade humana à insuficiência de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a experiência do estado da Paraíba**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

FIOCRUZ. Pesquisa mapeia causas de internações por diarreia infantil. **Ciência e saúde pela vida**. [S. l.], 03 jan. 2023. Disponível em: < <https://portal.fiocruz.br/noticia/pesquisa-mapeia-causas-de-internacoes-por-diarreia-infantil>>. Acesso em: fev. 2024.

FONSECA, E. S. **Estudo da distribuição espacial de parasitoses e condições de saneamento básico para o município de Ouro Preto/MG, com o apoio do geoprocessamento**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FONTOURA, V. M.; GRAEP-FONTOURA, I; SANTOS, F. S.; SANTOS NETO, M.; TAVARES, H. S. A.; BEZERRA; M. O. L.; FEITOSA, M. O.; NEVES, A. F.; MORAIS, J. C. M.; NASCIMENTO, L. F. C. Socio-environmental factors and diarrheal diseases in under five-year old children in the state of Tocantins, Brazil. **PLoS ONE**. 2018; 13(5): e0196702, 2018.

FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 5. ed., 545p. Brasília: Funasa, 2019.

FUNASA. Ministério da Saúde. Plano Municipal de Saneamento Básico. **Cadernos temáticos saneamento básico: Esgotamento sanitário**. [S. l.], jun. 2016.

FUNDACE – Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia. **Estudo Técnico da Regionalização do Saneamento Básico na Paraíba**. São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

GUIMARÃES, R. M.; RODRIGUES, C. I.; ASMUS, C. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. A. Acesso ao saneamento básico e internação por doença diarreica aguda: um estudo da vulnerabilidade infantil. **Rev salud ambiente**, v. 13, p. 22-29, 2013.

HAESBAERT, F. M. **Testes de multicolinearidade em variáveis morfológicas e produtivas de tomaterio**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022. Resultados gerais da amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Desastres naturais: 59,4% dos municípios não têm plano de gestão de riscos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos>>. Acesso em: set. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Em 150 anos, conheça a história que o Censo conta**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/33495-em-150-anos-conheca-a-historia-que-o-censo-counta#:~:text=Fundado%20em%201936%2C%20o%20IBGE,operacionalizar%20o%20Censo%20de%201940.>>. Acesso em: jul. 2024

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mesorregião e Microrregião Geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais – MUNIC**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em jul. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisas de Informações Básicas Municipais – MUNIC. Munic: mais da metade dos municípios brasileiros não tinha plano de saneamento básico em 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em:<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22611-munic-mais-da-metade-dos-municipios-brasileiros-nao-tinha-plano-de-saneamento-basico-em-2017>>. Acesso em: jun. 2024.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Delimitação do Semiárido Paraibano**, 2024.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **O semiárido brasileiro**. Disponível em: < <https://www.gov.br/insa/pt-br/semi-arido-brasileiro>>. Acesso em: set. 2024.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: technical summary**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros**. Editores: COSTA, M. A.; MARGUTI, B. O. Brasília: IPEA, 2015, 77 p.

ITB – Instituto Trata Brasil. **Nordeste vai despejar mais de meio milhão de piscinas olímpicas de esgoto sem tratamento até o fim do ano**. [S. l.], 03 dez. 2024. Disponível em: < <https://tratabrasil.org.br/nordeste-meio-milhao-piscinas-olimpicas-esgoto/>>. Acesso em: jan. 2025.

ITB. Instituto Trata Brasil. **Dia do Trabalho: veja como a falta de saneamento impacta a vida dos trabalhadores**. [S. l.], 2021. Disponível em: < <https://tratabrasil.org.br/dia-do-trabalho-veja-como-a-falta-de-saneamento-impacta-a-vida-dos-trabalhadores/>>. Acesso em: abr. 2024.

ITB. Instituto Trata Brasil. **Principais estatísticas saúde**. [S. l.], 2021. Disponível em: < <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/saude/>>. Acesso em: jun. 2024.

ITB. Instituto Trata Brasil. **Principais estatísticas**. [S. l.], 2022. Disponível em: < <https://tratabrasil.org.br/>>. Acesso em: jun. 2024.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, Lúcia. C.; ALVES, D. S.; FERREIRA, Leila. C.. Risk, Vulnerability and Adaptation to climate change: an interdisciplinary approach. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 93–116, abr. 2016.

JANNUZZI, P. **Indicadores sociais no Brasil – conceitos, fontes de dados e aplicações**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2001.

JOHNSON, R. A.; BHATTACHARYYA, G. K. *Statistics: principles and methods*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009.

KEUNECKE, L.; HEIN, N.; KROENKE, A. Avaliação de insumos por meio do método VIKOR – um estudo multicriterial na indústria têxtil. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto de Galinhas, 2015. **Anais [...]**. Porto de Galinhas: 2015.

LEITE, A. N.; BRANCHI, B. A. Vulnerabilidade econômica e o direito à água: o caso dos municípios da Agência Reguladora ARES-PCJ/SP. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. 2029–2046, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.5-004.

LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; LIMA NETO, I. E.. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 125–135, jan. 2018.

LIMA, C. F. L.; ASSIS, F. M. de; SOUZA, C. P. Árvores de decisão baseadas nas entropias de Shannon, Rényi e Tsallis para sistemas tolerantes a intrusão. **La Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática**, Orlando, 2010.

LISBOA, S. S.; HELLER, L.; SILVEIRA, R. B.. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 341–348, out. 2013.

LOPES, M. de M.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. *TRANSPORTES*, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013. DOI: 10.4237/transportes.v21i1.566.

LUCENA, R. L. **Proposta de modelo de regionalização para os serviços de saneamento básico: marco regulatório da Lei nº14.026/2020**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação Em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grade, 2024.

MAGOSSI, J. C.; ABREU, P. H. C.; BARROS, A. C. C.; PAVIOTTI, J. R. A medida de informação de Shannon: Entropia. *Revista Brasileira de História da Matemática*, v. 21, n. 41, p. 45-72, 2021.

MALTA, F.S.; COSTA, E.M.; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22 n. 12, p. 3933-3944, 2017.

MARISCO, L. M. de O. A elaboração de planos diretores em cidades pequenas: reflexões sobre os limites e perspectivas ao desenvolvimento local. *Revista Contexto Geográfico*, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 41–52, 2018. DOI: 10.28998/contegeo.2i3.6132. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/6132>. Acesso em: nov. 2024.

MIRANDA, A. B. **Sistemas Urbanos De Água E Esgoto: princípios e indicadores de sustentabilidade**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

NASCIMENTO JUNIOR, S. **Análise das correlações entre as métricas de avaliação de desempenho de classificadores multirrótulo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2020.

NASCIMENTO, L. S. **Perfil fisiológico e cinemático de cadeirantes basquetebolistas durante um teste intermitente incremental**. 2020. Dissertação (Mestrado em Saúde, Sociedade e Endemias na Amazônia) – Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Endemias na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

NOGUEIRA, R. **Vulnerabilidade social e risco socioambiental no território: uma análise a partir dos centros de referência de assistência social em Ponta Grossa/PR**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Aplicadas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

OLIVEIRA, A. C. **Qualidade de vida no trabalho e satisfação profissional: estudo de caso em uma instituição de ensino público federal**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

OLIVEIRA, J. P. M., OLIVEIRA, J. M. O., BARRETO, E. S. SILVA, S. S. da, & SILVA, S.S. da; MARACAJÁ, P. B. Saúde/Doença: As Consequências da Falta de Saneamento Básico. **INTESA – Informativo Técnico do Semiárido**, Pombal, v.9, n 2, p 23-29, Jun –Dez, 2015.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. [S. l.], 2015 Disponível em:< <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: fev. 2024.

OPRICOVIC, S. TZENG, G. Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 16, p. 445-455, 2004.

ORIGUELA, L. A. **Estudo da influência de eventos sobre a estrutura do mercado brasileiro de ações a partir de redes ponderadas por correlações de Pearson, Spearman e Kendall**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação Administração de Organizações. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

PAIVA, R. F. DA P. DE S.; SOUZA, M. F. DA P. DE. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 11, 2018.

PARAÍBA. **Lei Complementar nº 168, de 22 de junho de 2021**. Institui as Microrregiões de Água e Esgoto do Alto Piranhas, do Espinharas, da Borborema e do Litoral e suas respectivas estruturas de governança. Paraíba: 2021. Disponível em: < <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-infraestrutura-e-dos-recursos-hidricos/arquivos/LEICOMPLEMENTAR1682021MICRORREGIOESPARAIBA.pdf>>. Acesso em: set. 2024.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Governo do Estado da Paraíba. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2022.

PARAÍBA. **Resolução nº 08, de março de 2010**. Estabelece critérios de metas progressivas obrigatórias de melhoria de qualidade de água para fins de outorga para diluição de efluentes em cursos de água de domínio do Estado da Paraíba. Paraíba: 2010. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2017/07/Resolu%C3%A7%C3%A3o-N%C2%BA-08-de-01-de-mar%C3%A7o-de-2010-CERH.pdf>>. Acesso em: jan. 2025.

PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Sumário executivo: **Base Científica das Mudanças Climáticas: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: PBMC, 2013.

PEREIRA, J. A.; DAMASCENO, R. F.; VIEIRA, M. R. M.; PAULA, A. M. B.; PINTO, R. S.; LEAL, D. L.; HAIKAL, D. S. Avaliação de indicadores sociais e de saúde em municípios de Minas Gerais conforme tipologia rural-urbano. **Saúde em Debate**, v. 48, n. 140, p. e8449, 2024.

PIRES, A. L. **Análise da vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas do litoral sul paraibano**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico. Ministério da Saúde. Funasa. **Plano municipal de saneamento básico: Produto C**. Campina Grande: UFCG, 2021.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil**. [S. l.], 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/>>. Acesso em: set. 2024.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Desenvolvimento Humano e IDH**. [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://www.undp.org/pt/brazil/idh>>. Acesso em: jun. 2024.

RIBEIRO, M. D. A. V., CRUZ, S. G., RUFINO, I. A. Análise da segurança hídrica na microrregião de água e esgoto da borborema na Paraíba. In: XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: 2023.

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

SALVADOR, N. N. B.; FRIGO, F. Alternativas sustentáveis para esgotamento sanitário de residências e Assentamentos Rurais. **Revista Retratos de Assentamentos**, v. 25, n 1, p. 29, 2022.

SANCHES, A. B. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de esgotos sanitários: uma proposta metodológica**. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SANTOS, B. M. **Cadeira de suprimentos: avaliação para seleção de fornecedores verdes em um hospital universitário**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SANTOS, G. R. Estado e Saneamento: Sugestões de apoio à população carente durante e após a pandemia COVID-19. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**. Ministério da Economia. [S. l.], jul. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota_tecnica/200803_nt_dirur_n_18_web.pdf>. Acesso em: nov. 2024.

SANTOS, R. B.; MENEZES, J. A.; CONFALONIERI, U.; MADUREIRA, A. P.; DUVAL, I. B.; GARCIA, P. P.; MARGONARI, C. Construção e aplicação de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do estado do Espírito Santo. **Saúde e Sociedade**, v. 28, n. 1, p. 299-321, 2019.

SCHUMANN, L.M.A.; MOURA, L.B. A. Índices sintéticos de vulnerabilidade: uma revisão integrativa de literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 20, p. 2105-2120, 2015.

SENA, J. P. O.; MORAES NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Índice de Vulnerabilidade Geral para municípios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 310–321, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.1.p310-321. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/247795>. Acesso em: jun. 2024.

SHIELDS, D. J.; SOLAR, S. V.; MARTIN, W. E.; The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. *Ecological indicators*, p. 149 – 160, 2002.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137–148, jul. 2007.

SILVA, A. V. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; CESPEDES, G. H. G. Alternativa de modelo linear para estimação da biomassa verde de *Bambusa vulgaris schrad.* Ex j.c. wendl na existência de multicolinearidade. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 207–214, abr. 2009.

SILVA, J. I. A. O.; DA SILVA, J. M. Lineamientos para la gestión de los recursos hídricos en la región rural semiárida. **Revista Inclusiones**, v. 9, n. 4, p. 136-161, 14 nov. 2022.

SILVA, R. C. *et al.* Evidência empírica da melhoria da infraestrutura de água e esgoto na redução das internações por doenças relacionadas ao saneamento. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, [S. l.], v. 17, n. 9, p. e10415, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.9-108.

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>>. Acesso em: abr. 2024.

SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, p. 1713-1724, 2002.

SOBRAL, A.; FREITAS, C.; PEDROSO, M.; GURGEL, H. Definições básicas: dado, indicador e índice. In: Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011. p. 25-52.

SOUSA, C. F. **Equilíbrio econômico-financeiro na prestação de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no estado da Bahia**. 2018. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SOUZA, A. A. G.; PEREIRA, J. A. R.. Análise do instrumento de planejamento e do desempenho operacional do sistema de abastecimento de água do município de Castanhal. **Revista Tocantinense de Geografia**, [S. l.], v. 11, n. 25, p. 87–103, 2022. DOI: 10.20873/rtg.v11i25.14712.

SULZBACH, M. T.; DENARDIN, V. F.; FELISBINO, J. N. O trabalho em pequenos municípios praianos do litoral do Paraná. **Sociologias Plurais**, [S. l.], n. 1, 2012. DOI:

10.5380/scplpr.v0i1.64795. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/scplpr/article/view/64795>. Acesso em: nov. 2024.

TABOSA, M. C. O. **A correlação entre a cultura, gestão do conhecimento e a sustentabilidade nas organizações**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

TEODORO, A. **Estudo da capacidade de autodepuração de diluição de efluentes no rio Taquarizinho**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologias ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010.

TIRONI, L. F.; SILVA, L. C. E.; VIANNA, S. M; MÉDICI, A. C. **Critérios para geração de indicadores de qualidade e produtividade no serviço público**. Brasília (DF): IPEA, 1991. (Texto para discussão/no. 238). Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1701/1/td_0238.pdf>. Acesso em: jun. 2024.

TOEBE, M. **Não-normalidade multivariada e multicolinearidade em análise de trilha na cultura de milho**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VIEIRA, J. M. de S.; VILLANOVA, L. B.; VALÉRIO FILHO, M.; MENDES, R. M.; GOMES, C. Soluções baseadas na natureza para o esgotamento sanitário: vantagens da implementação de sistemas individuais descentralizados em zonas rurais, favelas e comunidades urbanas. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 7, p. e6021, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n7-225.

VITORINO, E. V.; PINHO NETO, J. A. S. de. Indicadores sociais e de vulnerabilidade social: características e possíveis usos na avaliação da competência em informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 28, p. e42513, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-5344/42513>.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Belo Horizonte, v. 1, 2 ed., Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, T. L. **Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. 2010. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

YU, P. L. A class of solutions for group decision problems. **Management Science**, v. 19, n.8, p. 936-946, 1973.

**APÊNDICE A – VALORES DAS DIMENSÕES E DO IVES PARA OS MUNICÍPIOS
PARAIBANOS**

Microrregião	Município	I_R	I_S	I_{CA}	IVES
Espinharas	Água Branca	0,088	0,014	0,036	0,066
Espinharas	Aguiar	0,186	0,009	0,002	0,193
Borborema	Alagoa Grande	0,066	0,036	0,078	0,023
Borborema	Alagoa Nova	0,091	0,047	0,003	0,135
Litoral	Alagoinha	0,074	0,010	0,002	0,083
Borborema	Alcantil	0,086	0,009	0,063	0,032
Borborema	Algodão de Jandaíra	0,091	0,006	0,000	0,097
Litoral	Alhandra	0,038	0,152	0,035	0,154
Borborema	Amparo	0,076	0,008	0,000	0,084
Alto piranhas	Aparecida	0,115	0,009	0,008	0,116
Litoral	Araçagi	0,057	0,437	0,003	0,492
Borborema	Arara	0,070	0,014	0,004	0,080
Borborema	Araruna	0,062	0,180	0,012	0,230
Litoral	Areia	0,074	0,018	0,017	0,074
Espinharas	Areia de Baraúnas	0,088	0,006	0,000	0,093
Borborema	Areial	0,059	0,008	0,007	0,060
Borborema	Aroeiras	0,097	0,024	0,003	0,118
Borborema	Assunção	0,064	0,000	0,000	0,064
Litoral	Baía da Traição	0,165	0,007	0,002	0,169
Borborema	Bananeiras	0,093	0,024	0,014	0,104
Borborema	Baraúna	0,074	0,008	0,001	0,082
Borborema	Barra de Santa Rosa	0,100	0,016	0,002	0,114
Borborema	Barra de Santana	0,108	0,012	0,064	0,056
Borborema	Barra de São Miguel	0,081	0,840	0,110	0,811
Litoral	Bayeux	0,035	0,037	0,015	0,057
Litoral	Belém	0,035	0,019	0,009	0,046
Alto piranhas	Belém do Brejo do Cruz	0,064	0,010	0,001	0,073
Alto piranhas	Bernardino Batista	0,097	0,007	0,154	-0,050
Espinharas	Boa Ventura	0,104	0,009	0,001	0,111
Borborema	Boa Vista	0,077	0,008	0,059	0,026
Alto piranhas	Bom Jesus	0,085	0,006	0,217	-0,126
Alto piranhas	Bom Sucesso	0,071	0,007	0,001	0,077
Alto piranhas	Bonito de Santa Fé	0,095	0,101	0,001	0,194
Borborema	Boqueirão	0,063	0,096	0,258	-0,099
Litoral	Borborema	0,073	0,008	0,000	0,081
Alto piranhas	Brejo do Cruz	0,123	0,007	0,002	0,128
Alto piranhas	Brejo dos Santos	0,088	0,009	0,001	0,096
Litoral	Caaporã	0,032	0,050	0,004	0,077
Borborema	Cabaceiras	0,062	0,007	0,026	0,043
Litoral	Cabedelo	0,029	0,025	0,083	-0,030

Alto piranhas	Cachoeira dos Índios	0,077	0,007	0,001	0,083
Espinharas	Cacimba de Areia	0,038	0,007	0,001	0,045
Borborema	Cacimba de Dentro	0,080	0,018	0,064	0,034
Borborema	Cacimbas	0,131	0,010	0,032	0,109
Litoral	Caiçara	0,185	0,011	0,002	0,194
Alto piranhas	Cajazeiras	0,194	0,049	0,056	0,187
Espinharas	Cajazeirinhas	0,114	0,007	0,001	0,120
Litoral	Caldas Brandão	0,056	0,008	0,032	0,031
Borborema	Camalaú	0,143	0,010	0,001	0,151
Borborema	Campina Grande	0,085	0,151	0,283	-0,048
Litoral	Capim	0,074	0,010	0,001	0,083
Borborema	Caraúbas	0,081	0,007	0,000	0,088
Alto piranhas	Carrapateira	0,080	0,006	0,000	0,086
Borborema	Casserengue	0,081	0,011	0,032	0,061
Espinharas	Catingueira	0,034	0,008	0,171	-0,129
Alto piranhas	Catolé do Rocha	0,073	0,014	0,007	0,080
Borborema	Caturité	0,056	0,006	0,217	-0,155
Espinharas	Conceição	0,100	0,040	0,005	0,135
Espinharas	Condado	0,224	0,007	0,013	0,217
Litoral	Conde	0,157	0,251	0,094	0,315
Borborema	Congo	0,062	0,009	0,001	0,070
Espinharas	Coremas	0,069	0,014	0,004	0,079
Borborema	Coxixola	0,185	0,007	0,000	0,192
Litoral	Cruz do Espírito Santo	0,029	0,013	0,002	0,041
Borborema	Cubati	0,086	0,011	0,174	-0,077
Borborema	Cuité	0,097	0,015	0,007	0,106
Litoral	Cuité de Mamanguape	0,167	0,012	0,001	0,178
Litoral	Cuitegi	0,212	0,010	0,005	0,216
Litoral	Curral de Cima	0,037	0,008	0,001	0,043
Espinharas	Curral Velho	0,094	0,000	0,000	0,094
Borborema	Damião	0,099	0,010	0,033	0,076
Borborema	Desterro	0,044	0,009	0,063	-0,010
Espinharas	Diamante	0,127	0,841	0,002	0,966
Borborema	Dona Inês	0,168	0,057	0,065	0,160
Litoral	Duas Estradas	0,026	0,008	0,000	0,034
Espinharas	Emas	0,101	0,007	0,006	0,102
Borborema	Esperança	0,056	0,065	0,006	0,115
Borborema	Fagundes	0,083	0,011	0,034	0,061
Borborema	Frei Martinho	0,046	0,005	0,001	0,050
Borborema	Gado Bravo	0,101	0,018	0,005	0,114
Litoral	Guarabira	0,061	0,046	0,126	-0,018
Litoral	Gurinhém	0,097	0,012	0,002	0,107
Borborema	Gurjão	0,063	0,007	0,216	-0,146
Espinharas	Ibiara	0,246	0,012	0,001	0,257
Espinharas	Igaracy	0,081	0,008	0,001	0,088

Espinharas	Imaculada	0,186	0,069	0,033	0,222
Litoral	Ingá	0,086	0,091	0,036	0,141
Litoral	Itabaiana	0,197	0,026	0,071	0,151
Espinharas	Itaporanga	0,066	0,014	0,006	0,074
Litoral	Itapororoca	0,074	0,018	0,033	0,058
Litoral	Itatuba	0,084	0,014	0,009	0,089
Litoral	Jacaraú	0,084	0,018	0,003	0,099
Alto piranhas	Jericó	0,041	0,008	0,001	0,049
Litoral	João Pessoa	0,687	0,179	1,000	-0,134
Alto piranhas	Joca Claudino	0,081	0,008	0,000	0,089
Litoral	Juarez Távora	0,086	0,008	0,033	0,061
Borborema	Juazeirinho	0,093	0,010	0,188	-0,084
Borborema	Junco do Seridó	0,057	0,007	0,001	0,064
Litoral	Juripiranga	0,040	0,011	0,064	-0,012
Espinharas	Juru	0,083	0,064	0,005	0,143
Alto piranhas	Lagoa	0,253	0,009	0,001	0,261
Litoral	Lagoa de Dentro	0,199	0,149	0,001	0,347
Borborema	Lagoa Seca	0,052	0,223	0,033	0,242
Alto piranhas	Lastro	0,130	0,007	0,032	0,106
Borborema	Livramento	0,080	0,291	0,032	0,339
Litoral	Logradouro	0,008	0,007	0,063	-0,048
Litoral	Lucena	0,026	0,218	0,002	0,242
Espinharas	Mãe D Água	0,153	0,006	0,000	0,159
Espinharas	Malta	0,173	0,006	0,001	0,179
Litoral	Mamanguape	0,207	0,030	0,062	0,174
Espinharas	Manaíra	0,134	0,835	0,164	0,805
Litoral	Marcação	0,035	0,421	0,033	0,424
Litoral	Mari	0,034	0,020	0,003	0,051
Alto piranhas	Marizópolis	0,072	0,010	0,063	0,019
Borborema	Massaranduba	0,070	0,156	0,001	0,225
Litoral	Mataraca	0,040	0,842	0,001	0,881
Borborema	Matinhas	0,071	0,003	0,154	-0,080
Alto piranhas	Mato Grosso	0,215	0,005	0,000	0,220
Borborema	Maturéia	0,085	0,008	0,032	0,061
Litoral	Mogeiro	0,222	0,010	0,033	0,199
Borborema	Montadas	0,187	0,008	0,008	0,187
Alto piranhas	Monte Horebe	0,072	0,006	0,000	0,077
Borborema	Monteiro	0,092	0,022	0,076	0,038
Litoral	Mulungu	0,097	0,016	0,001	0,112
Borborema	Natuba	0,100	0,011	0,001	0,110
Alto piranhas	Nazarezinho	0,133	0,009	0,063	0,079
Borborema	Nova Floresta	0,086	0,249	0,002	0,333
Espinharas	Nova Olinda	0,024	0,007	0,001	0,030
Borborema	Nova Palmeira	0,057	0,008	0,001	0,064
Espinharas	Olho D ÁGUA	0,304	0,013	0,001	0,316

Borborema	Olivedos	0,068	0,009	0,000	0,077
Borborema	Ouro Velho	0,093	0,007	0,000	0,099
Borborema	Parari	0,058	0,006	0,031	0,032
Espinharas	Passagem	0,067	0,005	0,000	0,071
Espinharas	Patos	0,202	0,088	0,083	0,206
Alto piranhas	Paulista	0,095	0,008	0,002	0,101
Espinharas	Pedra Branca	0,084	0,006	0,005	0,085
Borborema	Pedra Lavrada	0,064	0,011	0,002	0,073
Litoral	Pedras de Fogo	0,032	0,045	0,005	0,072
Litoral	Pedro Régis	0,083	0,010	0,000	0,092
Espinharas	Piancó	0,214	0,015	0,009	0,220
Borborema	Picuí	0,090	0,020	0,068	0,042
Litoral	Pilar	0,039	0,845	0,002	0,882
Litoral	Pilões	0,087	0,010	0,002	0,095
Litoral	Pilõezinhos	0,091	0,008	0,000	0,099
Litoral	Pirpirituba	0,198	0,013	0,007	0,203
Litoral	Pitimbu	0,036	0,166	0,142	0,060
Borborema	Pocinhos	0,064	0,109	0,034	0,140
Alto piranhas	Poço Dantas	0,216	0,007	0,032	0,191
Alto piranhas	Poço de José de Moura	0,064	0,006	0,008	0,062
Espinharas	Pombal	0,193	0,026	0,069	0,150
Borborema	Prata	0,083	0,005	0,014	0,075
Espinharas	Princesa Isabel	0,101	0,015	0,079	0,036
Borborema	Puxinanã	0,050	0,010	0,001	0,058
Borborema	Queimadas	0,079	0,029	0,055	0,053
Espinharas	Quixabá	0,011	0,005	0,001	0,015
Borborema	Remígio	0,076	0,013	0,002	0,087
Borborema	Riachão	0,071	0,005	0,003	0,074
Borborema	Riachão do Bacamarte	0,072	0,007	0,032	0,048
Litoral	Riachão do Poço	0,082	0,008	0,001	0,090
Borborema	Riacho de Santo Antônio	0,069	0,006	0,032	0,043
Alto piranhas	Riacho dos Cavalos	0,080	0,009	0,000	0,089
Litoral	Rio Tinto	0,029	0,016	0,009	0,036
Espinharas	Salgadinho	0,137	0,007	0,154	-0,010
Litoral	Salgado de São Félix	0,094	0,016	0,033	0,077
Borborema	Santa Cecília	0,107	0,174	0,140	0,141
Alto piranhas	Santa Cruz	0,187	0,009	0,001	0,196
Alto piranhas	Santa Helena	0,072	0,009	0,001	0,080
Espinharas	Santa Inês	0,287	0,006	0,000	0,292
Espinharas	Santa Luzia	0,050	0,018	0,036	0,032
Litoral	Santa Rita	0,043	0,069	0,195	-0,082
Espinharas	Santa Teresinha	0,177	0,009	0,007	0,179
Espinharas	Santana de Mangueira	0,128	0,007	0,001	0,134
Espinharas	Santana dos Garrotes	0,100	0,004	0,006	0,098

Borborema	Santo André	0,094	0,005	0,000	0,099
Espinharas	São Bentinho	0,082	0,007	0,032	0,058
Alto piranhas	São Bento	0,065	0,022	0,019	0,069
Alto piranhas	São Domingos de Pombal	0,063	0,000	0,000	0,063
Borborema	São Domingos do Cariri	0,053	0,006	0,032	0,027
Alto piranhas	São Francisco	0,075	0,000	0,000	0,074
Borborema	São João do Cariri	0,061	0,006	0,001	0,067
Alto piranhas	São João do Rio do Peixe	0,073	0,019	0,066	0,026
Borborema	São João do Tigre	0,206	0,008	0,001	0,214
Alto piranhas	São José da Lagoa Tapada	0,156	0,010	0,063	0,103
Espinharas	São José de Caiana	0,074	0,006	0,007	0,073
Espinharas	São José de Espinharas	0,183	0,007	0,001	0,190
Alto piranhas	São José de Piranhas	0,037	0,013	0,066	-0,017
Espinharas	São José de Princesa	0,182	0,007	0,031	0,158
Espinharas	São José do Bonfim	0,177	0,006	0,000	0,182
Alto piranhas	São José do Brejo do Cruz	0,075	0,005	0,031	0,049
Espinharas	São José do Sabugi	0,045	0,007	0,032	0,020
Borborema	São José dos Cordeiros	0,061	0,009	0,000	0,069
Litoral	São José dos Ramos	0,078	0,011	0,001	0,087
Espinharas	São Mamede	0,047	0,009	0,033	0,023
Litoral	São Miguel de Taipu	0,017	0,011	0,032	-0,005
Borborema	São Sebastião de Lagoa de Roça	0,071	0,012	0,001	0,081
Borborema	São Sebastião do Umbuzeiro	0,237	0,000	0,000	0,237
Litoral	Sapé	0,073	0,083	0,002	0,155
Borborema	Seridó	0,048	0,063	0,043	0,067
Borborema	Serra Branca	0,074	0,015	0,036	0,053
Litoral	Serra da Raiz	0,075	0,007	0,063	0,019
Espinharas	Serra Grande	0,070	0,000	0,000	0,070
Borborema	Serra Redonda	0,065	0,009	0,001	0,073
Borborema	Serraria	0,209	0,011	0,002	0,218
Litoral	Sertãozinho	0,058	0,009	0,002	0,065
Litoral	Sobrado	0,036	0,010	0,001	0,045
Borborema	Solânea	0,080	0,053	0,008	0,124
Borborema	Soledade	0,063	0,069	0,078	0,053
Borborema	Sossêgo	0,074	0,007	0,216	-0,135
Alto piranhas	Sousa	0,074	0,045	0,013	0,107
Borborema	Sumé	0,073	0,022	0,006	0,090
Borborema	Tacima	0,088	0,019	0,065	0,042
Borborema	Taperoá	0,198	0,033	0,036	0,195
Espinharas	Tavares	0,029	0,057	0,057	0,028
Borborema	Teixeira	0,136	0,013	0,142	0,007

Borborema	Tenório	0,210	0,005	0,108	0,106
Alto piranhas	Triunfo	0,076	0,006	0,001	0,081
Alto piranhas	Uiraúna	0,060	0,017	0,034	0,043
Borborema	Umbuzeiro	0,089	0,011	0,007	0,092
Espinharas	Várzea	0,055	0,000	0,002	0,053
Alto piranhas	Vieirópolis	0,089	0,010	0,001	0,098
Alto piranhas	Vista Serrana	0,116	0,008	0,000	0,124
Borborema	Zabelê	0,096	0,005	0,000	0,101

MEMÓRIA DE CÁLCULO

Exemplo de normalização do indicador DRSAI para o município de Água Branca

A normalização do indicador DRSAI foi realizada utilizando a equação a seguir:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

Onde:

- x_{ij} é o valor original do indicador para o município i ;
- $\min(x_j)$ e $\max(x_j)$ são os valores mínimo e máximo do indicador DRSAI;
- p_{ij} é o valor normalizado, variando entre 0 a 1.

Cálculo para o município de Água Branca:

Dado que:

- $x_{ij} = 22$;
- $\min(x_j) = 0$;
- $\max(x_j) = 5424$.

Aplicando na equação:

$$p_{ij} = \frac{22 - 0}{5424 - 0} = 0,0041$$

Portanto, o valor normalizado do indicador DRSAI para o município de Água Branca é **0,0041**.

Esse procedimento foi aplicado de forma semelhante para todos os municípios e indicadores da pesquisa.

**APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS MUNICÍPIOS
PARAIBANOS**

Microrregião	Município	Qj
Litoral	João Pessoa	0,017
Borborema	Campina Grande	0,127
Borborema	Boqueirão	0,141
Borborema	Caturité	0,175
Borborema	Gurjão	0,179
Borborema	Sossêgo	0,183
Alto piranhas	Bom Jesus	0,187
Litoral	Santa Rita	0,241
Borborema	Juazeirinho	0,247
Espinharas	Catingueira	0,254
Borborema	Cubati	0,270
Borborema	Matinhas	0,298
Alto piranhas	Bernardino Batista	0,310
Espinharas	Salgadinho	0,326
Borborema	Teixeira	0,351
Litoral	Guarabira	0,367
Litoral	Pitimbu	0,384
Borborema	Santa Cecília	0,418
Litoral	Cabedelo	0,426
Borborema	Tenório	0,439
Litoral	Logradouro	0,447
Borborema	Alagoa Grande	0,454
Alto piranhas	São José de Piranhas	0,456
Espinharas	Princesa Isabel	0,457
Litoral	Juripiranga	0,461
Borborema	Desterro	0,462
Borborema	Monteiro	0,463
Borborema	Soledade	0,469
Alto piranhas	São João do Rio do Peixe	0,473
Alto piranhas	Marizópolis	0,474
Litoral	Serra da Raiz	0,474
Borborema	Picuí	0,475
Borborema	Alcantil	0,478
Borborema	Cacimba de Dentro	0,479
Borborema	Tacima	0,481
Borborema	Boa Vista	0,483
Borborema	Barra de Santana	0,487
Espinharas	Tavares	0,490
Alto piranhas	Nazarezinho	0,497
Borborema	Queimadas	0,500
Alto piranhas	São José da Lagoa Tapada	0,506
Litoral	São Miguel de Taipu	0,512
Litoral	Itabaiana	0,514
Espinharas	Pombal	0,516
Espinharas	São José do Sabugi	0,521
Espinharas	São Mamede	0,521
Espinharas	Santa Luzia	0,521
Espinharas	Patos	0,522
Borborema	São Domingos do Cariri	0,523
Litoral	Caldas Brandão	0,525
Borborema	Seridó	0,526
Borborema	Parari	0,527
Alto piranhas	Uiraúna	0,528

Borborema	Serra Branca	0,529
Borborema	Dona Inês	0,530
Borborema	Riacho de Santo Antônio	0,530
Borborema	Riachão do Bacamarte	0,532
Espinhargas	Água Branca	0,532
Alto piranhas	São José do Brejo do Cruz	0,533
Litoral	Itapororoca	0,534
Borborema	Fagundes	0,535
Espinhargas	São Bentinho	0,536
Litoral	Juarez Távora	0,536
Litoral	Mamanguape	0,536
Borborema	Maturéia	0,537
Borborema	Casserengue	0,537
Borborema	Cabaceiras	0,538
Borborema	Damião	0,541
Litoral	Salgado de São Félix	0,543
Alto piranhas	Cajazeiras	0,552
Alto piranhas	Lastro	0,555
Borborema	Cacimbas	0,555
Alto piranhas	São Bento	0,561
Litoral	Conde	0,561
Litoral	Rio Tinto	0,562
Litoral	Bayeux	0,563
Litoral	Areia	0,565
Espinhargas	Quixabá	0,566
Litoral	Belém	0,567
Litoral	Ingá	0,568
Borborema	Prata	0,570
Espinhargas	Nova Olinda	0,572
Borborema	Pocinhos	0,573
Alto piranhas	Poço de José de Moura	0,573
Litoral	Duas Estradas	0,574
Borborema	Areial	0,575
Espinhargas	São José de Princesa	0,575
Litoral	Cruz do Espírito Santo	0,575
Litoral	Curral de Cima	0,577
Espinhargas	Cacimba de Areia	0,578
Litoral	Mari	0,578
Espinhargas	Várzea	0,578
Litoral	Sobrado	0,578
Alto piranhas	Jericó	0,579
Espinhargas	São José de Caiana	0,579
Litoral	Alhandra	0,579
Borborema	Frei Martinho	0,579
Espinhargas	Itaporanga	0,582
Borborema	Bananeiras	0,582
Borborema	Puxinanã	0,583
Alto piranhas	Catolé do Rocha	0,583
Litoral	Itatuba	0,583
Litoral	Sertãozinho	0,583
Borborema	Taperoá	0,585
Borborema	Assunção	0,585
Borborema	Junco do Seridó	0,585
Alto piranhas	São Domingos de Pombal	0,585
Borborema	Nova Palmeira	0,585
Litoral	Pedras de Fogo	0,585
Borborema	Riachão	0,586
Borborema	Arara	0,586

Espinharas	Pedra Branca	0,586
Borborema	São João do Cariri	0,586
Alto piranhas	Sousa	0,586
Borborema	Umbuzeiro	0,587
Espinharas	Coremas	0,587
Borborema	Congo	0,587
Espinharas	Serra Grande	0,587
Borborema	Pedra Lavrada	0,587
Alto piranhas	Poço Dantas	0,588
Borborema	São José dos Cordeiros	0,588
Espinharas	Passagem	0,588
Litoral	Caaporã	0,588
Alto piranhas	Belém do Brejo do Cruz	0,589
Litoral	Mogeiro	0,589
Borborema	Sumé	0,589
Borborema	Serra Redonda	0,589
Alto piranhas	São Francisco	0,589
Alto piranhas	Bom Sucesso	0,590
Espinharas	Santana dos Garrotes	0,590
Alto piranhas	Triunfo	0,590
Alto piranhas	Monte Horebe	0,590
Borborema	Olivedos	0,591
Litoral	Alagoinha	0,591
Alto piranhas	Santa Helena	0,591
Espinharas	Emas	0,591
Borborema	São Sebastião de Lagoa de Roça	0,592
Borborema	Baraúna	0,592
Litoral	Capim	0,592
Alto piranhas	Cachoeira dos Índios	0,592
Litoral	Borborema	0,592
Borborema	Remígio	0,593
Borborema	Cuité	0,593
Borborema	Amparo	0,593
Espinharas	Igaracy	0,594
Alto piranhas	Carrapateira	0,594
Litoral	São José dos Ramos	0,594
Alto piranhas	Aparecida	0,595
Borborema	Caraúbas	0,595
Alto piranhas	Riacho dos Cavalos	0,595
Litoral	Pilões	0,595
Alto piranhas	Joca Claudino	0,595
Litoral	Riachão do Poço	0,595
Litoral	Jacaraú	0,596
Litoral	Pedro Régis	0,597
Espinharas	Areia de Baraúnas	0,597
Espinharas	Curral Velho	0,597
Alto piranhas	Brejo dos Santos	0,597
Alto piranhas	Paulista	0,598
Borborema	Algodão de Jandaíra	0,599
Borborema	Gado Bravo	0,599
Borborema	Santo André	0,599
Alto piranhas	Vieirópolis	0,599
Litoral	Pilõesinhos	0,599
Borborema	Ouro Velho	0,599
Borborema	Solânea	0,600
Borborema	Zabelê	0,600
Litoral	Gurinhém	0,600
Borborema	Esperança	0,602

Espinharas	Imaculada	0,602
Borborema	Natuba	0,602
Borborema	Barra de Santa Rosa	0,603
Espinharas	Boa Ventura	0,603
Litoral	Mulungu	0,603
Borborema	Aroeiras	0,604
Espinharas	Cajazeirinhas	0,607
Espinharas	Conceição	0,608
Alto piranhas	Brejo do Cruz	0,608
Alto piranhas	Vista Serrana	0,609
Espinharas	Santana de Mangueira	0,612
Borborema	Alagoa Nova	0,613
Espinharas	Juru	0,614
Borborema	Camalaú	0,619
Espinharas	Santa Teresinha	0,619
Borborema	Montadas	0,622
Espinharas	Mãe D Água	0,622
Borborema	Lagoa Seca	0,622
Litoral	Baía da Traição	0,623
Litoral	Sapé	0,625
Espinharas	Condado	0,625
Espinharas	Malta	0,629
Litoral	Cuité de Mamanguape	0,629
Litoral	Pirpirituba	0,629
Espinharas	São José do Bonfim	0,631
Espinharas	Piancó	0,633
Espinharas	Aguiar	0,633
Espinharas	São José de Espinharas	0,634
Litoral	Caiçara	0,634
Borborema	Coxixola	0,636
Alto piranhas	Santa Cruz	0,636
Litoral	Cuitegi	0,637
Alto piranhas	Bonito de Santa Fé	0,642
Borborema	São João do Tigre	0,643
Borborema	Serraria	0,643
Alto piranhas	Mato Grosso	0,646
Borborema	Araruna	0,646
Borborema	São Sebastião do Umbuzeiro	0,652
Borborema	Massaranduba	0,658
Espinharas	Ibiara	0,660
Alto piranhas	Lagoa	0,661
Borborema	Livramento	0,666
Litoral	Lucena	0,669
Espinharas	Santa Inês	0,674
Espinharas	Olho D ÁGUA	0,683
Litoral	Lagoa de Dentro	0,705
Borborema	Nova Floresta	0,706
Litoral	Marcação	0,708
Litoral	Araçagi	0,781
Espinharas	Manaíra	0,920
Borborema	Barra de São Miguel	0,931
Litoral	Mataraca	0,965
Litoral	Pilar	0,968
Espinharas	Diamante	0,997