



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

**PERCEPÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA EM MUNICÍPIOS PARAIBANOS: UMA  
ABORDAGEM MULTIMÉTODOS**

**GEOVANNA SANTOS OLIVEIRA LOBÃO**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2025**

GEOVANNA SANTOS OLIVEIRA LOBÃO

**PERCEPÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA EM MUNICÍPIOS PARAIBANOS:  
UMA ABORDAGEM MULTIMÉTODOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestra.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino

Coorientadora: Profa. Dra. Priscila Barros Ramalho Alves

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2025**

L799p Lobão, Geovanna Santos Oliveira.  
Percepção da segurança hídrica em municípios paraibanos : uma abordagem multimétodos / Geovanna Santos Oliveira Lobão. – Campina Grande, 2025.  
128 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino, Profa. Dra. Priscila Barros Ramalho Alves".

Referências.

1. Segurança Hídrica – Paraíba. 2. Ciência cidadã. 3. Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR). 4. Transposição do Rio São Francisco. 5. Água - Risco ao Desabastecimento. I. Rufino, Iana Alexandra Alves. II. Alves, Priscila Barros Ramalho. III. Título.

CDU 628.1(813.3)(043)

**GEOVANNA SANTOS OLIVEIRA LOBÃO**

**PERCEPÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA EM MUNICÍPIOS PARAIBANOS:  
UMA ABORDAGEM MULTIMÉTODOS**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino  
Universidade Federal de Campina Grande  
Presidenta/Orientadora

Profa. Dra. Priscila Barros Ramalho Alves  
University of Maryland  
Coorientadora

Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa  
Universidade Federal de Campina Grande  
Examinadora Interna

Profa. Dra. Maria José de Sousa Cordão  
Universidade Estadual da Paraíba  
Examinadora Externa



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): GEOVANNA SANTOS OLIVEIRA LOBÃO / COMISSÃO EXAMINADORA: DR<sup>a</sup>. IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO - PPGECA/UFCG (PRESIDENTE) - ORIENTADORA, DR<sup>a</sup> PRISCILA BARROS RAMALHOS ALVES – UNIVERSITY OF MARYLAND – COORIENTADORA, DR<sup>a</sup> DAYSE LUNA BARBOSA – PPGECA/UFCG – EXAMINADORA INTERNA, DR<sup>a</sup> MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDÃO - UEPB - EXAMINADORA EXTERNA (PORTARIA 28/2024). / TITULO DA DISSERTAÇÃO: “AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA DE MUNICÍPIOS PARAIBANOS POR MEIO DE UMA ABORDAGEM MULTIMÉTODOS” / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INICIO: 09:00 HORAS / DE FORMA PRESENCIAL, NO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA I, BLOCO CR, CAMPUS SEDE DA UFCG, EM CAMPINA GRANDE.**

3. **EM SESSÃO REALIZADA DE FORMA PRESENCIAL, 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 GAUDÊNCIO, SECRETÁRIO(A), ALUNO(A) E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**

4. **CAMPINA GRANDE, 14 DE AGOSTO DE 2024.**

5.

6.

7.

8.

9.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** PRISCILA BARROS RAMALHO ALVES  
Data: 22/08/2024 09:57:07-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**PRISCILA BARROS RAMALHOS ALVES - UNIVERSITY OF MARYLAND - COORIENTADORA**

---



Documento assinado eletronicamente por **Geovanna Santos Oliveira, Usuário Externo**, em 21/08/2024, às 09:59, 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 **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/08/2024, às 10:40, 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 **MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDAO, Usuário Externo**, em 21/08/2024, às 12:05, 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 22/08/2024, às 09:21, 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 22/08/2024, às 09:34, 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 **4692217** e o código CRC **70CDE874**.

---

## AGRADECIMENTOS

A jornada da pesquisa é sempre marcada por desafios, aprendizado e colaboração. Esta dissertação não teria sido possível sem o apoio e a dedicação de muitas pessoas e instituições, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

A Deus, por me conceder força, perseverança e discernimento para concluir mais esta etapa da minha vida acadêmica.

Às minhas orientadoras, Iana e Priscila, pela paciência, incentivo e orientação ao longo de todo o processo. Seu conhecimento e dedicação foram essenciais para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca, Dayse e Maria, por suas contribuições valiosas, sugestões e críticas construtivas que enriqueceram esta pesquisa.

Ao PPGECA, pelo suporte acadêmico e pelas oportunidades de crescimento proporcionadas.

Aos colegas de pesquisa e amigos do Laboratório de Hidráulica II, que compartilharam comigo não apenas conhecimentos, mas também desafios, alegrias e momentos importantes.

Aos profissionais e gestores municipais que colaboraram com a coleta de dados e entrevistas, disponibilizando tempo e informações fundamentais para esta pesquisa.

Aos moradores dos municípios estudados, que gentilmente compartilharam suas experiências e desafios relacionados à segurança hídrica, contribuindo para que este trabalho tivesse um impacto mais significativo.

À minha família, em especial ao meu marido Marley, meus pais, Paulo e Adriana, e meus irmãos, Gabriel e Paula, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo em cada etapa desta caminhada. Suas palavras de encorajamento e compreensão foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação, muito obrigada!

## RESUMO

Historicamente, pequenos municípios localizados em regiões semiáridas enfrentam desafios relacionados a eventos extremos e frequentemente lidam com escassez de água, mesmo em períodos chuvosos. Este estudo avaliou a segurança hídrica em municípios de pequeno porte na Paraíba, situados no semiárido do Nordeste brasileiro, com foco nos impactos das intervenções do Projeto de Transposição do Rio São Francisco (PISF), incluindo a ampliação da oferta hídrica e os desafios na distribuição e qualidade da água. A metodologia adotada consistiu em uma abordagem multimétodos baseada no modelo Força Motriz-Pressão-Impacto-Resposta (FPEIR), combinada com dados de ciência cidadã coletados em cinco municípios de pequeno porte, e uma análise cumulativa da segurança hídrica voltada ao consumo humano e às atividades econômicas. Mapas de risco de desabastecimento foram elaborados para orientar a coleta de dados de ciência cidadã, resultando na aplicação de 346 questionários a usuários residenciais em 2024, por meio de uma abordagem participativa. Além disso, foram aplicados 34 questionários a usuários agrícolas. A percepção dos impactos do PISF para os usuários residenciais e agricultores foi analisada por meio de métodos estatísticos, incluindo o coeficiente de correlação de Spearman e o teste de Mann-Whitney. Os resultados desta pesquisa evidenciaram uma desconexão significativa entre a disponibilidade de infraestrutura hídrica e o fornecimento efetivo de água, levando a população a adotar estratégias de adaptação, como uso de carros-pipa, cisternas, captação de água da chuva e a criação de mercados informais. Os dados de ciência cidadã validaram os mapas de risco ao desabastecimento, com 92,43% dos moradores em áreas de maior risco relatando problemas frequentes com a falta de água. Foram identificadas diferenças significativas entre regiões de maior e menor risco de desabastecimento. As análises indicaram que melhorias na frequência e qualidade do abastecimento reduzem a necessidade de compra de água e aumentam a percepção de segurança hídrica. No setor agrícola, os agricultores demonstraram confiança na segurança hídrica atual, diversificando cultivos e expandindo suas plantações. No entanto, expressaram preocupações em relação ao futuro, destacando a necessidade de práticas mais sustentáveis. O estudo evidenciou a insegurança hídrica em municípios de pequeno porte, mesmo durante a operação do PISF, e reforçou a importância de políticas integradas que garantam o acesso contínuo e sustentável à água para as populações locais.

**Palavras-chave:** Impactos; Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR); Ciência cidadã; Transposição do Rio São Francisco, Risco ao desabastecimento.

## ABSTRACT

Historically, small municipalities located in semi-arid regions have faced challenges related to extreme events and frequently experience water scarcity, even during rainy periods. This study assessed water security in small municipalities in Paraíba, situated in the semi-arid region of Northeast Brazil, focusing on the impacts of the São Francisco River Transposition Project (PISF), including the expansion of water availability and challenges in distribution and water quality. The methodology adopted a multi-method approach based on the Driving Force-Pressure-Impact-Response (DPSIR) model, combined with citizen science data collected in five small municipalities, along with a cumulative analysis of water security for human consumption and economic activities. Water shortage risk maps were developed to guide citizen science data collection, resulting in the application of 346 questionnaires to residential users in 2024 through a participatory approach. Additionally, 34 questionnaires were administered to agricultural users. The perception of PISF impacts among residential users and farmers was analyzed using statistical methods, including Spearman's correlation coefficient and the Mann-Whitney test. The results revealed a significant disconnect between the availability of water infrastructure and the effective water supply, leading the population to adopt adaptation strategies such as water trucks, cisterns, rainwater harvesting, and the development of informal water markets. Citizen science data validated the water shortage risk maps, with 92.43% of residents in high-risk areas reporting frequent water shortages. Significant differences were identified between regions with higher and lower water shortage risks. The analyses indicated that improvements in supply frequency and quality reduce the need for water purchases and enhance the perception of water security. In the agricultural sector, farmers showed confidence in current water security, diversifying their crops and expanding cultivation. However, they expressed concerns about future water availability, highlighting the need for more sustainable practices. The study demonstrated persistent water insecurity in small municipalities, even during PISF operations, reinforcing the importance of integrated policies that ensure continuous and sustainable water access for local populations.

**Keywords:** Impacts; Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Model; Citizen science; São Francisco River Transposition; Water shortage risk

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos sistemas dos municípios representativos da área de estudo .....	36
Tabela 2: Ponderação de cada critério .....	52
Tabela 3: Dimensionamento da amostra para o município de Boqueirão .....	55
Tabela 4: Dimensionamento da amostra para o município de Pocinhos .....	55
Tabela 5: Dimensionamento da amostra para o município de Cabaceiras .....	56
Tabela 6: Dimensionamento da amostra para o município de Boa Vista.....	56
Tabela 7: Dimensionamento da amostra para o município de Pedra Lavrada .....	56
Tabela 8: Número de questionários aplicados nos municípios estudados.....	57
Tabela 9: Taxa de crescimento para a área de estudo entre os anos 2000, 2010 e 2022	62
Tabela 10: Demandas dos sistemas adutores em operação e em fase de implantação com captação no manancial Epitácio Pessoa.....	64
Tabela 11: Vazões mínimas médias anuais estabelecidas pelo PGA para o Eixo Leste da Transposição (m <sup>3</sup> /s) .....	67
Tabela 12: Volumes mínimos médios anuais estabelecidas pelo PGA para o Eixo Leste da Transposição (hm <sup>3</sup> ) .....	67
Tabela 13: Municípios que serão atendidos pela Transparaíba e as vazões de contribuição .....	70
Tabela 14 - Características gerais dos usuários de água residenciais.....	86
Tabela 15: Estatísticas Descritivas das Variáveis Analisadas .....	87
Tabela 16: Características gerais dos usuários de água para agricultura.....	95
Tabela 17: Estatísticas Descritivas das Variáveis Analisadas (Agricultores) .....	96
Tabela 18: Formas de adaptação utilizadas pelos agricultores.....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Elementos Diretivos da Estratégia do PNRH 2022-2040 para a Região Nordeste.....	18
Quadro 2: Indicadores do Índice de Segurança Hídrica .....	20
Quadro 3: Impactos positivos e negativos previstos para a fase de operação do Projeto de Integração do Rio São Francisco .....	22
Quadro 4: Referencial teórico consultado para elaboração dos fatores para formação da estrutura FPEIR (1ª etapa metodológica) .....	42
Quadro 5: Categorias de perguntas aplicadas durante a abordagem participativa em 2024. ....	44
Quadro 6: Critérios selecionados para o mapeamento do risco ao desabastecimento de água.....	45
Quadro 7: Seleção dos indicadores de impactos analisados com base nos possíveis impactos para os setores econômicos esperados pelo MI.....	59
Quadro 8: Soluções alternativas de abastecimento utilizadas pelos municípios .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do modelo FPEIR .....	26
Figura 2: Quantidade de documentos publicados por ano relacionados com o modelo FPEIR .....	28
Figura 3: Municípios atualmente atendidos pelo Sistema Hídrico Poções-Epitácio Pessoa, por meio dos sistemas adutores que captam água no açude Epitácio Pessoa.....	33
Figura 4: Série histórica mensal da superfície da água para o bioma da Caatinga (a) e para o estado da Paraíba (b).....	34
Figura 5: Curva de permanência para o bioma da Caatinga (a) e para o estado da Paraíba (b) .....	34
Figura 6: Croqui do Sistema Adutor do Cariri .....	37
Figura 7: Croqui do Sistema Adutor de Campina Grande 1/2 .....	38
Figura 8: Croqui do Sistema Adutor de Campina Grande 2/2 .....	39
Figura 9: Estrutura da Abordagem Multimétodos .....	41
Figura 10: Fatores determinantes (critérios) – Boqueirão .....	47
Figura 11: Fatores determinantes (critérios) – Pocinhos .....	47
Figura 12: Fatores determinantes (critérios) - Cabaceiras.....	47
Figura 13: Fatores determinantes (critérios) - Boa Vista .....	48
Figura 14: Fatores determinantes (critérios) - Pedra Lavrada .....	48
Figura 15: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Boqueirão.....	50
Figura 16: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Pocinhos.....	50
Figura 17: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Boa Vista.....	51
Figura 18: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Cabaceiras.....	51
Figura 19: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Pedra Lavrada .....	52
Figura 20: Mapa de risco de desabastecimento para os cinco municípios .....	54
Figura 21: Evolução da área superficial de corpos hídricos e infraestrutura urbana na Área atendida pelo Eixo Leste do PISF (2000, 2007, 2015, 2022).....	63
Figura 22: Demandas consuntivas para a Área de Estudo.....	64
Figura 23: Volume do açude Epitácio Pessoa x Precipitação entre os anos 2016 e 2023 .....	65
Figura 24: Vazões operacionais médias mensais do Eixo Leste da Transposição entre 2022 e dezembro de 2024.....	67

Figura 25: Cobertura do Sistema de Abastecimento para a área de estudo, segundo o SINISA .....	68
Figura 26: Municípios que serão atendidos futuramente pelo Eixo Leste do PISF por meio do Sistema Adutor Transparaíba a) 1ª Etapa (Em obras) e b) 2ª Etapa (Não iniciado)..	69
Figura 27: Formas de abastecimento na zona urbana dos municípios .....	72
Figura 28: Percentual de pessoas que compram ou já compraram água nos municípios para os anos de 2021 e 2024.....	74
Figura 29: Falta de água da rede de abastecimento na zona urbana dos municípios .....	76
Figura 30: Panorama do racionamento e população afetada pela falta de água nos municípios para os anos de 2021 e 2024.....	77
Figura 31: Abordagem cumulativa dos possíveis impactos da Transposição na Agricultura, Pecuária e Indústria .....	79
Figura 32: Estrutura FPEIR para a segurança hídrica da Área de Estudo.....	83
Figura 33: Localização dos residentes entrevistados nos municípios .....	84
Figura 34: Resultado da abordagem participativa; a) Enfrenta falta de água em sua residência; b) Enfrenta falta de água semanalmente ou com muita frequência.....	85
Figura 35: Média das variáveis analisadas pelos usuários residenciais.....	88
Figura 36: Percepção dos usuários residenciais sobre os impactos – Correlação de Spearman .....	89
Figura 37: Violin Plot da Frequência de Falta de Água (Intermitência) entre Áreas de Alto e Baixo Risco.....	91
Figura 38: Média das variáveis analisadas pelos usuários de água para agricultura.....	96
Figura 39: Percepção dos usuários de água para agricultura sobre os impactos – Correlação de Spearman.....	98

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DPSIR	Driver-Pressure-State-Impact-Response
EEA	Agência Europeia do Ambiente
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estações Elevatórias de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAPESP	- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAPESQ	Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba
FPEEEA	Modelo Forças Motrizes-Pressão-Estado-Exposição-Efeitos-Ações
FPEIR	Força motriz-pressão-estado-impacto-resposta
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
GWP	Global Water Partnership
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISH	Índice de Segurança Hídrica
IWRM	Integrated Water Resources Management
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MI	Ministério de Integração Nacional
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
PEIR	Pressão-Estado-Impacto-Resposta
PER	Pressão-Estado-Resposta
PGA	Plano de Gestão Anual
PIB	Produto Interno Bruto
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PMSB	Planos Municipais de Saneamento Básico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
RRV	Reliability, Resilience, Vulnerability
SABR	Sistema Adutor do Brejo
SACA	Sistema Adutor do Cariri
SACG	Sistema Adutor de Campina Grande
SIGMA	Segurança Hídrica de municípios paraibanos: Uma modelagem Integrada da variabilidade climática e das dinâmicas naturais e antrópicas
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNISA	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

VAB  
WLC

Valor Agregado Bruto  
*Weighted Linear Combination*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Estrutura da Dissertação.....</b>	<b>15</b>
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
<b>2.1</b>	<b>Gestão Integrada de Recursos Hídricos.....</b>	<b>16</b>
2.1.1	Planos Nacionais de Recursos Hídricos .....	17
2.1.2	Plano Nacional de Segurança Hídrica.....	19
<b>2.2</b>	<b>Impactos de Sistemas de Transposição Hídrica .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Modelos de Segurança Hídrica .....</b>	<b>24</b>
2.3.1	Modelo de Análise de Impactos: Matriz FPEIR .....	25
<b>2.4</b>	<b>Ciência Cidadã .....</b>	<b>28</b>
3	METODOLOGIA.....	32
<b>3.1</b>	<b>Classificação da pesquisa científica e tipo de dados .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Área de estudo .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Procedimento Metodológico.....</b>	<b>40</b>
3.3.1	Revisão de Literatura .....	41
3.3.2	Obtenção de dados para os fatores .....	43
3.3.2.1	Ciência Cidadã.....	43
3.3.2.2	Análise Multicritério e GIS para determinação das áreas com risco ao desabastecimento e delimitação da amostra .....	44
3.3.3	Análise estatística dos dados .....	57
3.3.4	Abordagem cumulativa de impactos .....	58
3.3.5	Análise comparativa com o ISH.....	59
3.3.6	Proposição de medidas de resposta .....	60
4	RESULTADOS .....	61
<b>4.1</b>	<b>Modelo FPEIR.....</b>	<b>61</b>
4.1.1	Dimensão força motriz .....	61
4.1.1.1	Crescimento Populacional .....	61
4.1.1.2	Urbanização .....	62
4.1.1.3	Eventos Extremos .....	63
4.1.2	Dimensão Pressão .....	63
4.1.3	Dimensão Estado.....	64
4.1.3.1	Disponibilidade hídrica - Reservatórios Superficiais .....	65

4.1.3.2	Disponibilidade hídrica - Reservatórios Subterrâneos .....	65
4.1.3.3	Condições de operação do PISF .....	66
4.1.3.4	Infraestruturas Hídricas dos municípios .....	67
4.1.4	Dimensão Impacto e Resposta .....	71
4.1.4.1	Formas de abastecimento de água .....	71
4.1.4.2	Interrupções no Abastecimento de Água da Rede Pública.....	75
4.1.4.3	Capacidade de reservação de água nas residências .....	78
4.1.4.4	Avaliação dos impactos nos setores agrícola, pecuário e industrial por meio da abordagem cumulativa.....	78
4.1.4	Sugestão de medidas de resposta .....	80
4.1.5	Estrutura FPEIR .....	82
<b>4.2</b>	<b>Validação do mapeamento de áreas vulneráveis ao desabastecimento ....</b>	<b>83</b>
<b>4.3</b>	<b>Percepção de usuários sobre os impactos da Transposição no abastecimento de água .....</b>	<b>85</b>
4.3.1	Contexto Geral dos usuários residenciais de água .....	85
4.3.2	Percepção dos impactos pelos usuários residenciais.....	86
4.3.2.1	Avaliação da mudança na frequência de falta de água após a transposição .....	89
4.3.2.2	Avaliação da qualidade da água e impacto após a transposição.....	90
4.3.2.3	Sensação de segurança Hídrica.....	90
4.3.2.4	Análise da Frequência de Falta de Água entre Áreas de Alto e Baixo Risco .....	91
4.3.2.5	Análise da relação entre a Percepção de impactos e demais Fatores sociais .....	92
4.3.3	Contexto Geral dos usuários de água para agricultura.....	94
4.3.4	Percepção dos impactos da Transposição pelos usuários de água para agricultura.....	95
4.3.4.1	Diversificação de Culturas, Aumento na produção, Qualidade da Água e Segurança Hídrica Presente .....	97
5	CONCLUSÕES .....	100
6	REFERÊNCIAS.....	104

## 1 INTRODUÇÃO

A segurança hídrica, fundamental para o desenvolvimento sustentável, é uma preocupação global crescente diante das mudanças climáticas, do aumento populacional e da exploração intensiva dos recursos naturais. Segundo a UNESCO (2019), segurança hídrica é definida como a capacidade de uma população de garantir acesso sustentável a quantidades adequadas de água, com qualidade aceitável, para a sustentação da vida, do desenvolvimento socioeconômico e da preservação ambiental. Nos últimos anos, esse conceito passou a abranger não apenas a disponibilidade física da água, mas também o acesso econômico e social a esse recurso (Hoekstra et al., 2018).

Globalmente, a segurança hídrica enfrenta desafios significativos, como a escassez de água potável devido à distribuição espacial e temporal desigual, à degradação dos mananciais e à gestão inadequada dos recursos hídricos (UNDRR, 2022; Bozorg-Haddad et al., 2024; Dunlop et al., 2024; Li et al., 2019). A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que aproximadamente 2 bilhões de pessoas vivem em países com alto estresse hídrico, onde a demanda por água supera a disponibilidade durante parte do ano (UNESCO, 2021). As mudanças climáticas exacerbam esse problema, alterando padrões de precipitação e disponibilidade hídrica, o que pode resultar em secas mais frequentes e severas em algumas regiões e inundações em outras, aumentando o risco de escassez de água potável (UNDRR, 2022).

No Brasil, a segurança hídrica apresenta grandes disparidades regionais em termos de disponibilidade e demanda. No semiárido, os impactos climáticos, o planejamento deficiente e a infraestrutura inadequada contribuem para a insegurança hídrica (Ramos Filho et al., 2023). O abastecimento contínuo ainda é um desafio notável, especialmente em pequenas cidades do semiárido brasileiro, onde a distribuição de água é irregular e intermitente, ocorrendo apenas em alguns dias da semana (Cordão et al., 2020).

A situação se agrava em pequenos municípios, nos quais a escassez de recursos financeiros para investimentos em saneamento e outras políticas públicas compromete ainda mais o acesso à água (Balsas, 2024; Barbosa et al., 2021, 2023). Essa realidade, muitas vezes, permanece invisível nos sistemas de informações oficiais, pois, apesar da existência de infraestrutura de abastecimento, o serviço pode ser ineficaz devido à ausência do recurso primário nas fontes ou a deficiências estruturais (Walker et al., 2024; Filho et al., 2023).

Nesse contexto de limitações, abordagens colaborativas, como a ciência cidadã, têm sido ferramentas valiosas para a coleta e o monitoramento de dados. O principal objetivo é envolver o público em geral no desenvolvimento de pesquisas, permitindo sua participação ativa na identificação de problemas, na coleta de informações e na análise de dados (Bonney et al., 2015). Projetos de ciência cidadã tem sido utilizados para complementar avaliações tradicionais e suprir lacunas de dados em áreas sub-representadas ou negligenciadas pelas políticas públicas (Alves et al., 2021; Barros et al., 2024; Bozorg-Haddad et al., 2024; Ho, Xu & Lee, 2020).

Diversas metodologias têm sido aplicadas para avaliar a segurança hídrica em diferentes contextos globais, destacando-se o modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR), desenvolvido na década de 1990 pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (EEA, 1999). Esse modelo tem sido amplamente utilizado em estudos sobre recursos hídricos, evidenciando como a integração da ciência cidadã no monitoramento pode fortalecer a gestão sustentável da água (Shi et al., 2023; Yousafai, 2022; Obudu, 2022; Mendes et al., 2024).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), concebido para fortalecer a segurança hídrica no Nordeste brasileiro, tem como objetivo mitigar os impactos das secas em municípios historicamente vulneráveis à escassez hídrica (Brasil, 2019; ANA, 2018). Seu planejamento iniciou-se na década de 1990, com licitações realizadas em 2007 e obras iniciadas em 2008. O projeto contempla dois eixos principais – Eixo Norte e Eixo Leste – que somam mais de 477 quilômetros de canais, adutoras, aquedutos, barragens e estações de bombeamento. A vazão outorgada para o sistema é de até 26,4 m<sup>3</sup>/s, sendo 99% destinada ao abastecimento humano e à dessedentação animal, conforme previsto no planejamento do projeto (ANA, 2005). Após cerca de uma década de construção, o sistema entrou em operação em 2017. Atualmente, o PISF está em fase de operação, e os impactos projetados incluem o aumento da oferta de água para consumo humano e agrícola, o dinamismo da economia regional e a redução da migração rural para centros urbanos (MI, 2004). Além disso, a disponibilidade contínua de água visa minimizar emergências relacionadas à seca e melhorar a qualidade hídrica das bacias receptoras.

Dessa forma, este estudo analisa a segurança hídrica em pequenos municípios da Paraíba, avaliando os impactos da chegada das águas do PISF para a população atendida. A escolha da área de estudo se justifica pela necessidade de investigar os efeitos diretos de uma das maiores intervenções hídricas no semiárido brasileiro. Pequenos municípios

dessa região, historicamente afetados por secas recorrentes e escassez de água, constituem um cenário ideal para avaliar como grandes projetos de infraestrutura podem alterar as condições de vida local.

Para essa análise, foi empregada uma abordagem multimétodos, integrando o modelo FPEIR, a ciência cidadã e a análise cumulativa, de modo a abranger diferentes dimensões da segurança hídrica. Esta pesquisa fez parte do projeto colaborativo "Segurança Hídrica de Municípios Paraibanos: Uma Modelagem Integrada da Variabilidade Climática e das Dinâmicas Naturais e Antrópicas", financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com aprovação em 2022.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a segurança hídrica dos municípios atendidos pelo Sistema Hídrico Poções - Epitácio Pessoa no Estado da Paraíba frente às situações de escassez hídrica, a partir da análise dos principais impactos relacionados à chegada das águas do PISF para a população dos municípios atendidos pelo sistema.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Selecionar e aplicar multimétodos para uma análise da segurança hídrica em pequenos municípios da Paraíba com relação aos eventos extremos e variabilidade climática natural do semiárido.
- Analisar os sistemas de abastecimento de pequenos municípios e os impactos observados após a implementação do PISF, utilizando dados de ciência cidadã.
- Estabelecer um quadro de ações/respostas para ser implementados por gestores e a sociedade em geral, com o objetivo de aumentar os índices de segurança hídrica em pequenos municípios.

## 1.2 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em diversas seções que guiam o leitor através do estudo da segurança hídrica em municípios de pequeno porte na Paraíba, Brasil.

- Capítulo II: A Revisão de Literatura aborda os conceitos e definições de segurança hídrica, enfatizando sua importância e os desafios associados. A seção também explora o histórico, os objetivos e os impactos esperados da transposição do Rio São Francisco. Além disso, apresenta-se o modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) e sua aplicação em estudos de segurança hídrica, bem como a importância da abordagem participativa na coleta de dados e na gestão de recursos hídricos.
- Capítulo III: Na seção de Metodologia, é feita a descrição detalhada da área de estudo, caracterizando os municípios da Paraíba analisados. São explicados os métodos de coleta de dados, incluindo questionários e entrevistas com moradores e agricultores. A subseção de modelagem e análise dos dados discute o uso do modelo FPEIR, o coeficiente de correlação de Spearman e o teste de Mann-Whitney. Também é detalhada a construção e validação dos mapas de risco ao desabastecimento de água.
- Capítulo IV: Os Resultados e Discussões são apresentados na sequência, com a análise dos dados secundários e primários coletados através dos questionários e entrevistas. A validação dos mapas de risco ao desabastecimento é discutida, destacando a percepção dos moradores. São analisadas as percepções de impacto tanto entre os usuários de água residenciais quanto entre os agricultores, evidenciando as correlações significativas encontradas. Na Discussão, os principais resultados do estudo são interpretados e relacionados com a literatura existente. São exploradas as implicações para a gestão hídrica, refletindo sobre as políticas públicas necessárias para mitigar os impactos negativos e promover a sustentabilidade hídrica.
- Capítulo V: A Conclusão sintetiza os principais resultados e contribuições do estudo, oferecendo recomendações para políticas públicas e ações práticas baseadas nos resultados da pesquisa. A seção também discute as limitações metodológicas do estudo e sugere direções para pesquisas futuras. Além disso, são indicadas áreas para futuras pesquisas e estudos, ressaltando a importância da continuidade da investigação sobre a segurança hídrica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gestão Integrada de Recursos Hídricos

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é uma meta do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 da Organização das Nações Unidas (ONU), que visa "Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos". A GIRH está diretamente relacionada à meta 6.5 do ODS 6, que propõe "Implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive por meio da cooperação transfronteiriça, conforme apropriado, até 2030."

O documento "Integrated Water Resources Management" (IWRM) de 2000, publicado pela Global Water Partnership (GWP), surgiu em resposta aos desafios globais na gestão de recursos hídricos, como a pressão crescente sobre os recursos, a degradação da qualidade da água e as mudanças climáticas. Baseando-se nos Princípios de Dublin e na Agenda 21 da Cúpula da Terra de 1992, o documento define a GIRH como um processo que promove o desenvolvimento e a gestão coordenados da água, da terra e dos recursos relacionados, visando maximizar o bem-estar econômico e social de maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais (Agarwal et al., 2000).

A integração na GIRH envolve duas categorias básicas: o sistema natural, crucial para a disponibilidade e qualidade dos recursos, e o sistema humano, que determina o uso dos recursos, a produção de resíduos e a poluição, além de definir as prioridades de desenvolvimento. A integração deve ocorrer dentro e entre essas categorias, considerando a variabilidade temporal e espacial (Agarwal et al., 2000).

Silva et al. (2015) destacam que a GIRH no Brasil começou a ganhar forma a partir da Constituição Federal de 1988, que reconheceu a água como um bem público de valor econômico. A Lei nº 9.433/97, conhecida como a Lei das Águas, foi um marco crucial, estabelecendo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Essa lei introduziu importantes instrumentos de gestão, como os Planos de Recursos Hídricos e os Sistemas de Informação sobre Recursos Hídricos. A descentralização e a participação dos usuários foram elementos centrais desse novo modelo, com a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica e Agências de Água.

Otoch et al. (2019) ilustram que, no Brasil, a GIRH evoluiu através de sucessivas fases de desenvolvimento institucional e infraestrutural. A criação do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) e, posteriormente, da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) foram fundamentais para o desenvolvimento inicial da infraestrutura hídrica.

A GIRH no semiárido brasileiro é essencial devido às características climáticas e hidrológicas específicas da região. A escassez de água, a variabilidade das precipitações e a frequente ocorrência de secas tornam imperativo o uso racional e otimizado dos recursos hídricos disponíveis. A GIRH é vital para garantir a segurança hídrica, permitindo um desenvolvimento econômico estável, socialmente justo e ambientalmente saudável na região, assegurando que os recursos hídricos estejam disponíveis em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades atuais e futuras da sociedade (Vieira, 2003).

#### 2.1.1 Planos Nacionais de Recursos Hídricos

O primeiro Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criado em 2006, é um instrumento de planejamento de longo prazo essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos no Brasil. Instituído pela Lei nº 9.433/97, o PNRH estabelece diretrizes, objetivos, metas e ações para a gestão dos recursos hídricos no país.

Em 2022, foi lançado um novo PNRH para o período de 2022 a 2040, que desempenha um papel crucial na promoção da segurança hídrica nacional. Este novo plano inclui um diagnóstico detalhado da situação dos recursos hídricos no Brasil, identificando áreas críticas e vulneráveis à escassez. Esse diagnóstico permite uma melhor compreensão dos desafios e oportunidades, possibilitando a formulação de estratégias eficazes para enfrentá-los. O prognóstico projeta cenários futuros de disponibilidade e demanda de água, ajudando na preparação e adaptação às mudanças climáticas e variações hidrológicas. O Quadro 1 apresenta as diretrizes do PNRH para a Região Nordeste.

Quadro 1: Elementos Diretivos da Estratégia do PNRH 2022-2040 para a Região Nordeste

TEMA	ELEMENTOS DIRETIVOS PARA A ESTRATÉGIA	ABRANGÊNCIA
<b>Política de Recursos Hídricos para o Nordeste brasileiro.</b>	Desenvolver uma política de recursos hídricos específica; considerar os Comitês de Bacia Hidrográfica e os Conselhos Gestores de Açudes; transposições integrando bacias hidrográficas e suas considerações como unidade de planejamento; critérios de outorga e a sustentabilidade financeira dos sistemas adutores.	Região Nordeste.
<b>Capacidade de suporte da bacia do rio São Francisco.</b>	Racionalizar a apropriação das águas da bacia São Francisco: múltiplos usos e múltiplas dominialidades de água.	Bacia do rio São Francisco.
<b>Interconexão, integração e aumento de eficiência dos sistemas adutores de água.</b>	Promover a eficiência operacional dos sistemas adutores e o aumento da segurança hídrica dos usuários de água por eles supridos, por meio de interconexões e integração operacional.	Sistemas adutores de água das UFs, especialmente os interconectados e supridos pelo PISF.

Fonte: MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional (2022).

O PNSH pretende promover a eficiência operacional dos sistemas adutores e aumentar a segurança hídrica dos usuários de água através da criação de interconexões e da integração operacional entre diferentes sistemas hídricos (MDR, 2022). Estas interconexões, exemplificadas pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), permitem a transferência de água entre bacias hidrográficas, maximizando a utilização dos recursos disponíveis.

Os cenários preditivos do plano contêm elementos que indicam possíveis riscos e oportunidades para a gestão e segurança hídrica no Brasil. Esses cenários são baseados em variáveis de tendências de peso e incertezas críticas, que ajudam a mapear futuros possíveis e preparar estratégias. As principais ameaças à segurança hídrica e à gestão integrada dos recursos hídricos, conforme identificado pelo PNRH 2022-2040, incluem:

- As alterações climáticas, que comprometem a disponibilidade e qualidade da água;
- A pressão por crescimento econômico, especialmente nos setores agrícola e industrial, intensifica a demanda por água e eleva o risco de conflitos pelo uso dos recursos hídricos;

- A degradação ambiental, resultante de desmatamento, poluição e uso inadequado do solo, reduz a capacidade dos ecossistemas de manter a qualidade e quantidade de água;
- A falta de infraestrutura adequada e sua manutenção insuficiente limitam a capacidade de armazenamento e distribuição de água;
- A gestão fragmentada e ineficiente, com falta de coordenação entre diferentes níveis de governo e setores.

### 2.1.2 Plano Nacional de Segurança Hídrica

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), lançado em 2019, é um complemento essencial ao PNRH, com foco específico na identificação e mitigação de riscos relacionados à segurança hídrica, assegurando que a água em quantidade e qualidade adequadas esteja disponível para todos os usos e regiões, especialmente em cenários de escassez (ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019).

O Índice de Segurança Hídrica (ISH), criado pela ANA, é uma ferramenta essencial que se enquadra nos instrumentos da PNRH. Este índice foi desenvolvido para permitir uma avaliação sintética da segurança hídrica em todo o território nacional, incorporando diferentes dimensões da segurança hídrica e o conceito de risco associado aos usos da água (Cerezini et al., 2023). O ISH é um índice composto, que utiliza informações sobre diversas dimensões da segurança hídrica, indicadores e variáveis ou atributos para seu cálculo, proporcionando dados essenciais para a gestão e monitoramento dos recursos hídricos. O Quadro 2 apresenta as dimensões e indicadores definidos para cada dimensão da segurança hídrica (humana, econômica, ecossistêmica e resiliência).

De acordo com a ANA (2019), as dimensões humana e econômica servem para quantificar o nível de atendimento, e riscos associados, das demandas efetivas (abastecimento humano e setor produtivo), enquanto as dimensões ecossistêmicas e resiliência são utilizadas para identificar as áreas mais críticas e vulneráveis com relação à segurança hídrica.

Esses indicadores são derivados, em sua maioria, da base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e de estudos desenvolvidos pela própria ANA.

Quadro 2: Indicadores do Índice de Segurança Hídrica

<b>Dimensão</b>	<b>Indicador</b>
<b>Humana</b>	Garantia de água para abastecimento humano
<b>Econômica</b>	Garantia de água para irrigação e pecuária Garantia de água para atividade industrial
<b>Ecossistêmica</b>	Quantidade de água adequada para usos naturais Qualidade de água para usos naturais Segurança das barragens de rejeito de mineração
<b>Resiliência</b>	Reservação artificial Reservação natural Potencial de armazenamento subterrâneo Variabilidade pluviométrica

Fonte: ANA (2019a).

No caso do indicador garantia de água para abastecimento humano (dimensão humana) foram utilizadas informações de demandas hídricas municipais estimadas no Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2019) e Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNISA), para obter a cobertura de rede de abastecimento. O Atlas da Irrigação, a Pesquisa Agrícola Municipal – PAM, e o Valor Agregado Bruto - VAB Industrial calculado na pesquisa Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios, forneceram dados para os indicadores da dimensão econômica.

## 2.2 Impactos de Sistemas de Transposição Hídrica

Sistemas de transposição de águas entre bacias hidrográficas são estratégias utilizadas ao redor do mundo para enfrentar a escassez de água em regiões áridas e semiáridas, redistribuindo recursos hídricos de áreas com maior disponibilidade para regiões com escassez hídrica (são exemplos o Irã (Bozorg-Haddad et al., 2024; Gohari et al., 2013), a China (Ma & Wang, 2024; Xuesen et al., 2009), a Austrália (Ghassemi & White, 2007) e os EUA (Zhuang, 2016). Esses sistemas têm sido utilizados como uma solução para garantir o abastecimento de água para apoiar desenvolvimento em bacias receptoras (Paiva et al. 2024; Empinotti et al., 2019; Andrade et al., 2011, Gohari et al., 2013; Zhao et al.; 2017).

Andrade et al. (2011) discute os três principais casos de transposição de água no Brasil. O projeto de transposição do Rio Paraíba do Sul, iniciado em 1913, originalmente concebido para gerar energia hidrelétrica para o Rio de Janeiro. O Sistema Cantareira,

concluído em 1973, transfere água da bacia do Rio Piracicaba para a bacia do Alto Tietê, atendendo 60% das necessidades de água da região metropolitana de São Paulo. Por fim, o PISF, iniciado em 2008, transfere água do Rio São Francisco para os estados semiáridos do nordeste do Brasil (Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte), com o objetivo de atender às necessidades urbanas, industriais e de irrigação da região.

Os sistemas de transposição de água no Brasil são essenciais devido à distribuição desigual dos recursos hídricos no país. Eles ajudam a garantir a segurança hídrica e a apoiar o desenvolvimento econômico, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste. Projetos como o do Rio São Francisco são cruciais para fornecer água para usos urbanos, industriais e agrícolas, mitigando os impactos das secas frequentes e promovendo o desenvolvimento sustentável dessas áreas (Andrade et al., 2011).

Conforme discutido por Brito et al. (2020), o PISF foi planejado como uma solução para as recorrentes crises hídricas no Nordeste brasileiro, uma região historicamente afetada por secas severas e prolongadas. A primeira versão do projeto data de 1979-1987, a segunda correspondeu ao período de 1988-1995, e o terceiro projeto e último concebido entre 1996-2000 (CBHSF, 2019).

A transposição é dividida em dois eixos principais: o eixo Leste e o eixo Norte, com o objetivo de aumentar a segurança hídrica, promover o desenvolvimento regional e mitigar os efeitos das secas. O eixo Leste, entrou em funcionamento em meados de 2017, integrando a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco à Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. O eixo Norte continuou em construção, até que em 2019 iniciou a fase de operação.

O Relatório de Impacto Ambiental do PISF elaborado pelo MI - Ministério de Integração Nacional (2004), expõe os impactos do projeto na sua fase de operação, que incluem tanto benefícios quanto desafios (Quadro 3). De acordo com a resolução CONAMA nº 01/1986, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança, o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Os impactos positivos previsto durante a fase de operação do PISF incluem o aumento da oferta hídrica, dinamização da economia regional, abastecimento urbano e rural, redução da exposição a secas e incorporação de novas áreas agrícolas (MI, 2004). No entanto, há também impactos negativos, como a modificação das comunidades biológicas aquáticas, riscos sociais e interrupções comunitárias, pressão sobre a infraestrutura urbana e interferências culturais e indígenas (MI, 2004).

Quadro 3: Impactos positivos e negativos previstos para a fase de operação do Projeto de Integração do Rio São Francisco

<b>Impactos Positivos</b>	<b>Impactos Negativos</b>
Aumento da oferta e garantia hídrica	Perda temporária de empregos e renda
Dinamização da economia regional	Modificação das comunidades biológicas aquáticas
Abastecimento urbano e rural	Riscos sociais e interrupções comunitárias
Redução da exposição a secas	Pressão sobre a infraestrutura urbana
Incorporação de novas áreas agrícolas	Interferências culturais e indígenas
Melhoria da qualidade da água	Perda de áreas com vegetação nativa
Diminuição do êxodo rural	Risco de espécies de peixes daninhas
Redução de doenças e óbitos	Alterações no regime fluvial
Menor pressão sobre a infraestrutura de saúde	

Fonte: MI (2004).

Apesar dos benefícios, há preocupações significativas sobre as implicações físicas, químicas e biológicas para as bacias doadoras e receptoras, que podem comprometer a viabilidade a longo prazo (Barbosa et al., 2021; Paiva et al., 2024). Bozorg-Haddad et al. (2024) ressaltam que os projetos de transposição muitas vezes não consideram todos os aspectos necessários, e os efeitos das mudanças climáticas não podem ser subestimados.

Gohari et al. (2013) apontam que fornecer mais água sem considerar a dinâmica dos problemas inter-relacionados leva a um aumento na demanda, exacerbado pelo desenvolvimento econômico e crescimento populacional. Brito et al. (2020) destacam que a crescente demanda por água na bacia receptora compromete a eficácia do projeto, ressaltando a necessidade de gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos. Madani

e Mariño (2009) analisam como a dependência excessiva dos sistemas de transposição pode criar uma falsa sensação de segurança hídrica, retardando a implementação de medidas de gestão da demanda e conservação de água.

Baharanchi et al. (2024) corroboram que a transferência interbacias de água é frequentemente uma solução temporária para a escassez de água, mas pode levar a uma maior escassez no longo prazo devido ao desenvolvimento e ao aumento do uso de água na bacia receptora. O estudo indica que fornecer mais água para a bacia sem considerar a dinâmica dos problemas inter-relacionados leva ao aumento da demanda de água, resultando em escassez recorrente.

Os impactos socioeconômicos das transferências interbacias de água são variados e significativos. Embora os projetos de transposição busquem impulsionar o desenvolvimento econômico regional, eles também podem gerar conflitos entre usuários de água das bacias doadoras e receptoras, além de altos custos de construção, operação e manutenção dos sistemas de transposição (Andrade et al., 2011). Empinotti et al. (2019) destacam como a crise hídrica em São Paulo foi exacerbada por conflitos institucionais e pela governança inadequada dos recursos hídricos.

Zhao et al. (2015) discutem como os benefícios econômicos de curto prazo podem ser contrabalançados pelos custos de longo prazo e pelos impactos adversos nas bacias exportadoras. Madani e Lund (2012) analisam os impactos sociais das transferências interbacias, destacando como esses conflitos por recursos hídricos pode gerar tensões sociais e aumentar a vulnerabilidade das comunidades a escassezes futuras.

A qualidade da água nos sistemas receptores pode ser severamente afetada pelas transferências interbacias. Zhuang (2016) discute como a transferência de água pode introduzir novos poluentes e nutrientes nas bacias receptoras, resultando em problemas como a eutrofização e o crescimento de algas tóxicas. Esses problemas são exacerbados quando a água transferida passa por regiões secas e acumula nutrientes e matéria orgânica, como observado no estudo de Barbosa et al. (2021), que identificou uma diminuição da qualidade da água para os reservatórios nos municípios de Camalaú e Boqueirão, no estado da Paraíba, mananciais receptores das águas do PISF.

Por fim, Farias e Diniz (2017) abordam os impactos da operação do sistema de transposição hídrica do PISF, especialmente no contexto da bacia hidrográfica do Rio

Paraíba, no estado da Paraíba. Eles destacam que a operação do sistema enfrenta desafios significativos relacionados às perdas hídricas durante o transporte da água.

O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) foi uma alternativa essencial para mitigar o desabastecimento em uma região que enfrentava uma de suas maiores secas da história. No entanto, a sustentabilidade de longo prazo desse projeto depende não apenas da infraestrutura existente e do volume de água transferido, mas também da gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

Para garantir sua efetividade, é fundamental a implementação de medidas como controle da demanda, reutilização da água, incentivo à conservação e conscientização ambiental. Sem esses esforços, a transposição pode gerar consequências adversas no futuro, comprometendo seus benefícios esperados. Dessa forma, o PISF contribuirá para a segurança hídrica futura somente se for acompanhado de políticas públicas que assegurem o acesso equitativo à água e fortaleçam a resiliência dos sistemas hídricos diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo crescimento populacional.

### **2.3 Modelos de Segurança Hídrica**

A revisão da literatura sobre métodos de análise de impactos ambientais associados à segurança hídrica apresenta diferentes modelos utilizados para avaliar e gerenciar os desafios relacionados aos recursos hídricos e seus impactos no meio ambiente. O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER), proposto pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) em 1993, é empregado para identificar os impactos dos sistemas de abastecimento de água e desenvolver estratégias para combater a escassez hídrica. Além disso, Li et al. (2019) desenvolveram e aplicaram esse modelo para criar um método de avaliação abrangente para gerenciar e avaliar o desempenho do ambiente hídrico na China Central.

Já o modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR), introduzido pela UNEP em 1994, foi utilizado por Anandhi e Kannan (2018), para quantificar a vulnerabilidade dos recursos hídricos, conforme exemplificado. Lopes *et al.* (2022) também utilizaram o PEIR para identificar os impactos no sistema de abastecimento de água e desenvolver respostas para a escassez hídrica. Os autores Van Ginkel et al. (2018) usaram o modelo PEIR para desenvolver um conjunto de 56 indicadores com o objetivo de criar o Urban Water Security Dashboard, que caracteriza e avalia a segurança hídrica das cidades através de uma abordagem sistêmica, capturando diferentes aspectos e desafios da

segurança hídrica urbana. Hoekstra *et al.* (2018) utiliza o esquematismo PEIR para descrever e analisar sistemas socioambientais que enfrentam mudanças, particularmente em contextos urbanos relacionados à segurança hídrica.

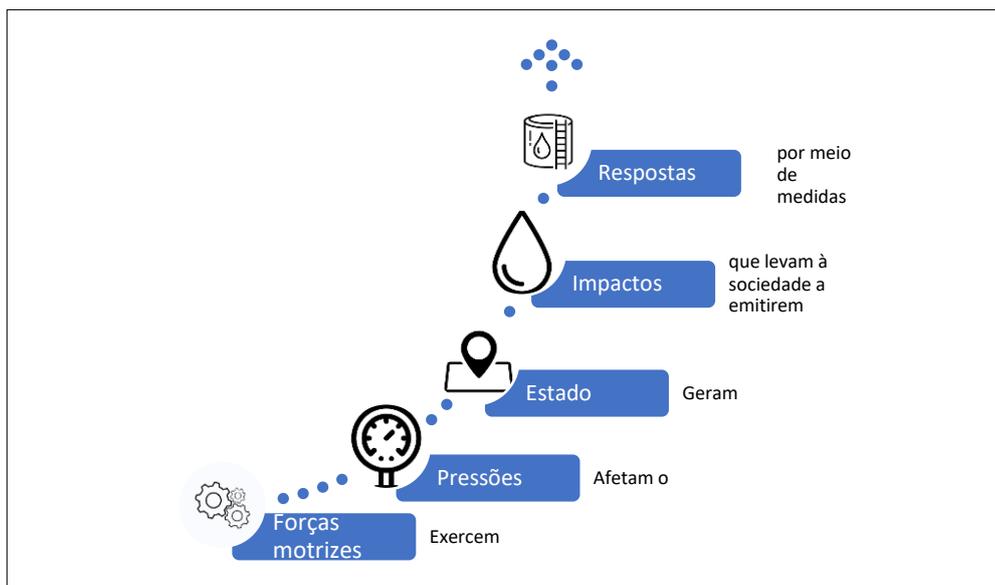
O Modelo Forças Motrizes-Pressão-Estado-Exposição-Efeitos-Ações (FPEEEA), criado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 1996, foi utilizado para explorar a ligação entre doenças relacionadas à água e suas forças motrizes significativas, avaliando os impactos na saúde pública e orientando intervenções eficazes. (Gentry-Shields e Bartram, 2014).

O modelo Reliability, Resilience, Vulnerability (RRV), inicialmente proposto no contexto dos recursos hídricos por Hashimoto *et al.* (1982), é adotado para avaliar a performance de sistemas de recursos hídricos, como reservatórios, analisando a frequência de operações satisfatórias, a capacidade de recuperação rápida após falhas e a gravidade das consequências das falhas. Kang Ren *et al.* (2020) aplicaram o modelo RRV para avaliar a performance de um sistema de múltiplos reservatórios em um projeto de transposição na China, analisando a confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade frente a incertezas climáticas.

### 2.3.1 Modelo de Análise de Impactos: Matriz FPEIR

A Agência Europeia de Meio Ambiente (EEA, 1999), considerando as estruturas pressão-estado-resposta (PER) e pressão-estado-impacto-resposta (PEIR) desenvolveu o modelo DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response), o qual, em português significa força motriz-pressão-estado-impacto-resposta (FPEIR). O formato FPEIR explicita as conexões entre as causas dos problemas ambientais, suas pressões, estados, seus impactos e respostas da sociedade. Por ser baseado em relação causa-efeito, o sistema interliga, portanto, as atividades humanas que exercem pressão sobre o meio ambiente (ou o sistema) com a alteração da qualidade e quantidade dos recursos naturais (estado) que causam os impactos (Figura 1).

Figura 1: Esquema do modelo FPEIR



Fonte: EEA (1999; 2003).

A EEA (1999, 2003) define as categorias do sistema FPEIR da seguinte forma:

- Forças motrizes (F) descrevem os desenvolvimentos social, econômico e demográfico da sociedade;
- Os indicadores de pressão (P) descrevem as pressões sobre os recursos naturais e o uso do solo pelas atividades humanas;
- Os indicadores de estado (E) possibilitam a condição atual do meio ambiente e recursos naturais, ou sistema;
- As mudanças no estado produzem os impactos (I) nas funções ambientais ou no funcionamento do sistema;
- As respostas (R) são ações exercidas pela sociedade (grupos ou indivíduos) e pelo governo para prevenir, compensar, melhorar ou adaptar-se aos impactos.

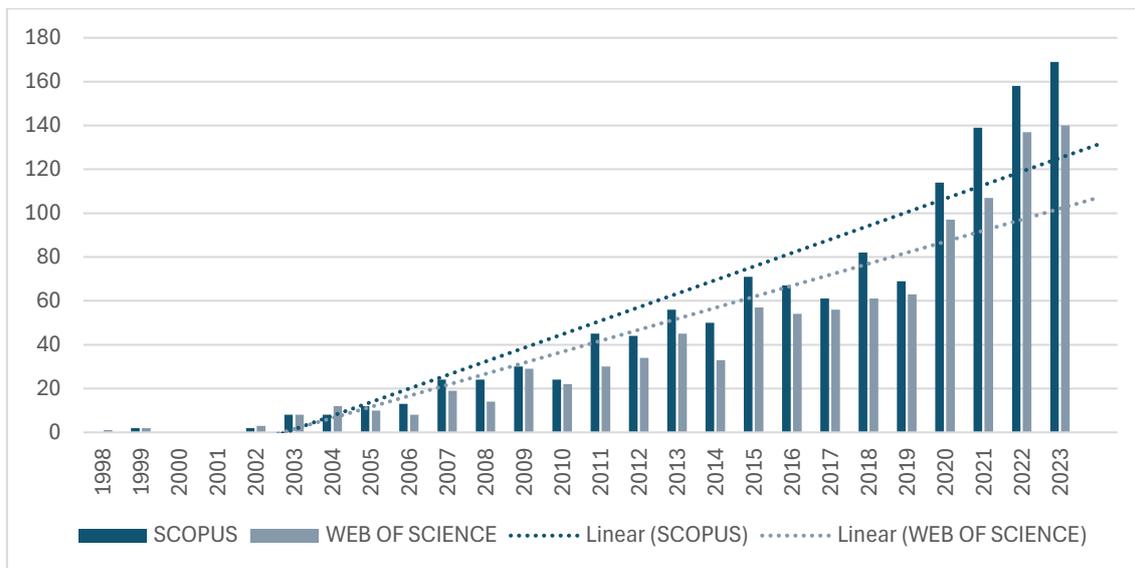
Os conceitos do FPEIR evoluíram para enfrentar melhor a complexidade das questões ambientais (Vannevel, 2018; Tscherning et al., 2012; Folkens et al., 2023). O modelo vem sendo aplicado como uma ferramenta isolada ou integrada a outras ferramentas, no âmbito dos recursos hídricos e meio ambiente. Ele foi utilizado para analisar eventos de baixo fluxo de água e suas consequências socioeconômicas por Folkens et al., (2023), Mendes *et al.* (2024) empregaram o modelo para construir um Índice de Segurança Hídrica para municípios nas sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba, no Brasil. Araújo et al. (2018) integra a modelagem de alocação de água ao sistema FPEIR para avaliar as estratégias de gerenciamento da demanda hídrica em uma

bacia hidrográficasha- no semiárido nordestino. Obubu *et al.* (2022) avaliaram as dinâmicas entre mudança do solo e urbanização, identificando forças motrizes e impactos da mudança na cobertura do solo e das mudanças climáticas no ambiente e nos meios de subsistência na África. Yousafzai *et al.* (2022) analisaram as dinâmicas entre urbanização e uso do solo, enquanto Sha-Shi (2021) desenvolveu um índice para avaliar a segurança hídrica urbana na China, utilizando o FPEIR.

Esses estudos fornecem valiosas contribuições para a avaliação da segurança hídrica, oferecendo uma base teórica e metodológica sólida com exemplos práticos do modelo FPEIR e integração de aspectos socioeconômicos e ambientais. No entanto, essas aplicações podem ser restritas a contextos específicos e dependem principalmente de dados secundários, que podem deixar lacunas ou não refletir a situação atual com precisão. Este estudo visa contribuir para a literatura ao aplicar o modelo FPEIR em pequenos municípios de uma região semiárida, utilizando dados primários que refletem a perspectiva local sobre a segurança hídrica, geralmente invisível nos sistemas nacionais oficiais, integrado a uma análise longitudinal e cumulativa, oferecendo uma visão mais abrangente dos impactos e uma base para a formulação de políticas públicas mais eficazes e contextualizadas. A complementação aos estudos existentes será realizada por meio da comparação de resultados encontrados em outras áreas de aplicação e preenchimento de lacunas destes, como a falta de dados primários e a análise específica de pequenos municípios no semiárido.

Um levantamento bibliométrico no banco de dados *Scopus* revelou 1.345 resultados para a pesquisa inicial que continha os termos “driver-pressure-state-impact-response”, “DPSIR”, “forças-motrizes-pressões-estado-impacto-resposta” e “FPEIR” nos campos “título”, “resumo” ou “palavras-chave” entre 1998 e 2024. A pesquisa no banco de dados *Web of Science* retornou 1.091 resultados para a busca “DPSIR” ou “driver-pressure-state-impact-response”. Isso demonstra a relevância contínua de pesquisas relacionadas ao modelo FPEIR, assim como o aumento anual de publicações nessa área, sendo 54% das publicações ocorrendo nos últimos 5 anos, para ambos os bancos de dados (Figura 2).

Figura 2: Quantidade de documentos publicados por ano relacionados com o modelo FPEIR



Fonte: Scopus (2024); Web of Science (2024).

Sendo assim, foi escolhido o modelo FPEIR, a partir da revisão teórica realizada, para avaliação da segurança hídrica em pequenos municípios, ressaltando os impactos relacionados ao PISF nas áreas atendidas pelas infraestruturas hídricas, utilizando e integrando dados de ciência cidadã e abordagem cumulativa, para fornecer uma visão realista desses impactos, a partir de percepção dos usuários finais.

## 2.4 Ciência Cidadã

Os estudos sobre ciência cidadã abordam um campo emergente que promove a colaboração entre cientistas e o público na coleta, análise e interpretação de dados científicos (Bonney et al., 2009; 2015). Essa abordagem democratiza o conhecimento científico, permitindo que indivíduos de diversas formações contribuam ativamente para resolver problemas complexos (Lewenstein, 2022), ampliando seu impacto social e incentivando uma maior educação e conscientização pública sobre questões críticas (Bonney, 2009).

A ciência cidadã abrange uma ampla gama de projetos, desde monitoramento ambiental até questões de saúde pública (Bonney et al., 2016). Segundo Lewenstein (2016), ela pode ser definida como a participação ativa de cidadãos não cientistas em iniciativas científicas, geralmente por meio da coleta de dados, monitoramento ambiental ou análise de informações. Bonney et al. (2009) destacam que o nível de engajamento

varia desde contribuições passivas até o envolvimento ativo no planejamento e implementação de pesquisas.

Strasser et al. (2019) analisam a evolução do termo "ciência cidadã" ao longo do tempo. Alan Irwin (1995) e Richard Bonney (1996) são frequentemente citados como pioneiros na formulação do termo do século XX, embora com visões distintas. Irwin (1995) definiu "ciência cidadã" como uma abordagem voltada para os interesses da sociedade, promovendo uma ciência mais democrática e responsiva às preocupações do público, valorizando o conhecimento local como um elemento para influenciar as políticas científicas e tecnológicas. Por outro lado, Richard Bonney (1996), em seus projetos no Cornell Lab of Ornithology, utilizou o termo para descrever a colaboração entre amadores e profissionais na coleta de dados, com o objetivo de promover a educação e o envolvimento público em ciência.

As diferenças entre essas abordagens consistem no papel dos cidadãos: enquanto Irwin enfatiza a democratização e a influência do público nas decisões científicas, Bonney enfatiza a coleta de dados e a formação educacional dos participantes. Embora ambos os conceitos, sejam fundamentais para compreender a ciência cidadã, a definição de Bonney tornou-se a mais amplamente utilizada, sendo a ciência cidadã vista como um método para envolver não-cientistas na condução do trabalho científico (Lewenstein, 2022).

De acordo com McKinley et al. (2016), a ciência cidadã evoluiu consideravelmente. Inicialmente restrita à participação direta do público em projetos científicos, sua abrangência expandiu-se com o avanço tecnológico, especialmente com o uso de smartphones e plataformas digitais, que ampliaram o escopo e a escala de participação (Bonney et al., 2021). Essas inovações não apenas facilitaram a coleta e o compartilhamento de dados, mas também permitiram que a ciência cidadã desempenhasse um papel estratégico na formulação de políticas públicas e na gestão de recursos naturais, reforçando a necessidade de um design cuidadoso e de avaliações rigorosas para garantir a qualidade e a relevância dos dados coletados (McKinley et al., 2016).

A coleta de dados é uma das atividades mais comuns na ciência cidadã. Exemplos de projetos bem-sucedidos incluem:

- eBird, uma plataforma global que permite aos cidadãos registrar observações de aves, contribuindo para estudos de biodiversidade e monitoramento de espécies ameaçadas (Sullivan, 2009)
- Galaxy Zoo projeto que permite que voluntários ajudem cientistas profissionais a classificar galáxias (Lintott et al., 2008). Foi lançado em 2007 e rapidamente se tornou um dos projetos de ciência cidadã mais populares e bem-sucedidos. (Bonney et al. 2021; Strasser et al., 2019).
- City Sense, parte do CITI-SENSE, consiste em um projeto que promove o empoderamento de cidadãos no monitoramento ambiental por meio de "observatórios cidadãos", onde indivíduos coletam dados sobre qualidade do ar, da água e condições climáticas, especialmente em áreas afetadas por desastres naturais ou poluição ambiental (CITI-SENSE, 2024).

A ciência cidadã fortalece a formulação de políticas públicas ao fornecer dados para planejamento urbano, gestão hídrica e conservação ambiental (Strasser et al., 2019). Entre os benefícios da ciência cidadã, destacam-se a democratização do conhecimento, que amplia o acesso à ciência e empodera comunidades locais; a ampliação da escala de pesquisa, que permite a coleta de grandes volumes de dados em regiões amplas; e a conscientização ambiental, que promove o engajamento da sociedade sobre questões ambientais e sociais (Bonney et al., 2015). Em contrapartida, Lewenstein (2022) discute a limitação da representatividade nos projetos de ciência cidadã, questionando se a democratização do conhecimento ocorre de fato ou se é restrita a grupos específicos. Dessa forma, uma análise mais detalhada das características demográficas dos participantes é necessária para entender se a ciência cidadã está realmente contribuindo para a democratização do conhecimento.

Além disso, os desafios enfrentados no âmbito da ciência cidadã englobam a validade dos dados científicos, pois a falta de treinamento técnico pode comprometer a precisão dos dados coletados (McKinley et al., 2016). Por isso, destaca-se a importância do gerenciamento rigoroso de dados para garantir sua qualidade, acessibilidade e transparência. Além disso, a infraestrutura tecnológica, requer plataformas digitais robustas para gerenciar e analisar dados.

Bonney et al. (2015, 2016, 2021) destacam a importância de fornecer treinamento adequado aos participantes dos projetos de ciência cidadã para assegurar a correta coleta

de dados e a plena compreensão dos objetivos do projeto. Esse cuidado é essencial para garantir a qualidade e a confiabilidade das informações coletadas. Além disso, esses autores abordam o desafio de manter o engajamento dos participantes ao longo do tempo, uma questão crítica para a sustentabilidade dos projetos de ciência cidadã. Eles enfatizam que a motivação e o interesse dos participantes podem flutuar e que estratégias eficazes de design de projetos e comunicação contínua são fundamentais para manter os cidadãos cientistas ativamente envolvidos e comprometidos com o trabalho científico (Bonney et al., 2021).

Com o avanço da tecnologia e a crescente necessidade de resolver problemas globais como mudanças climáticas e segurança hídrica, a ciência cidadã tem o potencial de se tornar uma ferramenta útil para a tomada de decisões baseadas em evidências. Investir em educação e em plataformas acessíveis será crucial para maximizar seu impacto (Bonney et al., 2021).

Alves et al. (2021) destacam que a implementação de abordagens integradas e baseadas na ciência cidadã pode oferecer contribuições valiosas para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão de riscos e recursos naturais, reforçando assim a resiliência das comunidades impactadas por eventos extremos.

Diante disso, a ciência cidadã pode ser uma ferramenta para a GIRH, permitindo que os participantes contribuam ativamente para a coleta e análise de dados, tornando a governança mais participativa e eficiente. No contexto da segurança hídrica, os dados obtidos por meio da ciência cidadã podem fornecer uma visão mais detalhada sobre a variabilidade dos recursos hídricos e os desafios enfrentados pelas populações, auxiliando na formulação de políticas públicas mais realistas e adaptadas às necessidades locais.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo está dividido em três seções: 3.1 Classificação da pesquisa científica e tipo de dados, 3.2 Caracterização da área de estudo e 3.3 Procedimentos metodológicos, que descrevem as etapas adotadas para o cumprimento dos objetivos propostos.

#### **3.1 Classificação da pesquisa científica e tipo de dados**

Prodanov e Freitas (2013) estabelecem quatro critérios para classificar pesquisas científicas: natureza, objetivos, procedimentos técnicos e abordagem do problema. Segundo esses critérios, esta pesquisa é classificada como aplicada, focada em gerar conhecimentos práticos para resolver problemas de segurança hídrica no Sistema Hídrico Poções - Epitácio Pessoa. Os objetivos são descritivos e explicativos, visando compreender e detalhar os impactos da integração das águas do PISF nos municípios estudados, além de investigar as causas e efeitos das mudanças no abastecimento hídrico.

Em termos de procedimentos técnicos, o estudo adota uma abordagem documental e de campo, classificando-se como estudo de caso e pesquisa participativa, utilizando dados secundários de longo prazo e dados primários de entrevistas. Metodologicamente, combina técnicas quantitativas e qualitativas (Creswell, 2013), permitindo a análise integrada que oferece uma visão mais completa dos fenômenos estudados. Além disso, possui um caráter longitudinal, o que facilita o acompanhamento dos impactos ao longo do tempo, proporcionando uma análise detalhada das tendências relacionadas à segurança hídrica nos locais pesquisados.

#### **3.2 Área de estudo**

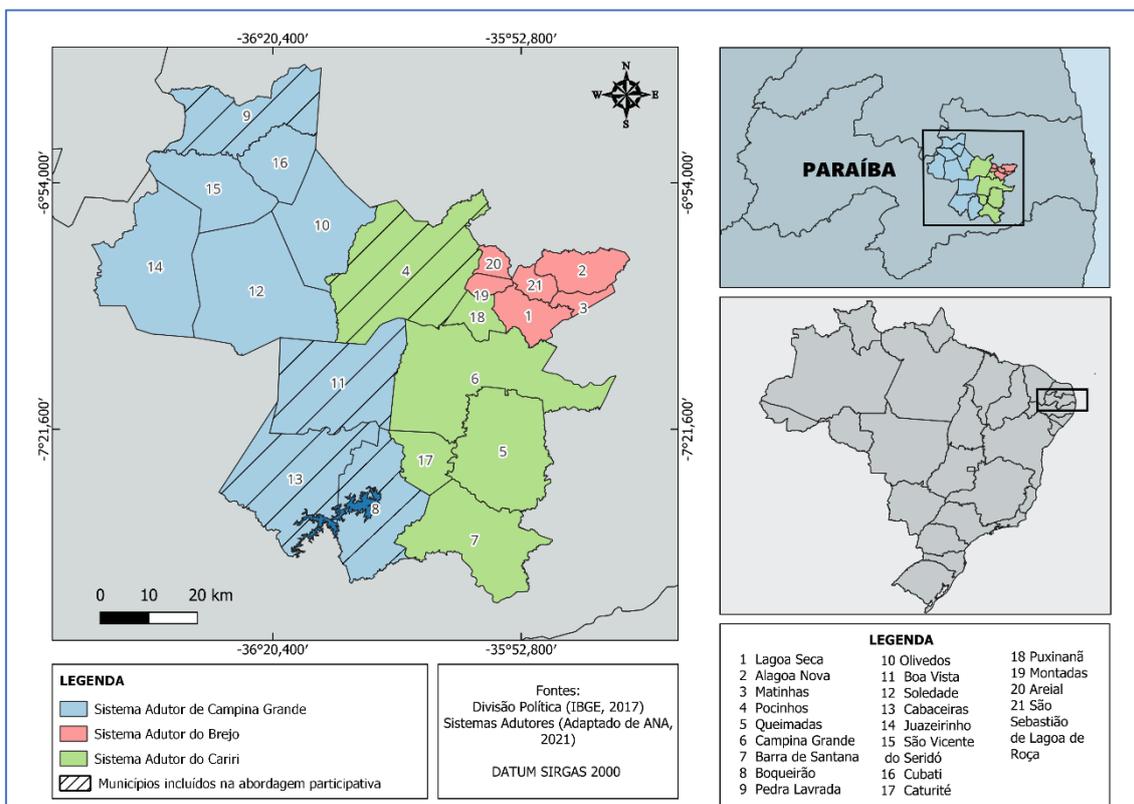
A área de estudo desse artigo são os 21 municípios paraibanos atendidos pelo Sistema Hídrico Poções-Epitácio Pessoa, que recebe aporte das águas do Rio São Francisco por meio do Eixo Leste da Transposição (Figura 3), por meio dos sistemas adutores, cuja captação ocorre num reservatório artificial, o Açude Epitácio Pessoa. A área estudada está localizada no semiárido nordestino brasileiro, caracterizados por baixas precipitações anuais, cursos d'água intermitentes e baixas produtividades de águas subterrâneas, devido às características hidrogeológicas das rochas cristalinas, sobre as quais os solos são formados (Campos, 2015; Magalhães, 2016).

O bioma predominante da região é a caatinga, que também ocupa a maior parte do semiárido brasileiro. Na região, a produção agropecuária destaca-se com a criação de

bovinos, caprinos, ovinos e suínos. A produção agrícola é realizada de três maneiras distintas: a agricultura de sequeiro, que acontece durante a estação chuvosa; a agricultura de vazante, que é praticada nas margens dos corpos d'água à medida que secam; e a agricultura irrigada, que exige a instalação de um sistema para captar água de um reservatório (Brito et al., 2021a; Silva et al., 2013). Dentro da área de estudo, a agricultura irrigada ocorre majoritariamente às margens do Açude Epitácio Pessoa.

O semiárido enquadra-se como a área mais seca do Brasil. As precipitações anuais, se concentram principalmente entre fevereiro e maio, e variam entre 400 e 800 mm (Brito et al., 2021a). Brito et al. (2020) realizou a análise temporal que revelou uma significativa perda de superfície hídrica entre 2012 e 2017, destacando a vulnerabilidade hídrica dos estados localizados no semiárido, com a disponibilidade de água superficial cada vez mais dependente das variações na precipitação. A pesquisa destacou a Paraíba como estado detentor do menor registro de superfície hídrica, evidenciando o colapso de diversos açudes e a consequente proibição da irrigação em muitas regiões, além de perdas críticas no setor agropecuário, que ocorreu dentro desse período seco.

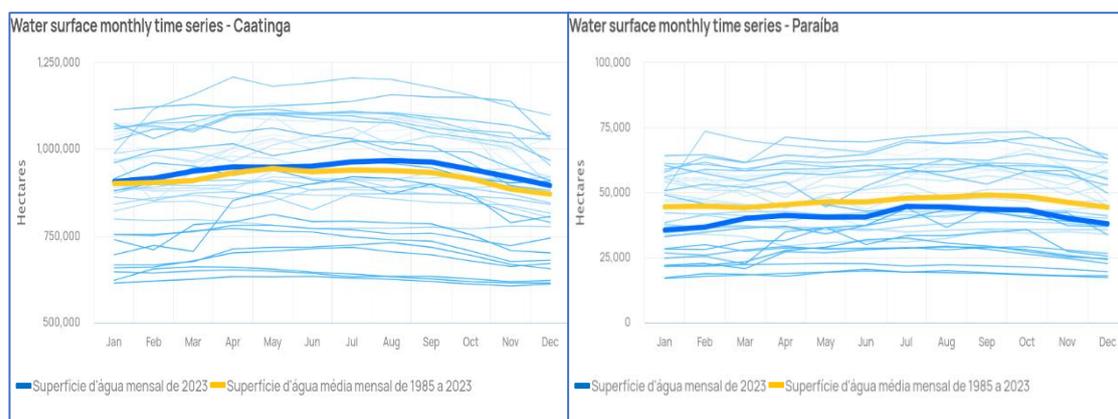
Figura 3: Municípios atualmente atendidos pelo Sistema Hídrico Poções-Epitácio Pessoa, por meio dos sistemas adutores que captam água no açude Epitácio Pessoa



Fonte: Adaptado de Meneses et al. (2021)

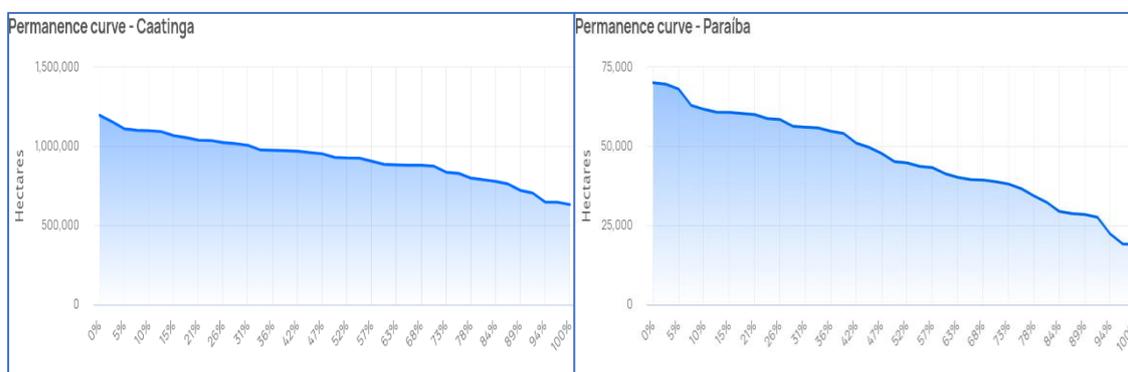
O Mapbiomas Água<sup>1</sup> constatou que, entre 2018 e 2023, após um longo período de seca nos anos anteriores (uma das maiores da história), foi possível observar uma tendência de acréscimo na superfície de água e a consolidação de um ciclo mais chuvoso na Caatinga. No entanto, a curva de permanência da superfície de água de 1985 a 2023 evidencia um declínio gradual da área de corpos hídricos na Caatinga, especialmente na Paraíba. O gráfico estatístico mensal mostra que a superfície da água em 2023 esteve acima da média do período analisado. Contudo, na Paraíba, a superfície da água se manteve abaixo da média em todos os meses do ano. Juntamente com o estado de Pernambuco, a Paraíba apresentou o pior balanço da superfície de água em 2023 em relação à série histórica.

Figura 4: Série histórica mensal da superfície da água para o bioma da Caatinga (a) e para o estado da Paraíba (b)



Fonte: Mapbiomas (2024).

Figura 5: Curva de permanência para o bioma da Caatinga (a) e para o estado da Paraíba (b)



Fonte: Mapbiomas (2024).

<sup>1</sup> <https://plataforma.agua.mapbiomas.org/water>

Excetuando-se Campina Grande, todos os municípios da área de estudo possuem menos de 50.000 habitantes e são classificados como de pequeno porte, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Essa classificação é frequentemente utilizada no desenvolvimento de políticas públicas. De acordo com o IBGE (2018), esses municípios são "Centros Locais", ou seja, possuem uma influência regional limitada, atendendo principalmente às necessidades básicas e imediatas de suas populações locais e circunvizinhas. Esses municípios são caracterizados por uma menor densidade populacional, uma oferta restrita de serviços e infraestrutura, e uma capacidade limitada de atração econômica e social (IBGE, 2018).

O SACA - Sistema Adutor do Cariri possui uma EEAB (Estação Elevatória de Água Bruta), 1 ETA (Estação de Tratamento de Água), 14 EEATs (Estações Elevatórias de Água Tratada). A Figura 6 exibe o sistema adutor e mostra 10 dos 14 reservatórios de distribuição do sistema. Os municípios de Boqueirão e Cabaceiras possuem 2 reservatórios elevados. De acordo com dados da ANA (2010), este manancial fornece uma vazão de 135 L/s para o Sistema Integrado do Cariri. O município de Cabaceiras também possui um sistema isolado com captação em poços artesianos, que não está em funcionamento.

O SACG - Sistema Adutor de Campina Grande possui 2 EEAB, 1 ETA, e 12 EEAT. De acordo com dados da ANA (2010), O Sistema Adutor de Campina Grande fornece uma vazão de 1100 L/s para a população dos municípios por ele atendidos (Figura 7/Figura 8). O SABR - Sistema Adutor do Brejo é uma nomenclatura utilizada pela CAGEPA - Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, prestadora de serviços, para uma adutora derivada de um reservatório de 13.280 m<sup>3</sup> de capacidade, localizado no município de Campina Grande, que atende os municípios de Lagoa Seca, São Sebastião de Lagoa de Roça, Alagoa Nova, Matinhas. Ainda segundo a prestadora, entre 2022 e 2023 houve a ampliação para Areial e Montadas, dois municípios ora atendidos por carros-pipa, devido ao colapso de seus sistemas isolados. As Figura 6, Figura 7 e Figura 8 contém os croquis dos sistemas adutores em funcionamento, que atendem os municípios da área de estudo, e transportam águas do PISF para os consumidores residenciais por meio de suas infraestruturas.

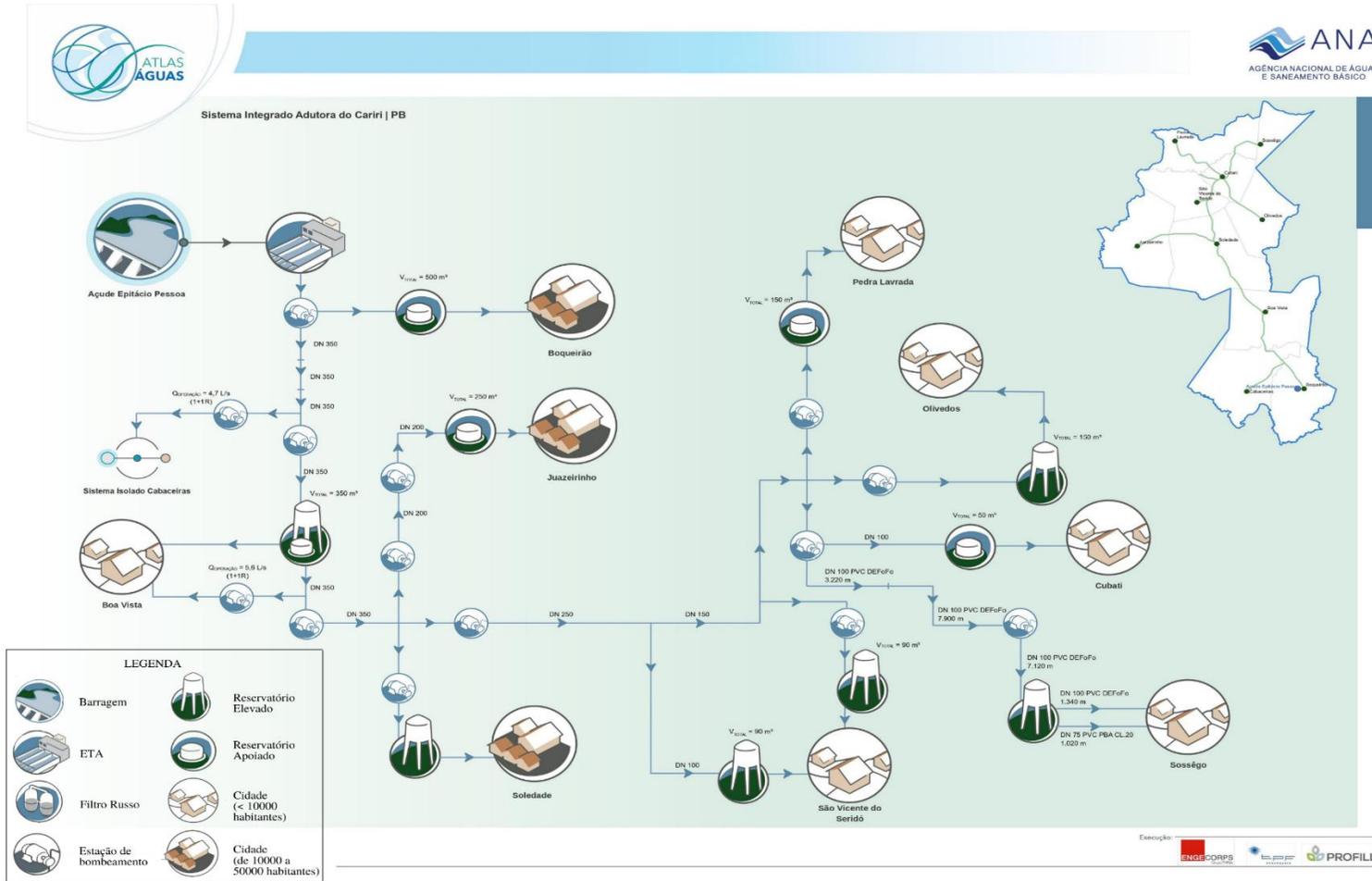
A Tabela 1 apresenta características dos sistemas adutores, no que tange os municípios representativos da área de estudo.

Tabela 1: Características dos sistemas dos municípios representativos da área de estudo

<b>Município</b>	<b>Vazão</b>	<b>Volume do reservatório de distribuição (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Sistema Adutor</b>
Boqueirão	<i>N.D.*</i>	500	SACA
Cabaceiras	4,7 L/s	150	SACA
Boa Vista	5,6 L/s	350	SACA
Pedra Lavrada	<i>N.D.*</i>	150	SACA
Pocinhos	<i>N.D.*</i>	750	SACG

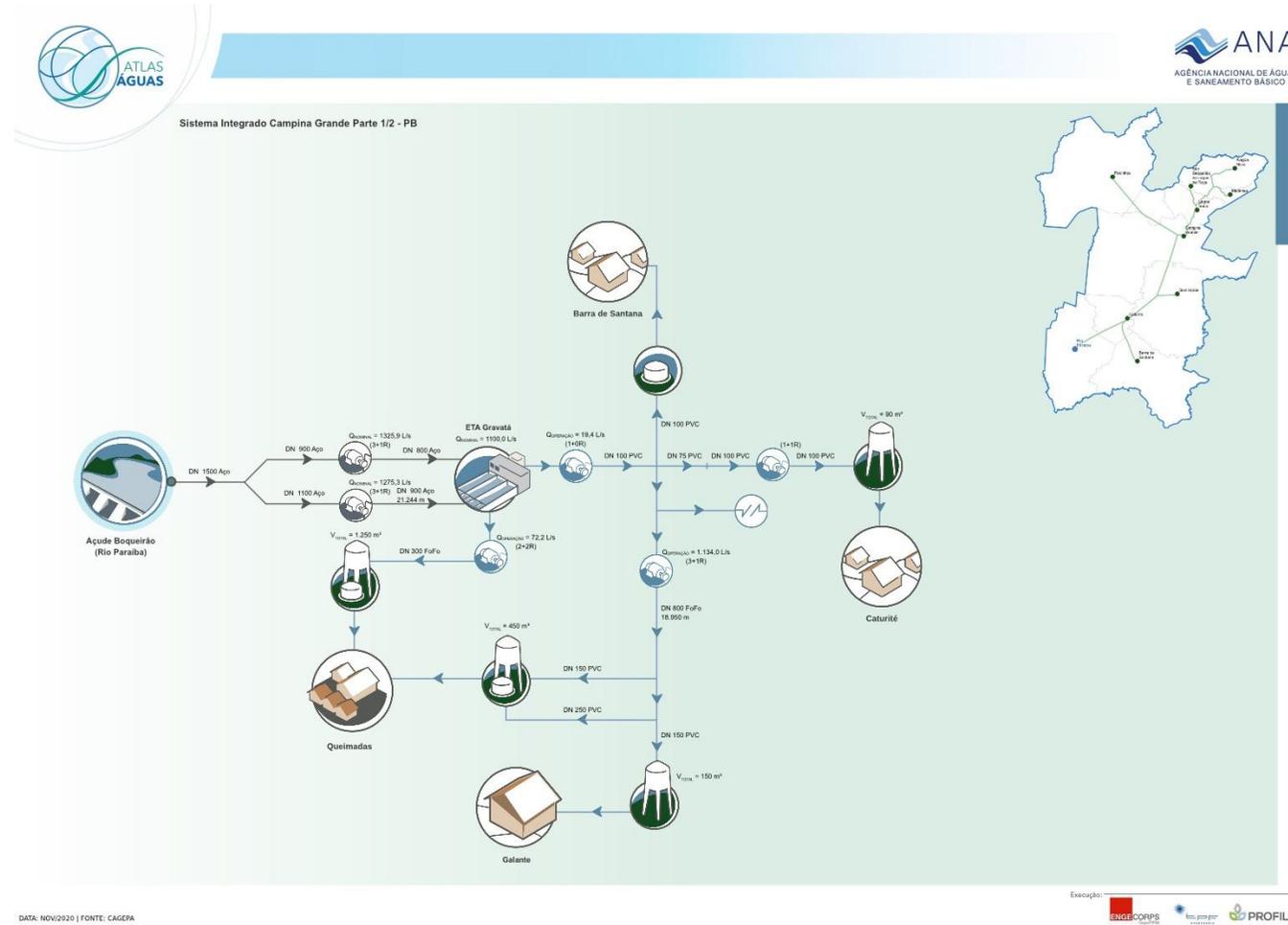
*\*N.I. = Não disponível. Fonte: ANA (2020)*

Figura 6: Croqui do Sistema Adutor do Cariri



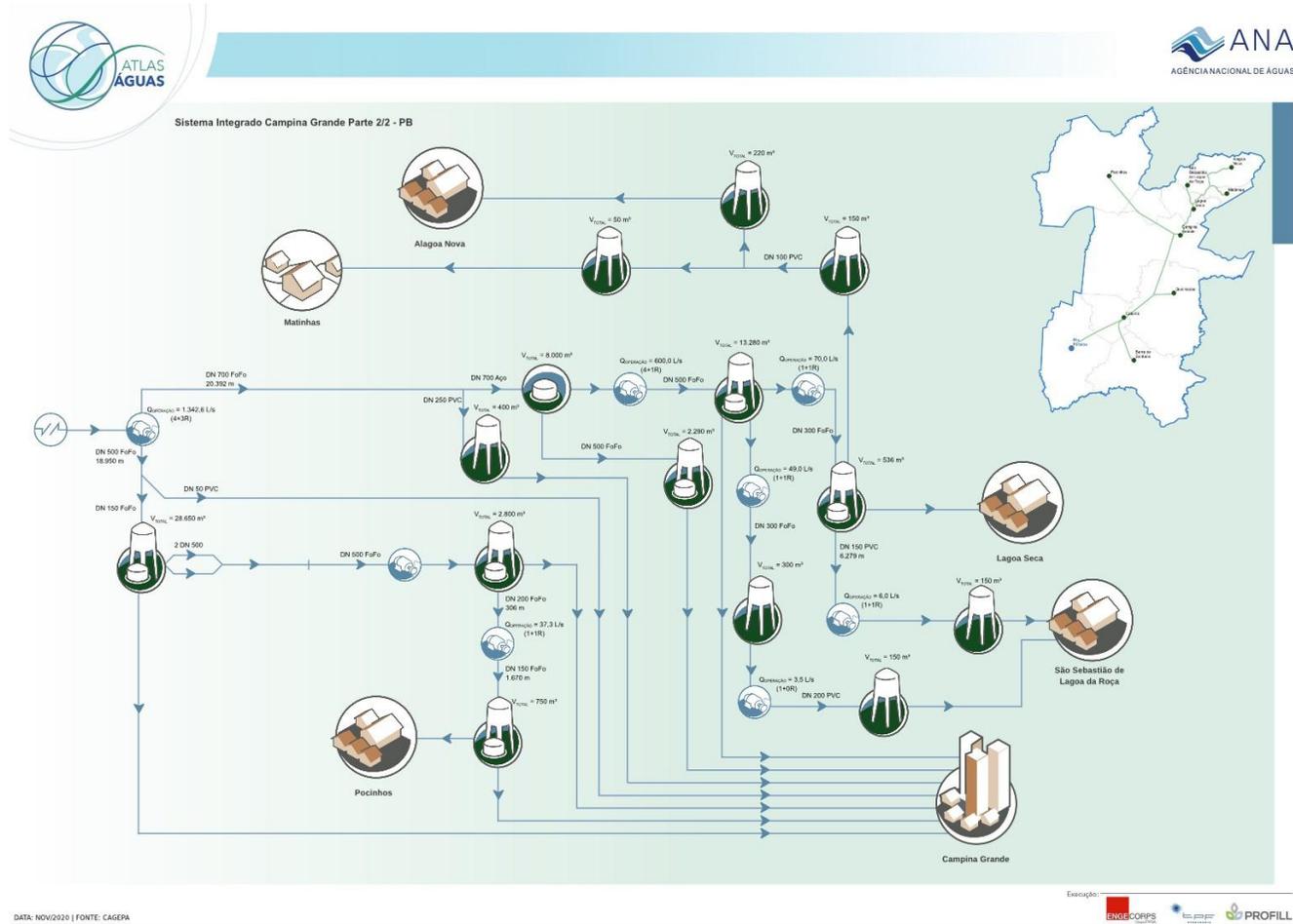
Fonte: ANA (2020)

Figura 7: Croqui do Sistema Adutor de Campina Grande 1/2



Fonte: ANA (2020)

Figura 8: Croqui do Sistema Adutor de Campina Grande 2/2



Fonte: ANA (2020)

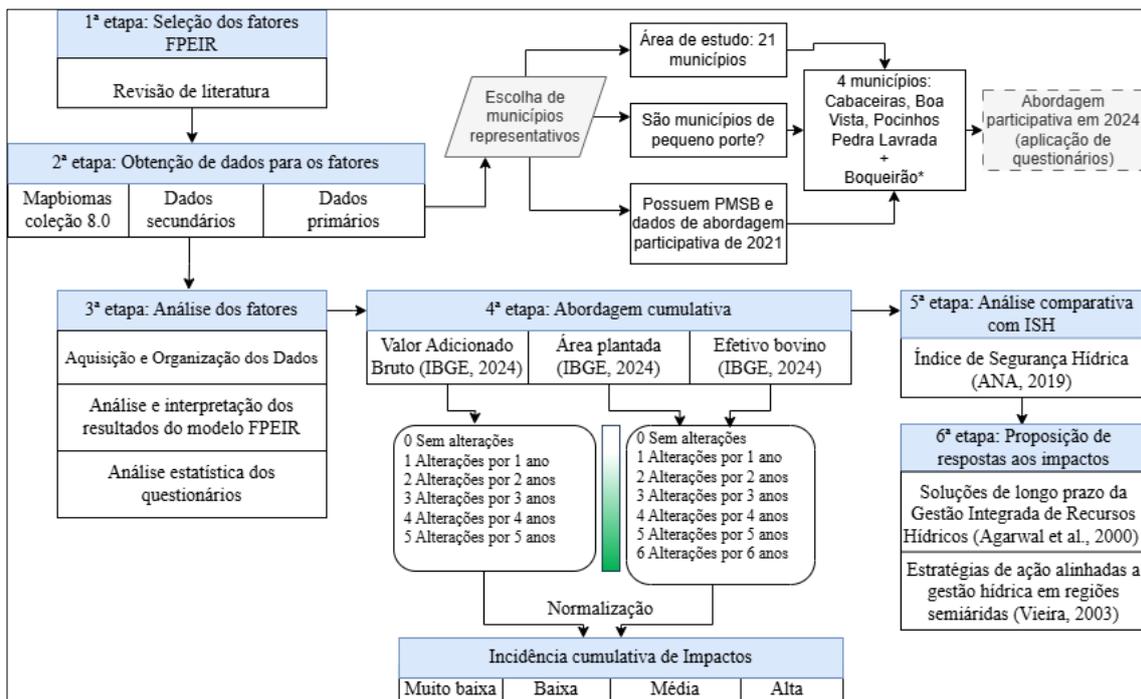
O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) tem como objetivo principal mitigar os impactos das secas no semiárido brasileiro por meio da transposição de águas entre bacias hidrográficas. A chegada das águas da transposição, aliada às chuvas registradas a partir de 2018, trouxe impactos positivos, como o fim do racionamento em Campina Grande e o restabelecimento do abastecimento em outros municípios. No entanto, mesmo com a “chegada das águas” e os mananciais fora do estado crítico, os municípios beneficiados continuam enfrentando dificuldades no fornecimento de água, uma vez que os sistemas de distribuição não conseguem atender de forma contínua às necessidades das populações.

Em 2021, um diagnóstico técnico-participativo foi realizado em 49 municípios com até 50 mil habitantes no estado da Paraíba, visando à elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). Esse diagnóstico indicou problemas no abastecimento público de água em sedes urbanas, incluindo municípios localizados na área beneficiada pelo PISF por meio de adutoras que captam água no Sistema Hídrico Poções Epitácio Pessoa, sendo estes: Cabaceiras, Boa Vista, Pocinhos e Pedra Lavrada, estão enfrentando racionamento e intermitências nas redes de distribuição dos sistemas. Esses quatro municípios, juntamente com Boqueirão, onde está localizado o reservatório Epitácio Pessoa, foram considerados representativos dos municípios de pequeno porte da área de estudo, devido às características sociodemográficas semelhantes e ao fato de serem atendidos pelas mesmas infraestruturas hídricas. Além disso, Boqueirão desempenha um papel importante na análise dos impactos, uma vez que foi realizada uma abordagem participativa com os irrigantes do açude, que será detalhada nas etapas posteriores.

### **3.3 Procedimento Metodológico**

A estrutura metodológica utilizada para esta pesquisa consistiu em uma *multi-methods approach* (abordagem multimétodos) e está exposta na Figura 9. A metodologia é dividida em seis etapas principais. Inicia-se com a seleção dos fatores FPEIR e uma revisão da literatura, seguida pela obtenção de dados através de Mapbiomas, dados secundários e dados de ciência cidadã, a partir de uma abordagem participativa realizada em cinco municípios, que foram considerados representativos para todos os municípios de pequeno porte da área de estudo, devido as características sociodemográficas semelhantes, e tendo em vista que são atendidos pelas mesmas infraestruturas hídricas. Esta etapa objetiva capturar os impactos da segurança hídrica na região. 3

Figura 9: Estrutura da Abordagem Multimétodos



- Nota: O município de Boqueirão não possui PMSB ou dados de abordagem participativa de 2021, no entanto foi somado aos municípios a fim de atender aos objetivos da abordagem participativa. Fonte: Autora Própria (2024).

### 3.3.1 Revisão de Literatura

O Quadro 4 apresenta uma síntese da revisão da literatura sobre a modelagem FPEIR, identificando fatores e fontes (bancos de dados), que constituiu a primeira etapa da pesquisa. Estudos subsequentes na literatura científica validam os fatores selecionados. Esse modelo estrutura-se em cinco dimensões principais: Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Resposta.

- **Forças Motrizes:** Esses fatores são os impulsionadores de base que afetam o uso e gestão dos recursos hídricos. No quadro, eles incluem o crescimento populacional e a urbanização. Esses elementos são cruciais, pois um aumento na população e a expansão urbana elevam a demanda por recursos hídricos e podem pressionar a capacidade de infraestrutura existente.
- **Pressões:** Referem-se às demandas diretas impostas sobre os recursos hídricos, como as demandas hídricas para diversos usos (residencial, industrial, agrícola). O entendimento dessas pressões é vital para gerenciar a sustentabilidade dos recursos hídricos.

- Estado: Esta dimensão analisa a condição atual dos recursos hídricos, incluindo a infraestrutura de abastecimento de água e a disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas, além dos aspectos climáticos que podem influenciar a disponibilidade de água.
- Impacto: Os impactos são as consequências das pressões sobre o estado dos recursos hídricos, observando-se limitações no acesso à água para consumo humano. Este aspecto é crucial para identificar as áreas mais vulneráveis e as necessidades urgentes de intervenção.
- Resposta: As respostas incluem as medidas adotadas para lidar com os impactos observados, como a adaptação da população às condições existentes e os investimentos em infraestrutura para melhorar o abastecimento e a gestão da água.

Cada uma dessas dimensões é suportada por fontes de dados específicas e ampla bibliografia, permitindo uma análise baseada em evidências que apoia a formulação de políticas e intervenções eficazes no contexto da segurança hídrica. A coleta de dados desses bancos de dados e serviços oficiais, assim como do plano municipal recente de saneamento básico (PMSB, 2021), compõe a segunda etapa.

Quadro 4: Referencial teórico consultado para elaboração dos fatores para formação da estrutura FPEIR (1ª etapa metodológica)

Dimensões	Fatores	Fonte dos dados	Bibliografia consultada
Forças Motrizes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento populacional</li> <li>• Urbanização</li> </ul>	IBGE (2000, 2010, 2022) Mapbiomas coleção 8.0 (2000, 2007, 2015, 2022)	Paiva et al. (2024); Yousafzai et al. (2022); Folkens et al. (2023); Hoekstra et al. (2018);
Pressões	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demandas hídricas</li> </ul>	ANA (2019)	Bozorg-Haddad et al. (2024); Hoekstra et al. (2018); Theodoro et al. (2016)
Estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestruturas de abastecimento de água</li> <li>• Disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas</li> <li>• Aspectos climáticos</li> </ul>	SNIS (2022) ANA (2019) SIAGAS (2024) AESA (2023)	Hoekstra et al. (2018); Guimarães Jr, 2016; Rocha; Soares, 2015 Walker et al. (2024); (Vieira, 2002, 2003)

Impacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitações no acesso a água para consumo humano</li> </ul>	PMSB (2021) SIGMA (2024)	Folkens et al. (2023); Hoekstra et al. (2018), Cordão et al. (2020); Brito et al. (2021b); Brito et al. (2017); Brasil (2004)
Resposta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptação da população</li> <li>• Investimentos em infraestrutura</li> </ul>	PMSB (2021) SIGMA (2024)	Paz et al. (2022); Cunha (2020); Rufino et al. (2021); Brito et al. (2017)

Fonte: Autoria própria (2024).

### 3.3.2 Obtenção de dados para os fatores

Na segunda etapa, procedeu-se à coleta de dados. Para isso, utilizou-se o período de 2016, um ano antes da chegada das águas da transposição, até 2024. Os dados foram analisados conforme a disponibilidade nesse intervalo. Quanto aos fatores de crescimento populacional e urbanização, optou-se por um período mais extenso, iniciando em 2000, para compreender melhor a dinâmica de crescimento da área estudada. Os procedimentos para coleta de dados de ciência cidadã coletados por meio da abordagem participativa estão descritas a seguir.

#### 3.3.2.1 Ciência Cidadã

O presente estudo utiliza a definição de ciência cidadã fornecida por Lewentain (2016), utilizada por Alves et al. (2021), que demonstra como os residentes das comunidades podem contribuir para a pesquisa através de suas observações e/ou esforços (participação).

Esse estudo utiliza dados de ciência cidadã, uma fonte de dados que promove maior entendimento e permite a caracterização dos impactos e das respostas à insegurança hídrica das populações dos municípios. Para tal, foram utilizados dados de cinco municípios de pequeno porte, representativos da área de estudo. As coletas de dados de ciência cidadã foram realizadas através da abordagem participativa desenvolvida nos anos de 2021 e 2024.<sup>2</sup> A abordagem participativa desenvolvida nesse

<sup>2</sup>A coleta de dados da abordagem participativa ocorreu em duas fases, a primeira durante a construção do Plano Municipal de Saneamento Básico dos Municípios, em 2021, desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em parceria com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). A segunda ocorreu no primeiro semestre de 2024, durante pesquisas de campo realizadas no contexto do projeto “Segurança Hídrica de municípios paraibanos: Uma modelagem Integrada da variabilidade climática e das dinâmicas naturais e antrópicas” (SIGMA).

trabalho foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Foram utilizados os dados dos questionários aplicados durante audiências públicas do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), realizadas em 2021, para identificar os cenários de abastecimento de água no município. Em 2024, na segunda fase, aplicamos questionários "porta a porta" como parte do Projeto SIGMA, nos mesmos municípios que representam a área de estudo. Esses questionários foram categorizados em 4 grupos principais (ver Quadro 2) e elaborados com base nas principais questões observadas em 2021 (o modelo dos questionários pode ser visualizado no Apêndice I). O objetivo era comparar os dados e avaliar os impactos do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

Quadro 5: Categorias de perguntas aplicadas durante a abordagem participativa em 2024.

<b>Categorias</b>	<b>Perguntas para os usuários de água para consumo humano</b>	<b>Perguntas para os usuários de água para irrigação</b>
1. Características sociodemográficas	Idade, Renda, Nível de escolaridade, local de moradia	
2. Características gerais de uso	Forma de abastecimento, armazenamento, e uso de fontes alternativas, compra de água	Método de irrigação e captação
3. Impactos no fornecimento e qualidade da água	Identificação de problemas com a falta de água, qualidade e mudanças após funcionamento do PISF	Avaliação da disponibilidade de água e qualidade. Principais mudanças observadas na produção após funcionamento do PISF
4. Sensação de segurança hídrica, e consumo racional de água.	Sentimento de segurança hídrica devido ao PISF	

### 3.3.2.2 Análise Multicritério e GIS para determinação das áreas com risco ao desabastecimento e delimitação da amostra

Para realização da coleta de dados de ciência cidadã, em 2024, determinou-se as áreas com risco de desabastecimento conforme a metodologia de Cordão et al. (2020), originalmente empregada em um estudo para uma cidade de médio porte na Paraíba. No presente estudo, foi utilizada essa abordagem para cinco pequenos municípios da região investigada, validando-a em campo através da ciência cidadã. Para isso, aplicaram-se

questionários em áreas com diferentes níveis de risco, nos quais os participantes reportaram a ocorrência e a periodicidade dos problemas de desabastecimento de água.

a. Definição de critérios

Os critérios considerados para o mapeamento das áreas com risco de desabastecimento de água, Quadro 6, são oriundos de Cordão et al. (2020). Foram utilizados sete critérios qualitativos e quantitativos: População (C1), Topografia (C2), Distância aos reservatórios de água (C3), Distância à estação de bombeamento (C4), Proximidade às principais tubulações (C5), Domicílios abastecidos (C6) e Renda (C7). O Quadro 1 descreve cada critério utilizado.

Quadro 6: Critérios selecionados para o mapeamento do risco ao desabastecimento de água

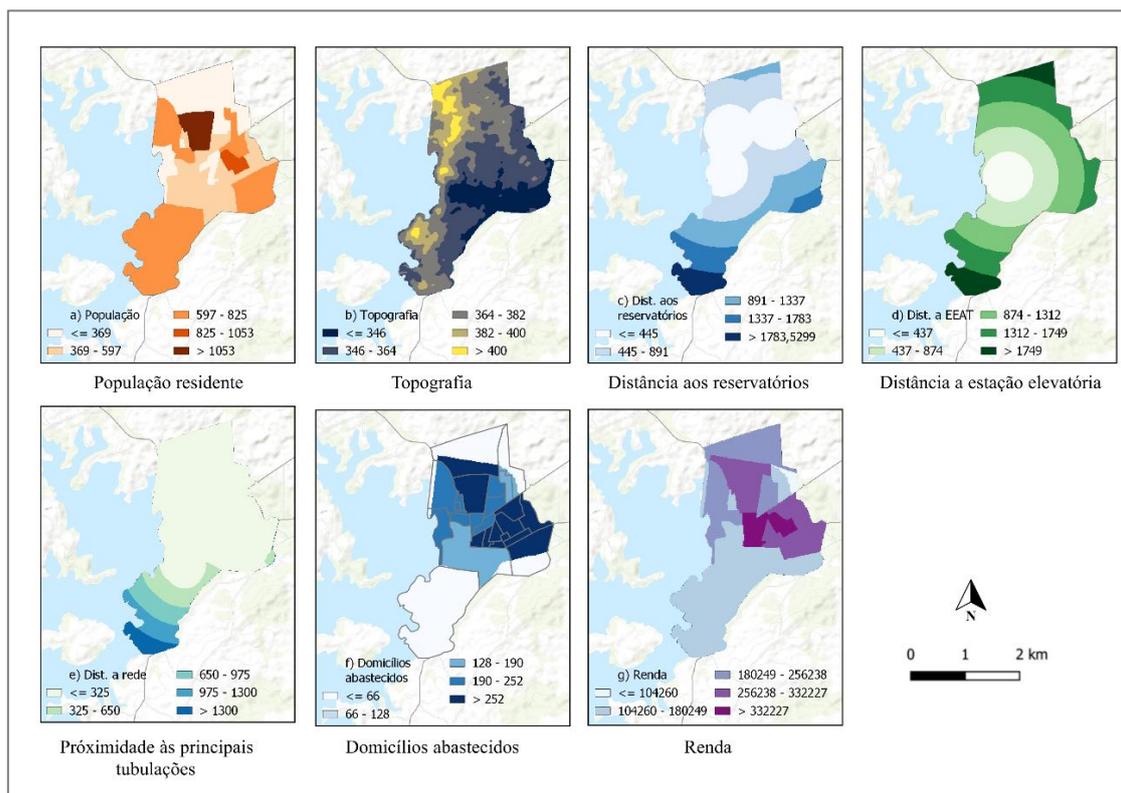
<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte do dado</b>
<b>Critério 1:</b> População	<i>Estimativa da demanda de água.</i> A distribuição espacial da população representa a demanda. Locais com maior densidade populacional são mais suscetíveis à escassez de água.	<i>Dados censitários (IBGE, 2022)</i>
<b>Critério 2:</b> Topografia	<i>Operação e desempenho em um sistema de abastecimento de água urbano.</i> Mesmo sob condições adequadas de abastecimento de água, a topografia influencia a desigualdade nos serviços de abastecimento de água (para pessoas em condições topográficas desfavoráveis, a escassez pode ser mais longa ou mais frequente).	<i>ALOS PALSAR (2011)</i>
<b>Critério 3:</b> Distância aos reservatórios de água	<i>Vulnerabilidade apontada pela empresa de abastecimento de água.</i> Quanto mais distante da zona de abastecimento do reservatório, maior é o esforço necessário. Áreas localizadas longe dos reservatórios de distribuição são as mais vulneráveis ao risco de escassez.	<i>Cálculos das distâncias euclidianas a partir do projeto do sistema de abastecimento CAGEPA.</i>
<b>Critério 4:</b> Distância à estação de bombeamento	<i>Probabilidade de intermitência apontada pela empresa de abastecimento de água.</i> Rupturas de tubulações geralmente ocorrem próximas a equipamentos hidráulicos devido aos valores mais altos de pressão. As perdas causadas por rupturas de tubulações são uma das causas mais significativas de fornecimento intermitente de água. O risco de intermitência é maior nas áreas circundantes às estações de bombeamento.	<i>Cálculos das distâncias euclidianas a partir do projeto do sistema de abastecimento CAGEPA.</i>

<p><b>Critério 5:</b> Proximidade aos anéis principais</p>	<p><i>Problemas de pressão.</i> A pressão nas extremidades da rede é menor do que a pressão próxima às tubulações principais. Áreas de expansão urbana localizadas nas extremidades da rede geralmente apresentam reduções de pressão, o que também pode reduzir a capacidade de abastecimento.</p>	<p><i>Cálculos das distâncias euclidianas a partir do projeto do sistema de abastecimento CAGEPA.</i></p>
<p><b>Critério 6:</b> Domicílios abastecidos</p>	<p><i>Dados do censo.</i> Domicílios que não são abastecidos pelo sistema são naturalmente as áreas mais vulneráveis, pois ainda não são atendidos pelos serviços locais de água.</p>	<p><i>Dados censitários (IBGE, 2010)</i></p>
<p><b>Critério 7:</b> Renda</p>	<p><i>Motor socioeconômico.</i> A pobreza aumenta a vulnerabilidade aos riscos, pois essas famílias têm pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento de água. O risco de escassez é maior ou menor, dependendo da presença ou ausência de infraestrutura hídrica privada nos domicílios (reservatórios de armazenamento). Pessoas que vivem em edifícios de boa qualidade podem não perceber a falta de água em seus apartamentos quando ocorrem falhas ou racionamento.</p>	<p><i>Dados censitários (IBGE, 2010)</i></p>

Fonte: Adaptado de Cordão (2020).

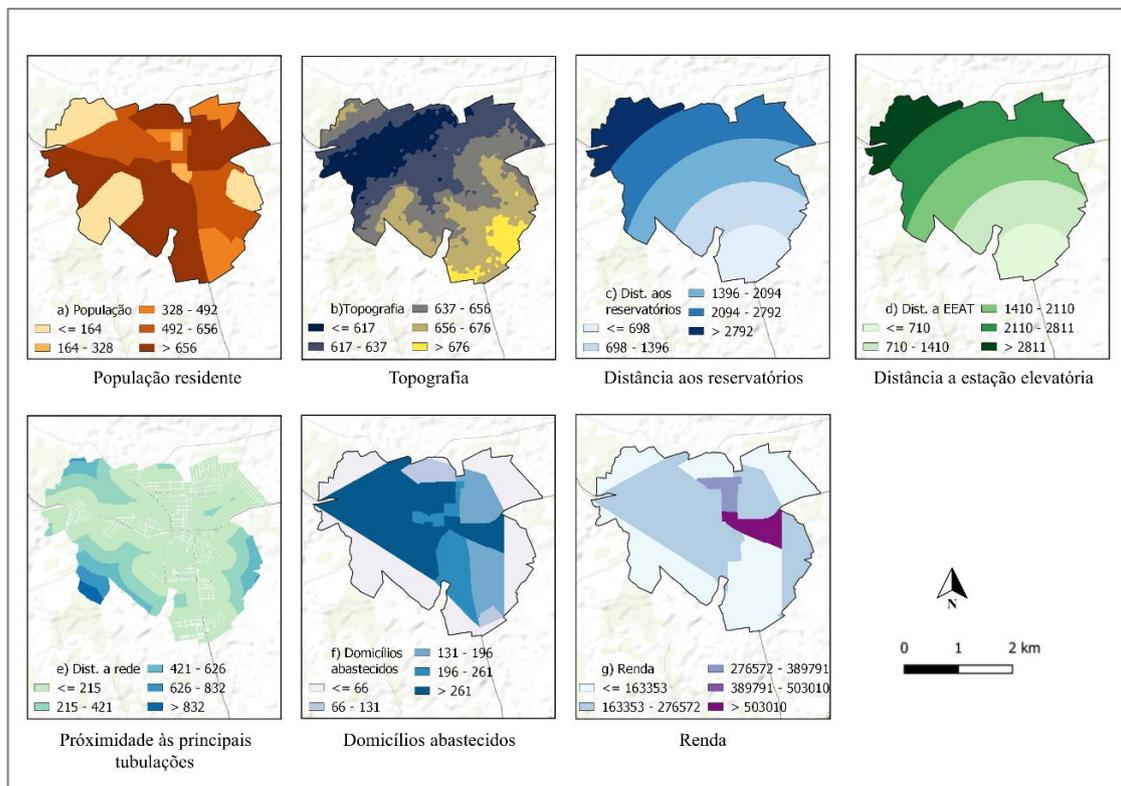
Todos os dados foram transformados em camadas *raster* (planos de informação matricial) com resolução espacial de 10 x 10 metros. A modelagem das informações, a álgebra de mapas e as funções MCDA foram realizadas com o auxílio do software QGIS 3.32.2. As Figuras Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14 mostram os critérios para cada município que compõem a abordagem participativa.

Figura 10: Fatores determinantes (critérios) – Boqueirão



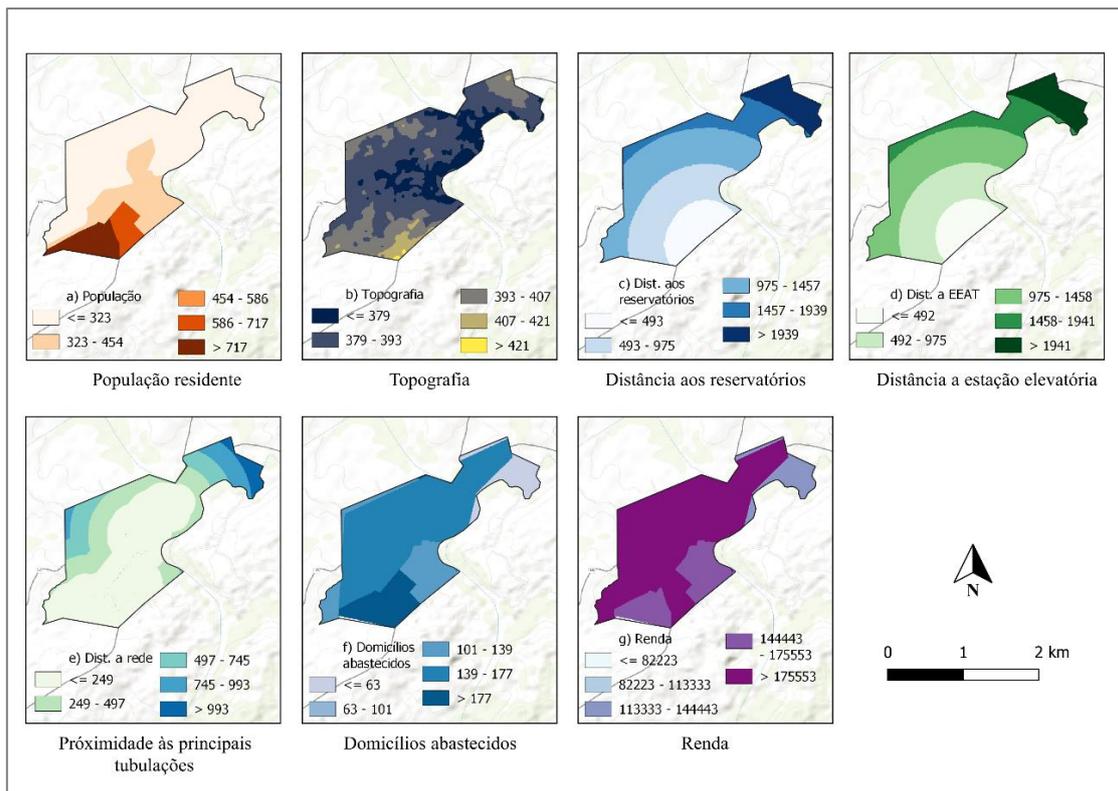
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 11: Fatores determinantes (critérios) – Pocinhos



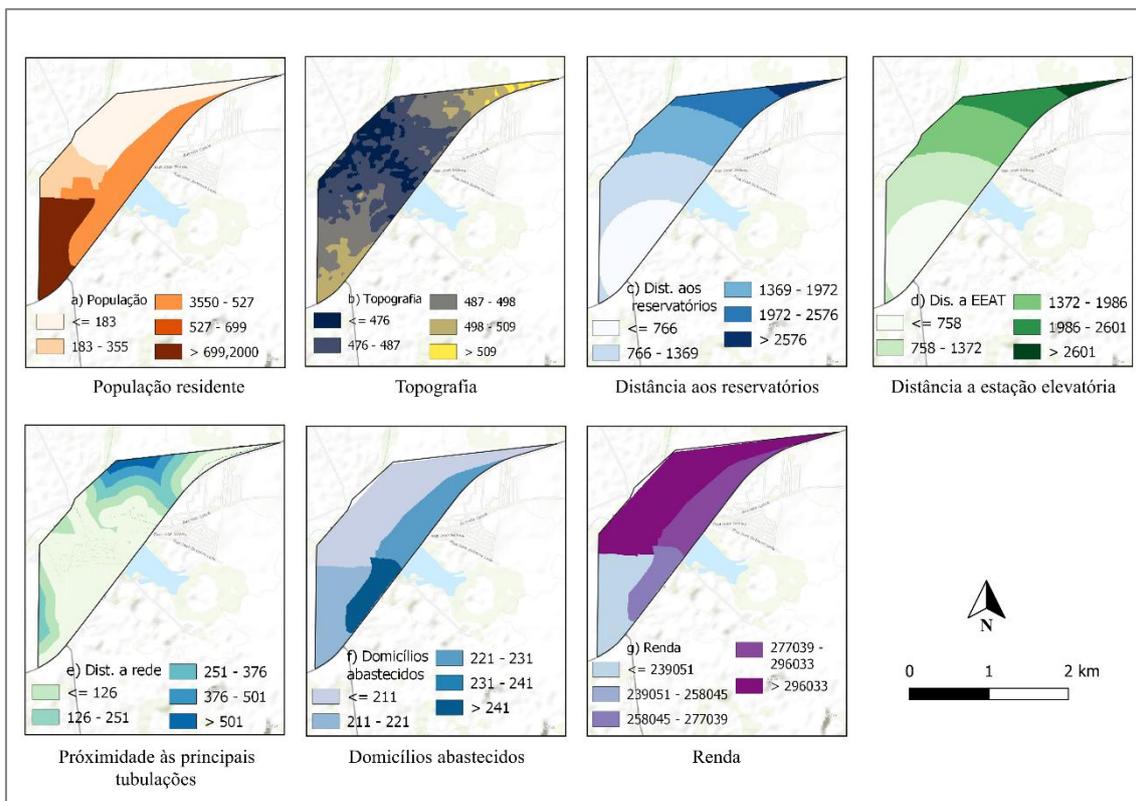
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 12: Fatores determinantes (critérios) - Cabaceiras



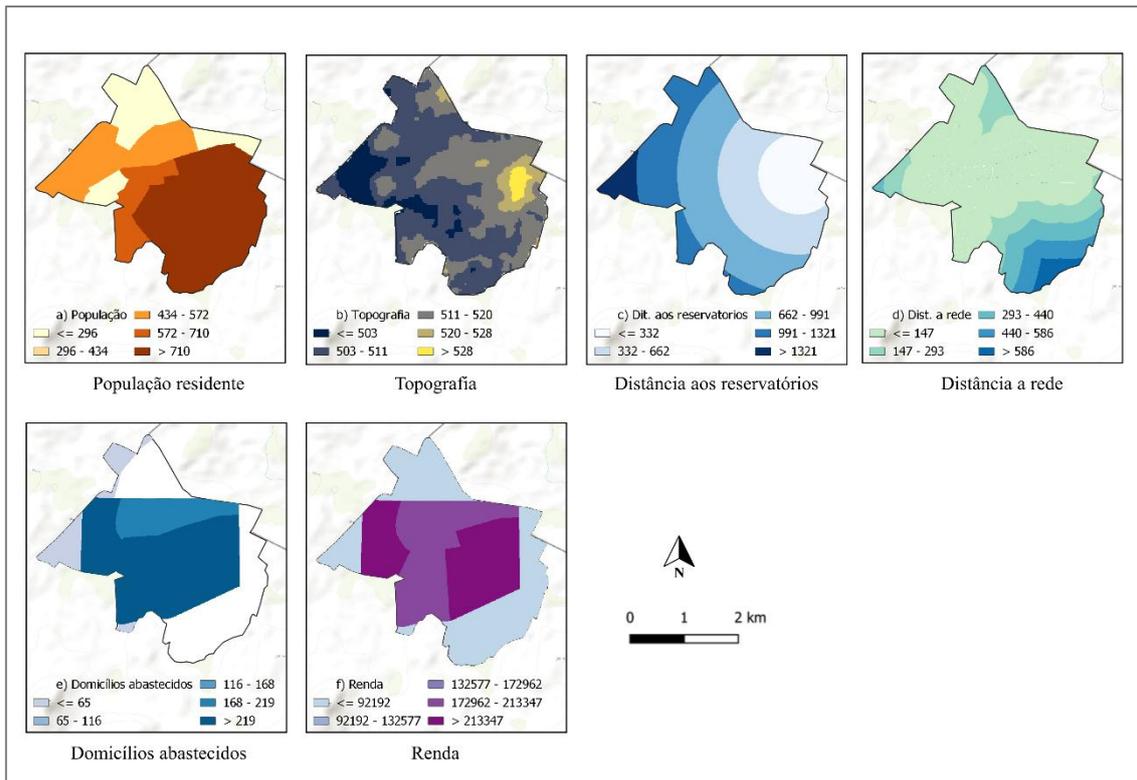
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 13: Fatores determinantes (critérios) - Boa Vista



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 14: Fatores determinantes (critérios) - Pedra Lavrada



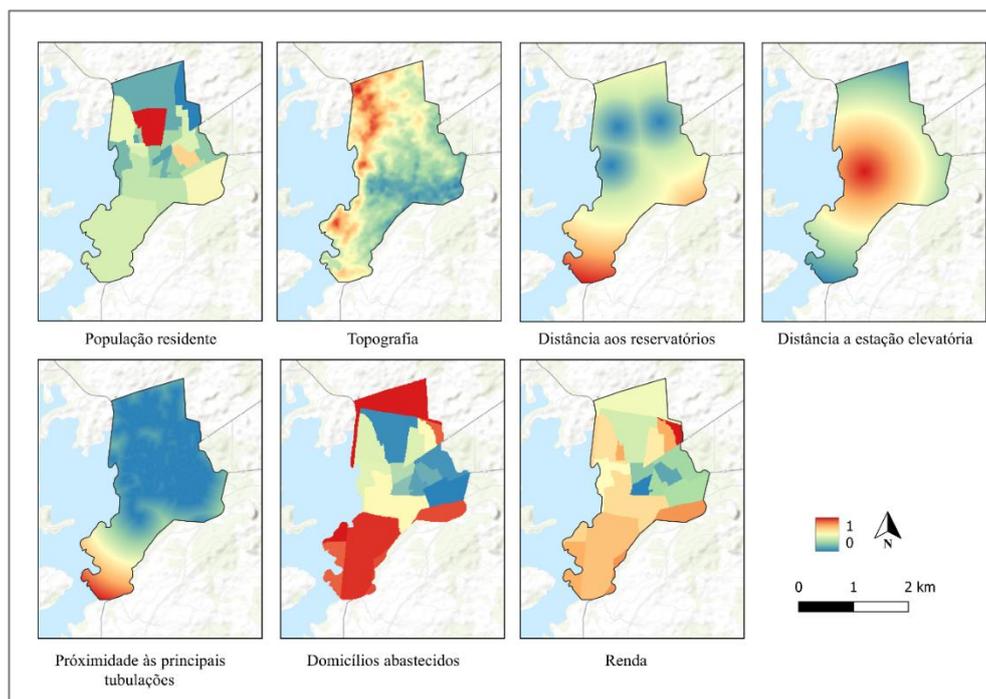
Fonte: Autoria própria (2024).

## b. Normalização dos critérios

Similarmente ao estudo de Cordão et al. (2020) em Campina Grande, os fatores de condução foram reescalados para um intervalo comum (0 a 1), onde o valor 1 denota 'total adequação' e o valor 0 denota 'nenhuma adequação' à análise. Esse processo de padronização permite a comparação entre diferentes critérios, que originalmente podem ter escalas e unidades diferentes.

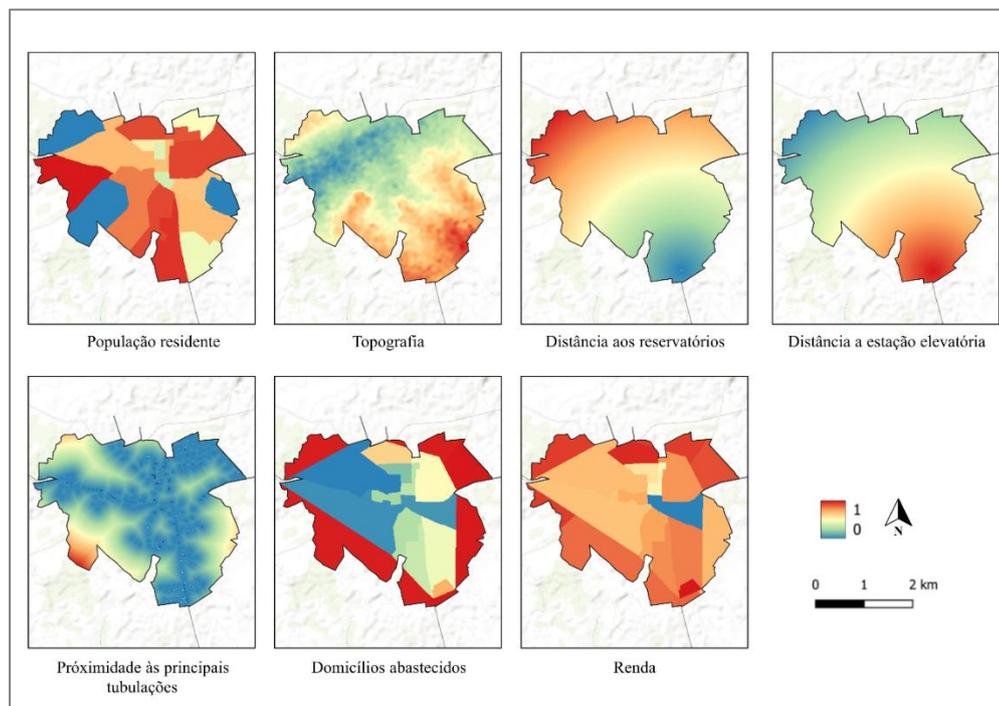
Para realizar a normalização, foram utilizadas funções de associação fuzzy. Essas funções são capazes de transformar os valores dos critérios em uma escala padronizada, levando em consideração a relação linear entre os valores mínimos e máximos de cada critério. A associação fuzzy facilita a modelagem de incertezas e variabilidades nos dados, garantindo que cada critério seja avaliado de forma consistente e comparável. Para a normalização utilizou-se a ferramenta *calculadora raster* no software 3.32.2. As Figuras Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 apresenta a normalização dos critérios para os cinco municípios.

Figura 15: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Boqueirão



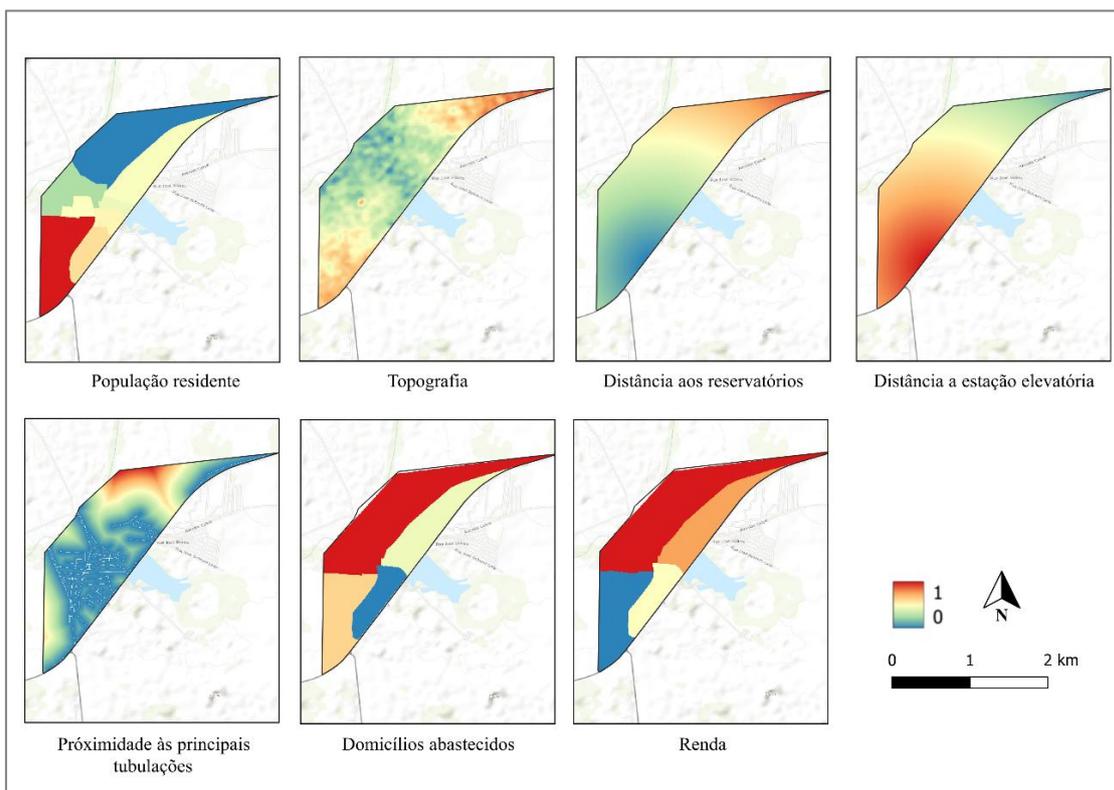
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 16: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Pocinhos



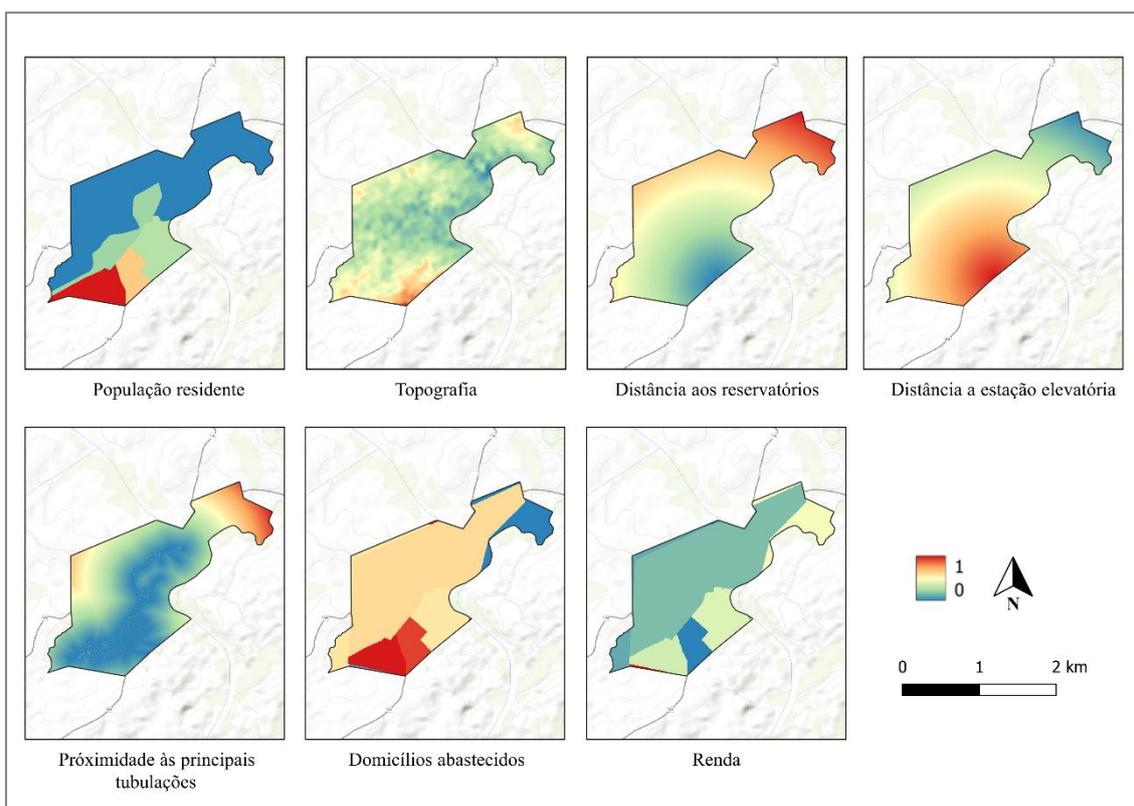
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 17: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Boa Vista



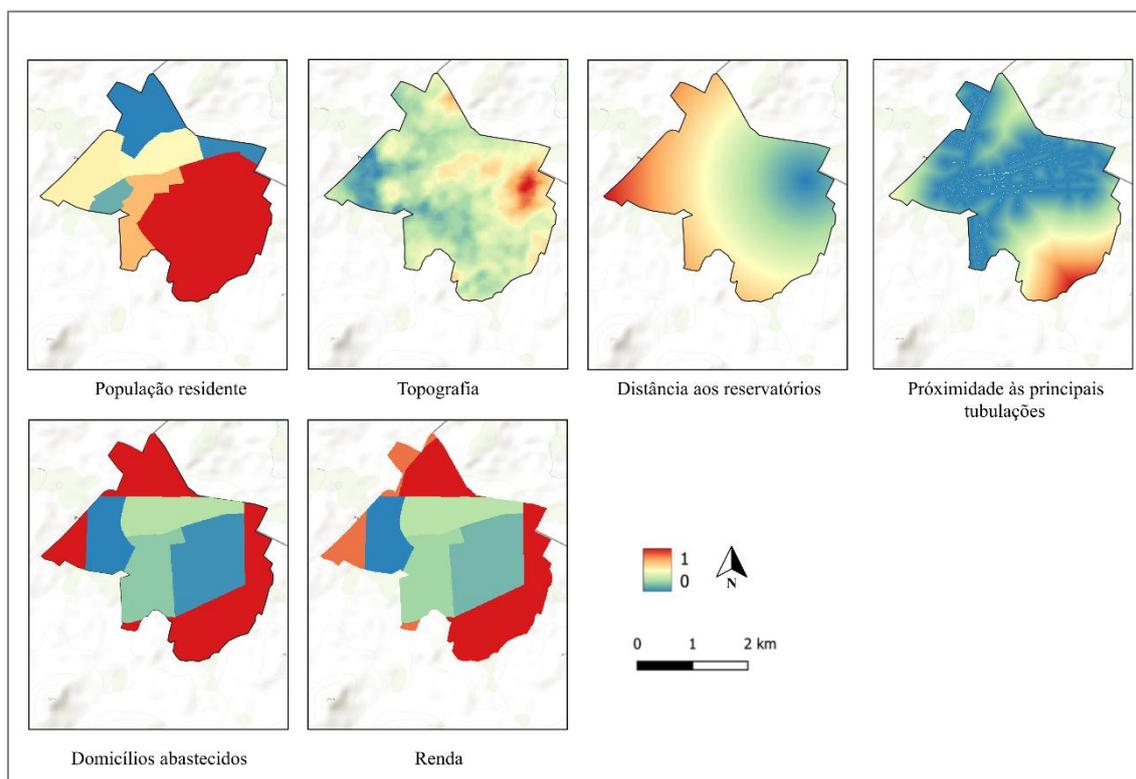
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 18: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Cabaceiras



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 19: Resultados da normalização (escala comum de 0 a 1) - Pedra Lavrada



Fonte: Autoria própria (2024).

### c. Ponderação e Combinação dos critérios

A ponderação dos critérios, realizada no estudo de Cordão (2020), utilizou o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) (Saaty, 1980), que realiza comparações entre pares de critérios, baseando-se em avaliações subjetivas de especialistas e tomadores de decisão. Os pesos obtidos no referido estudo foram obtidos para um município de médio porte, resultando nos valores apresentados na Tabela 2.

Quando normalizados os critérios podem ser combinados para a elaboração dos mapas finais de risco de desabastecimento de água. Utilizou-se o modelo *Weighted Linear Combination (WLC)*. A (1) foi aplicada na calculadora *raster* do QGIS, onde o resultado é o somatório do valor de todos os critérios multiplicados pelos seus respectivos pesos (Tabela 2).

Tabela 2: Ponderação de cada critério

<b>Critério</b>	<b>Pesos</b>	<b>Fonte do dado</b>
<b>Critério 1:</b> População	0,334	<i>IBGE (2022).</i>
<b>Critério 2:</b> Topografia	0,295	<i>ALOS PALSAR (2011).</i>

<b>Critério 3:</b> Distância aos reservatórios de água	0,075	<i>CAGEPA (2024).</i>
<b>Critério 4:</b> Distância à estação de bombeamento	0,059	<i>CAGEPA (2024).</i>
<b>Critério 5:</b> Proximidade às principais tubulações	0,121	<i>CAGEPA (2024).</i>
<b>Critério 6:</b> Domicílios abastecidos	0,032	<i>IBGE (2010).</i>
<b>Critério 7:</b> Renda mensal	0,084	<i>IBGE (2010).</i>

Fonte: Adaptado de Cordão (2020).

$$R = \sum_{i=1}^n (WiCi) = [(0.334.C1) + (0.295.C2) + (0.075.C3) + (0.059.C4) + (0.121.C5) + (0.032.C6) + (0.084.C7)] \quad (1)$$

Onde,

R: Risco de abastecimento de água

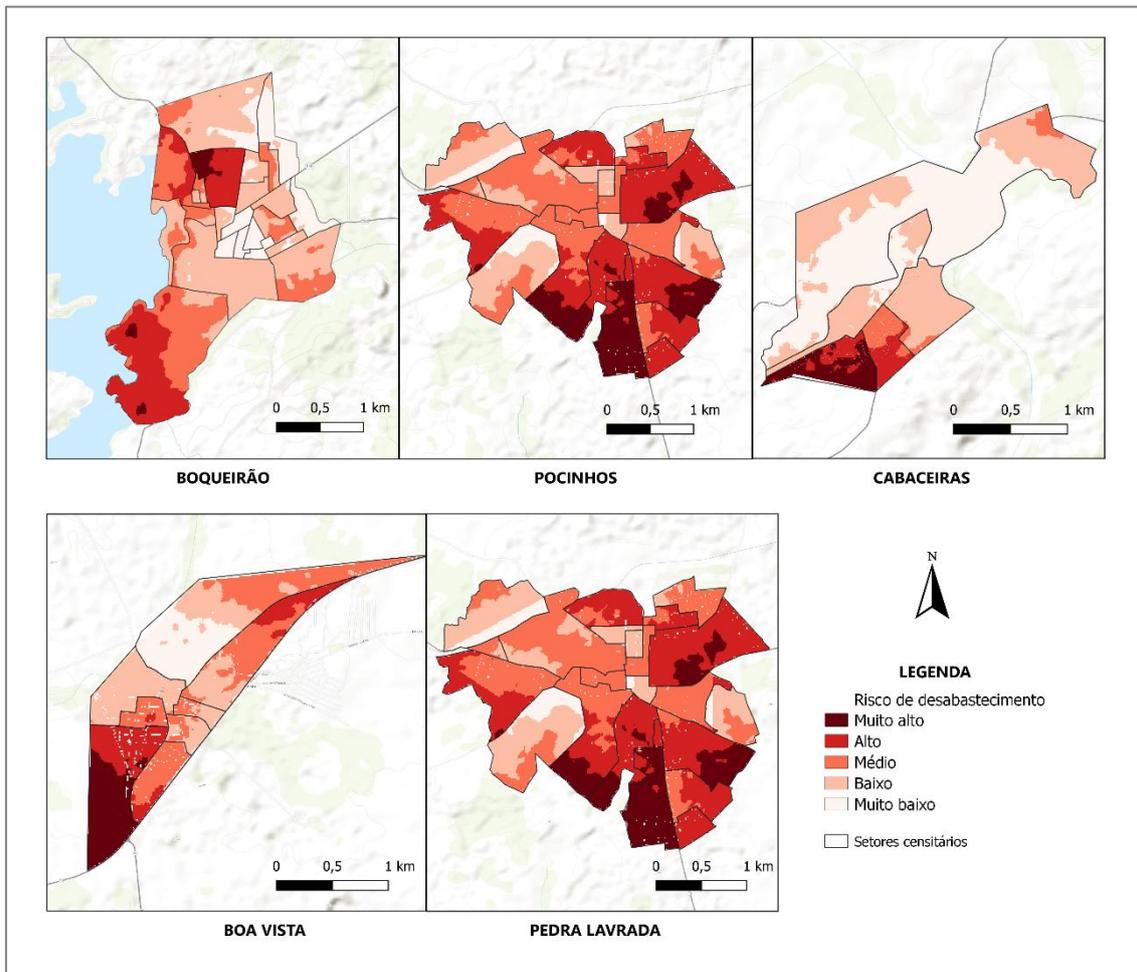
Wi: Peso de cada critério i

Ci: Critério i associado ao Risco (Quadro 6)Quadro 6: Critérios selecionados para o mapeamento do risco ao desabastecimento de água

n: número de critérios

Finalmente, a partir dos critérios e pesos foi possível gerar o mapa de risco das áreas mais vulneráveis, o que permite um planejamento mais eficaz e direcionado para o risco de desabastecimento. A Figura 20 é o produto da análise, apresentando o mapa de risco de desabastecimento para os 5 municípios, classificado em Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Os mapas de risco foram considerados para determinação das áreas de aplicação dos questionários e do tamanho da amostra para cada área, o que está detalhado no tópico seguinte.

Figura 20: Mapa de risco de desabastecimento para os cinco municípios



Fonte: Autoria própria (2024).

#### d. Determinação da amostra

O tamanho da amostra para a participação dos residentes dos 5 municípios foi calculado através da fórmula de Yamane (2) simplificada, utilizando a quantidade de domicílios dos setores censitários localizados em áreas de risco determinadas partir da metodologia de Cordão (2020).

$$n = \frac{N}{(1+Ne^2)} \quad (2)$$

Onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $N$  foi obtido a partir da quantidade de domicílios em áreas de risco (3), e o  $e$  é a margem de erro. As áreas foram calculadas por meio do software QGIS. Para os cálculos das amostras foram considerados os níveis de risco Muito Alto, Alto e Médio. Para o caso de estudo foi utilizada a margem de erro de 15%

em Boqueirão, Pocinhos e Pedra Lavrada, e 10% em Cabaceiras e Boa Vista. A adequação foi necessária a fim de viabilizar a execução das entrevistas e dimensionamento de campo.

$$N = N^{\circ} \text{ domicílios do setor} * \frac{\text{Área ocupada de domicílios em área crítica}}{\text{Área total do setor}} \quad (3)$$

As Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7 apresentam o dimensionamento do tamanho da amostra para setor censitário em que os questionários foram aplicados.

Tabela 3: Dimensionamento da amostra para o município de Boqueirão

<b>Setor censitário</b>	<b>Densidade da área de risco</b>	<b>Nº de domicílios do setor</b>	<b>N</b>	<b>n</b>
250250805000001P	0,09	468	42	22
250250805000048P	0,14	148	21	22
250250805000020P	0,19	233	44	22
250250805000010P	0,07	343	24	15
250250805000021P	0,13	54	7	6
<b>Total de questionários</b>				<b>87</b>

Tabela 4: Dimensionamento da amostra para o município de Pocinhos

<b>Setor censitário</b>	<b>Densidade da área de risco</b>	<b>Nº de domicílios do setor</b>	<b>N</b>	<b>n</b>
251200205000008P	0,08	302	23	15
251200205000002P	0,06	316	19	13
251200205000019P	0,07	126	8	7
251200205000043P	0,16	138	22	15
251200205000007P	0,06	239	14	11
251200205000020P	0,12	311	38	20
<b>Total de questionários</b>				<b>81</b>

Tabela 5: Dimensionamento da amostra para o município de Cabaceiras

<b>Setor censitário</b>	<b>Densidade da área de interesse</b>	<b>Nº de domicílios do setor</b>	<b>N</b>	<b>n</b>
<b>251110305000002P</b>	0,23	341	78	44
<b>251110305000010P</b>	0,14	182	25	20
<b>Total de questionários</b>				<b>64</b>

Tabela 6: Dimensionamento da amostra para o município de Boa Vista

<b>Setor censitário</b>	<b>Densidade da área de interesse</b>	<b>Nº de domicílios do setor</b>	<b>N</b>	<b>n</b>
<b>250215105000008P</b>	0,11	524	56	36
<b>250215105000002P</b>	0,03	436	15	13
<b>Total de questionários</b>				<b>49</b>

Tabela 7: Dimensionamento da amostra para o município de Pedra Lavrada

<b>Setor censitário</b>	<b>Densidade da área de interesse</b>	<b>Nº de domicílios do setor</b>	<b>N</b>	<b>n</b>
<b>251110305000002P</b>	0,21	225	47	12
<b>251110305000010P</b>	0,06	346	21	37
<b>251110305000009P</b>	0,05	307	14	16
<b>Total de questionários</b>				<b>65</b>

A quantidade final de questionários aplicados a usuários domésticos em cada município é apresentada na Tabela 8, com detalhamento para os anos de 2021 e 2024. A amostra de 2024 foi calculada utilizando a metodologia descrita, enquanto os de 2021 foram a quantidade de questionários obtidos durante as audiências públicas do PMSB.

Ademais, foram obtidas 34 respostas de questionários de agricultores, um número que foi limitado devido a desafios logísticos durante as visitas de campo e à dependência

das informações e contatos fornecidos pelas prefeituras municipais. As restrições logísticas incluíram a necessidade de coordenar visitas a diversas localidades rurais espalhadas em uma ampla área geográfica, majoritariamente no entorno do açude Epitácio Pessoa, além das dificuldades de acesso. Adicionalmente, a colaboração das prefeituras foi crucial para a obtenção de contatos e informações necessárias para a realização das entrevistas.

Tabela 8: Número de questionários aplicados nos municípios estudados.

Município	Ano	
	2021	2024
<b>Boqueirão</b>	-	87
<b>Pocinhos</b>	35	81
<b>Cabaceiras</b>	31	64
<b>Pedra Lavrada</b>	48	65
<b>Boa Vista</b>	40	49
<b>Total</b>	<b>154</b>	<b>346</b>

### 3.3.3 Análise estatística dos dados

A terceira etapa envolve a análise desses fatores, incluindo a análise estatística dos dados de ciência cidadã. Para analisar as percepções de impacto coletadas por meio dos questionários da abordagem participativa, foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Spearman (Zar, 2010; Myers & Well, 2003; Siegel & Castellan, 1988). Este método não paramétrico avalia a força e a direção da associação monotônica entre duas variáveis ordinais. A escolha desse método se deve à natureza ordinal dos dados, coletados por meio de uma escala Likert de 1 a 5, onde 1 representa a situação mais desfavorável e 5 a mais favorável. Para calcular o coeficiente de Spearman, os dados foram ordenados, as diferenças entre os postos das variáveis foram calculadas, e a fórmula apropriada foi aplicada.

Além disso, para comparar as percepções de impacto entre diferentes grupos, como aqueles com diferentes capacidades de armazenamento de água ou localizados em áreas de alto e baixo risco de desabastecimento, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney (Sheskin, 2007; Conover, 1999; Hollander et al., 2013). Este teste não paramétrico é ideal para comparar duas amostras independentes e determinar se há diferenças significativas entre suas distribuições, especialmente quando os dados não seguem uma distribuição

normal. O procedimento envolveu a ordenação conjunta dos dados das duas amostras, a atribuição de postos, o cálculo das somas dos postos para cada grupo, e a aplicação da estatística U de Mann-Whitney. Os resultados foram interpretados com base no valor-p obtido, com um nível de significância de 0.05, indicando diferenças significativas entre os grupos comparados.

Ambos os métodos foram aplicados aos dados coletados para analisar as relações e comparações entre as variáveis estudadas. As análises foram conduzidas utilizando software estatístico *Jamovi*, que é um programa gratuito e de código aberto para análise de dados e realização de testes estatísticos, garantindo precisão e robustez nos resultados apresentados. Essas metodologias permitiram identificar padrões e diferenças significativas nas percepções de impacto de sistemas de transposição, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão hídrica nos municípios analisados.

#### 3.3.4 Abordagem cumulativa de impactos

A quarta etapa consiste em uma abordagem cumulativa que considera variáveis para uma análise dos impactos econômicos. Essa abordagem foi utilizada conforme metodologia de Brito (2021b), para avaliação do impacto às secas no Semiárido Nordestino Brasileiro. Essa etapa tem início com a seleção dos indicadores utilizados para quantificar os possíveis efeitos da PISF nos municípios atendidos (Quadro 7), e o fluxograma da Figura 4 detalha o caminho metodológico. Para seleção das variáveis, foram verificados os impactos do PISF previstos pelo MI (BRASIL, 2004) para os principais usuários de água afetados pelas secas, sendo estes setores os usuários da agricultura, pecuária, e indústria, setores que compõem a dimensão econômica do Índice de Segurança Hídrica (ANA, 2019). Os dados foram tratados utilizando o software Excel™ (Microsoft) e os mapas foram gerados a partir da ferramenta QGIS vs. 3.28.5.

Brito (2021a) utilizou o indicador “Área colhida de lavouras permanentes e temporárias” para mensurar os impactos às secas no semiárido nordestino entre 2012-2018. As águas da transposição chegaram em 2017 na Paraíba. O ano de 2016 foi considerado a *baseline* da análise, pois o cálculo de variação da área colhida e efetivo bovino tem como base sempre o ano anterior. Ou seja, para verificar se em 2017 o

percentual de área aumentou ou diminuiu, tomou-se o ano de 2016 como referência e assim sucessivamente até 2022, último ano com informações disponibilizadas pela Pesquisa.

A análise temporal do Valor Adicionado Bruto (VAB) é uma ferramenta utilizada para avaliar o crescimento no setor industrial a nível municipal, eficácia das políticas econômicas locais e impacto dos fatores externos no setor. Cavalcanti Junior e Lima (2019) utilizaram este indicador para avaliar evolução da economia e do setor industrial no semiárido nordestino. Para avaliar o VAB ao longo do tempo foi necessário ajustá-lo pela inflação, para obter uma visão clara do crescimento real, desvinculado das variações de preço.

Quadro 7: Seleção dos indicadores de impactos analisados com base nos possíveis impactos para os setores econômicos esperados pelo MI

Setor	Impactos previstos pelo MI	Indicadores selecionados	Período	Fonte
Agricultura	Inclusão de novas áreas em perímetros agrícolas irrigados	Área colhida de lavouras permanentes e temporárias	2016-2022	Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE (IBGE, 2024)
Pecuária	Dinamização da atividade pecuária	Efetivo bovino	2016-2022	Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE (IBGE, 2024)
Indústria	Dinamização da economia regional	Valor adicionado bruto a preços correntes da indústria	2016-2021	Produto Interno Bruto dos municípios (IBGE, 2024)

Fonte: Autoria Própria (2024).

### 3.3.5 Análise comparativa com o ISH

O ISH é uma ferramenta desenvolvida pela Agência Nacional de Águas (ANA) do Brasil, que visa avaliar a capacidade de um determinado sistema de gestão de água para atender às demandas de consumo humano, econômicas e ambientais, ao mesmo tempo em que se protege contra poluições e desastres relacionados à água (ANA, 2019). É uma ferramenta para diagnosticar a situação hídrica de uma região e para orientar políticas públicas e investimentos em infraestrutura hídrica.

A quinta etapa da pesquisa adotou uma análise baseada no Índice de Segurança Hídrica (ISH). Esse índice foi utilizado para avaliar se o fornecimento de água para o abastecimento humano e o desenvolvimento das atividades econômicas nos municípios estudados estão em conformidade com as classificações das dimensões Humana e Econômica do ISH, que variam de mínima a máxima segurança hídrica.

### 3.3.6 Proposição de medidas de resposta

Na sexta e última etapa, a pesquisa propõe soluções direcionadas aos desafios identificados, fundamentadas no modelo FPEIR. A ênfase foi colocada na gestão integrada de recursos hídricos (Agarwal *et al.*, 2000), buscando harmonizar o uso, a conservação e a recuperação desses recursos, especialmente em regiões semiáridas (Vieira, 2003). As estratégias sugeridas, são baseadas na realidade observada, e visam não só mitigar os impactos negativos já identificados, mas também fortalecer a resiliência e sustentabilidade dos municípios frente às variabilidades e incertezas relacionadas à disponibilidade de água.

## 4 RESULTADOS

O capítulo de resultados está organizado em três seções principais. A seção 4.1 apresenta os resultados do modelo FPEIR, utilizando dados de ciência cidadã e uma abordagem cumulativa de impactos para caracterizar as dimensões Impacto e Resposta do modelo. A seção 4.2 aborda a validação do mapeamento das áreas com risco de desabastecimento, cujos mapas foram desenvolvidos e apresentados no capítulo 3. Como os impactos são o foco central desta dissertação, a seção 4.3 apresenta a análise estatística dos questionários, com o objetivo de identificar a percepção dos usuários sobre os efeitos da Transposição.

### 4.1 Modelo FPEIR

Os resultados desta sessão são sistematicamente apresentados e analisados em cinco sessões principais: Forças motrizes; Pressões; Estado; Impactos e Respostas; e Ações de Respostas sugeridas. Essas seções exploram detalhadamente cada dimensão do modelo com seus respectivos fatores. A dimensão Impacto apresenta e discute os dados das abordagens participativas com consumidores domésticos de água e da abordagem cumulativa dos impactos nos setores econômicos. Por fim, apresenta-se a estrutura FPEIR construída.

#### 4.1.1 Dimensão força motriz

As forças motrizes identificadas incluem o crescimento populacional e a urbanização, bem como a ocorrência de eventos climáticos extremos. Esses fatores impulsionam a demanda por recursos hídricos e exacerbam os desafios de gestão e distribuição de água.

##### 4.1.1.1 *Crescimento Populacional*

A população total atendida pelo eixo leste do PISF, através dos sistemas adutores que captam água no manancial Epitácio Pessoa, é de 677.985 habitantes. Desse total, 419.379 são de Campina Grande. Os demais municípios somam uma população de 258.606 habitantes. A Tabela 9 expõe a taxa de crescimento para a área de estudo considerando o grupo total de municípios atendidos e grupo de pequenos municípios (excluindo Campina Grande). Há uma certa estabilização deste crescimento da população com uma variação muito baixa na última década. Os dados de crescimento urbano e rural

ainda não foram disponibilizados pelo último censo nacional devido a atrasos operacionais causados pela pandemia do COVID-19.

Tabela 9: Taxa de crescimento para a área de estudo entre os anos 2000, 2010 e 2022

	Crescimento populacional (2000 a 2010)	Crescimento populacional (2010 a 2022)	Crescimento populacional (2000 a 2010) excluindo Campina Grande	Crescimento populacional (2010 a 2022) excluindo Campina Grande
<b>TOTAL</b>	10,69%	6,02%	10,8%	5,88%
<b>URBANO</b>	25,30%	-	26,13%	-
<b>RURAL</b>	-0,01%	-	-0,01%	-

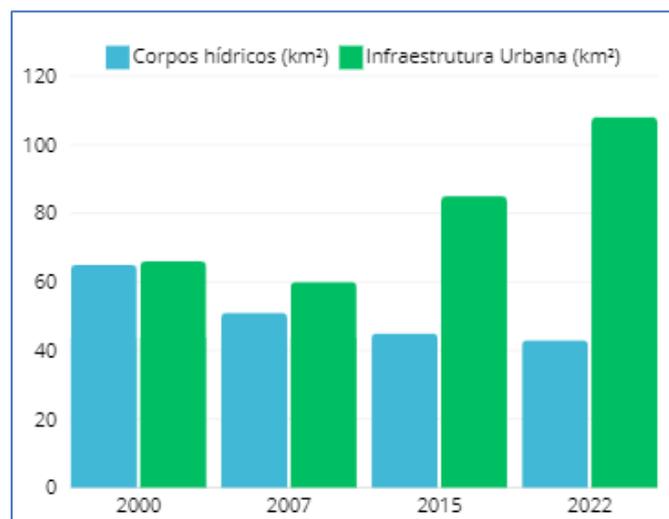
Fonte: IBGE (2022, 2010, 2000).

#### 4.1.1.2 Urbanização

A área atendida pelo PISF apresenta desafios significativos relacionados a urbanização. As transformações do uso do solo podem ser observadas na Figura 21. Os dados de cobertura do solo extraídos do MapBiomas mostram que a área urbanizada aumentou 163,12% entre os anos de 2000 e 2022, em contrapartida, houve uma diminuição de 66,47% na área de corpos hídricos. Apesar da crescente urbanização se concentrar majoritariamente na região de Campina Grande, o crescimento urbano reforça as pressões por recursos naturais, especialmente pelo Sistema Hídrico, e consequentemente, elas trazem alterações nas demandas para consumo humano e para a cadeia produtiva.

Yousafzai et al. (2022) identificou que o aumento da urbanização e a expansão de terras irrigadas, geram pressões que intensificam a retirada de água e exacerbam a escassez. Pesquisadores ressaltam que regiões urbanas que crescem rapidamente e sem o devido planejamento da infraestrutura que oferecerá os serviços básicos, estão particularmente vulneráveis a perturbações e pressões externas, como as mudanças climáticas (Paz et. al., 2022).

Figura 21: Evolução da área superficial de corpos hídricos e infraestrutura urbana na Área atendida pelo Eixo Leste do PISF (2000, 2007, 2015, 2022)



Fonte: MapBiomias (2024)

#### 4.1.1.3 Eventos Extremos

Eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, são características marcantes de regiões semiáridas e têm impactos profundos na gestão dos recursos hídricos e na sustentabilidade dessas áreas (ZhaO et al., 2013). Essas regiões, definidas por sua baixa precipitação anual e alta variabilidade climática, enfrentam desafios únicos que exacerbam a vulnerabilidade das comunidades locais. Durante períodos de seca, a disponibilidade de água torna-se severamente limitada, afetando não apenas o abastecimento humano e animal, mas também comprometendo a agricultura e a produção industrial (DIAS et al., 2021; SOUSA et al., 2022). Por outro lado, quando ocorrem chuvas intensas, frequentemente resultam em enchentes que podem devastar infraestruturas, erodir solos e deslocar populações, criando um ciclo de recuperação que demanda recursos significativos (ALVES et al., 2021). A adaptação e a mitigação a esses eventos extremos requerem abordagens integradas e proativas na gestão de recursos hídricos.

#### 4.1.2 Dimensão Pressão

As crescentes demandas por recursos naturais, especialmente água, representam um dos principais desafios na gestão dos recursos hídricos. Os padrões de consumo para a área estudada, apresentados para o ano de 2021 (Figura 22), último ano com diagnóstico pela ANA, mostram que a demanda para consumo humano representa 28% do total,

seguida pelo consumo rural (21,36%) e pela irrigação (21%). Especificamente em 2021, as demandas hídricas para agricultura irrigada nos municípios de Boqueirão e Cabaceiras representam 77,55% da demanda total deste setor, com captação direta do manancial Epitácio Pessoa. O consumo humano e a agricultura são as principais pressões sobre o sistema e devem aumentar significativamente até 2040, conforme prognósticos para a região (ANA, 2019). A demanda de consumo humano urbano irá crescer com a construção de novos sistemas adutores, viabilizados pelo PISF, que atenderão um maior número de municípios dependentes desse sistema hídrico (ANA, 2019; SEIRHMACT, 2019). Na Figura 22 estão expostas as demandas consuntivas atuais. E na Tabela 10 estão expostas as demandas dos sistemas adutores em operação e dos sistemas futuros.

Figura 22: Demandas consuntivas para a Área de Estudo



Fonte: ANA (2019).

Tabela 10: Demandas dos sistemas adutores em operação e em fase de implantação com captação no manancial Epitácio Pessoa

Sistema Adutor	Demandas (L/s)	Situação do sistema
SACA	135	Em operação
SACG	1100	Em operação
Sistema Adutor Transparaíba – Ramal Curimataú	550	Em obras
Sistema Integrado de Boqueirão	34	Em obras

Fonte: SEIRHMACT, 2019

#### 4.1.3 Dimensão Estado

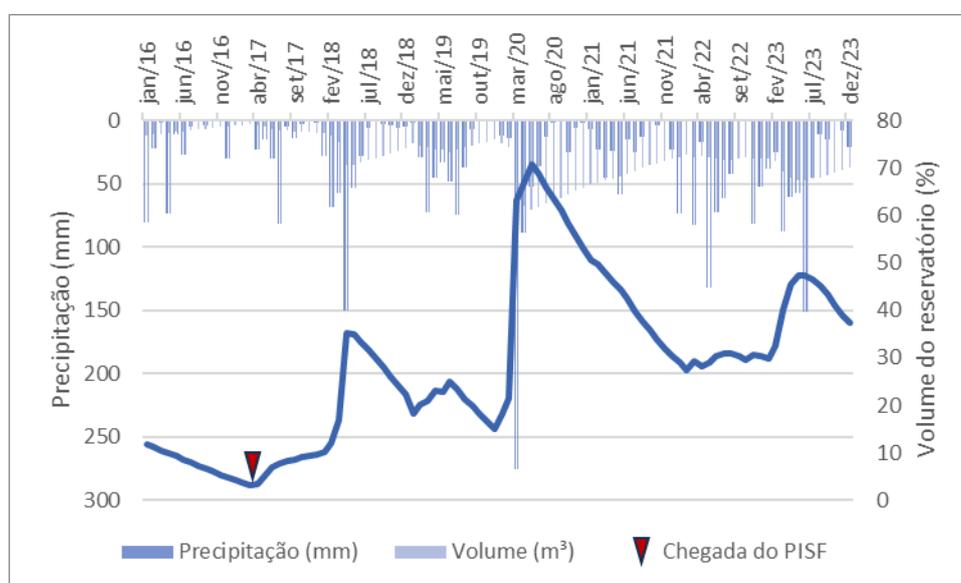
Essa dimensão é afetada pelas pressões e pode ser caracterizado pela vulnerabilidade dos reservatórios superficiais à variabilidade climática, pela baixa produtividade das águas subterrâneas, pela operação do PISF, pela gestão ineficiente e

infraestrutura de abastecimento geralmente deficiente. Essas condições refletem diretamente nos problemas de abastecimento de água nas cidades.

#### 4.1.3.1 Disponibilidade hídrica - Reservatórios Superficiais

Brito et al. (2020) demonstraram que a diminuição da precipitação anual tem uma correlação direta com a redução da superfície hídrica no estado, evidenciando a vulnerabilidade dos reservatórios à variabilidade climática e destacando a insuficiência constante de precipitação para suprir as demandas existentes. A seca pluriannual ocorrida entre 2012 e 2018 reduziu significativamente os níveis dos reservatórios na Paraíba, com muitos deles alcançando o volume morto, devido à combinação de baixa precipitação e alta evaporação. Em 2017, o açude Epitácio Pessoa, chegou a apenas 2,9% de sua capacidade total. A chegada do PISF naquele mesmo ano coincidiu com o retorno das chuvas, que também contribuíram para o aumento do nível do reservatório. Portanto, o aumento observado nos níveis dos reservatórios, conforme ilustrado na Figura 8, deve-se tanto ao aporte das chuvas quanto ao PISF, e não apenas a este último.

Figura 23: Volume do açude Epitácio Pessoa x Precipitação entre os anos 2016 e 2023



Fonte: AESA (2024).

#### 4.1.3.2 Disponibilidade hídrica - Reservatórios Subterrâneos

O cadastro do Serviço de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) registra 2.817 poços para múltiplos usos, para os 21 municípios da área de estudo. No entanto, cerca de 82% desses registros apresentam limitações de informação quanto ao tipo de uso e situação de funcionamento. Segundo a CPRM (2014), a hidrogeologia da região é

caracterizada por baixa produtividade, associada à localização sobre uma área cristalina, onde a água ocorre apenas nas fissuras. Paraíba (2020) observa que as águas do Cristalino Paraibano geralmente apresentam alta concentração de sais devido à dissolução de sais nas rochas, exigindo tratamento, como o uso de dessalinizadores.

Nesse contexto, diversas comunidades rurais dos municípios foram beneficiadas com instalações do Programa Água Doce (PAD), que incluem poços, reservatórios, dessalinizadores e chafarizes públicos para distribuição, conforme relatam os documentos do PMSB (2021). Criado em 2004 pelo governo federal, o Programa Água Doce tem papel importante para o desenvolvimento de fontes alternativas de água na região. Este programa assegura um acesso mínimo de 10 litros de água potável por pessoa por dia nas localidades rurais atendidas. Parte desse efluente é utilizado em bebedouros para animais para fins domésticos secundários.

#### *4.1.3.3 Condições de operação do PISF*

O Plano de Gestão Anual (PGA) do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) estabelece as diretrizes operacionais para a distribuição da água transposta, considerando as demandas estaduais e as condições operacionais do sistema. O PGA define não apenas os volumes mensais a serem disponibilizados nos pontos de entrega, mas também as finalidades de uso da água, como abastecimento humano, irrigação e outros usos. Além disso, o plano prevê a possibilidade de revisão das vazões conforme necessidade das operadoras estaduais (ANA, 2023).

A Tabela 11 apresenta as vazões mínimas médias anuais destinadas aos diferentes setores para o Eixo Leste da Transposição entre os anos de 2021 e 2024, para a Paraíba. Nota-se que as vazões destinadas permaneceram constantes, com um aumento significativo em 2024, atingindo 4,12 m<sup>3</sup>/s na vazão destinada a prestadora estadual.

A Tabela 12 exibe os volumes mínimos médios anuais disponibilizados pelo PGA para o Eixo Leste da Transposição entre 2021 e 2024. Os valores indicam que os volumes fornecidos sofreram variação, aumentando a oferta para o abastecimento humano, entre os anos de 2023 e 2024.

O gráfico da Figura 24 apresenta as vazões operacionais médias mensais informadas para o Eixo Leste da Transposição entre 2022 e dezembro de 2024. Essa visualização permite compreender melhor a distribuição da água ao longo dos meses, de

maneira geral, se mantendo na maior parte do tempo, abaixo das vazões mínimas médias anuais apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Vazões mínimas médias anuais estabelecidas pelo PGA para o Eixo Leste da Transposição (m<sup>3</sup>/s)

Categoria de uso	2021	2022	2023	2024
Prestadora Estadual	3,19	3,19	3,19	4,12
Sistema Isolado	0,012	0,012	0,01	0,012
Pequenas comunidades agrícolas	0,05	0,05	0,05	0,05

Fonte: ANA (2021, 2022, 2023, 2024).

Tabela 12: Volumes mínimos médios anuais estabelecidas pelo PGA para o Eixo Leste da Transposição (hm<sup>3</sup>)

Categoria de uso	2021	2022	2023	2024
Prestadora Estadual	-	-	100,60	124,15
Sistema Isolado	-	-	0,32	0,36
Pequenas comunidades agrícolas	-	-	1,58	1,51

Fonte: ANA (2021, 2022, 2023, 2024).

Figura 24: Vazões operacionais médias mensais do Eixo Leste da Transposição entre 2022 e dezembro de 2024.



Fonte: ANA (2024)

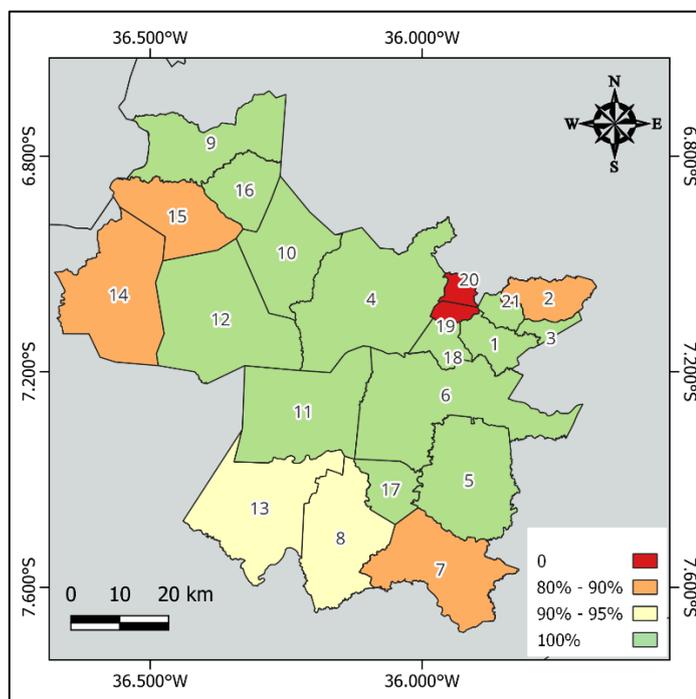
#### 4.1.3.4 Infraestruturas Hídricas dos municípios

As populações de zonas urbanas estão em risco de desabastecimento de água, em razão das falhas nos sistemas de abastecimento e distribuição de água afetando direta e negativamente os seus usuários (Marinho et al., 2021). Diversos fatores contribuem para

esse risco de desabastecimento, sendo eles hidráulicos, geográficos, sociais e econômicos (Cordão et al., 2021).

Desse modo, apesar de os dados do SNISA informarem que há 100% de cobertura de água na zona urbana de 61,8% dos municípios, a existência de infraestrutura de abastecimento de água não significa, que o recurso está sendo fornecido de maneira contínua para a população (Figura 25). Os levantamentos de campo do PMSB (2021) apresentam a realidade de tubulações envelhecidas, déficits nos reservatórios de distribuição do sistema, que não atendem a demanda devido a expansão urbana dos municípios (PMSB, 2021). Walker et al. (2024), em seu estudo acerca do semiárido nordestino, destacam esses fatores como *drivers* sociotécnicos dos impactos da seca, que inclui infraestrutura hídrica inadequada, como a falta de capacidade de armazenamento em reservatórios ou sistemas de distribuição ineficientes, aliadas a decisões de gestão inadequadas exacerbam os impactos das secas ocorrentes, levando a uma crise mais profunda e duradoura, mesmo em épocas não secas. Essas afirmações descrevem bem os problemas encontrados no objeto de estudo.

Figura 25: Cobertura do Sistema de Abastecimento para a área de estudo, segundo o SINISA



Fonte: SINISA (2024).

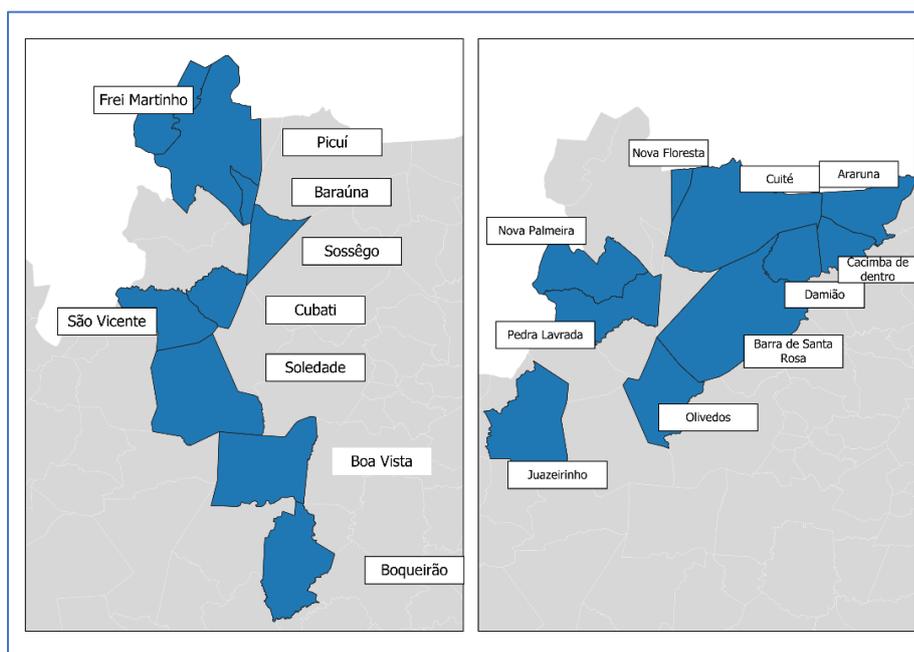
Em contrapartida, os sistemas adutores ora em funcionamento bem como os seus trechos em fase de implantação visam reforçar este abastecimento, com inclusão de nova estação de tratamento de água e aumento da vazão ofertada, construção de estações

elevatórias e novos reservatórios de distribuição de água que serão interligados a rede de distribuição existente nas cidades que compõem a área atendida pelo eixo leste do PISF (mais detalhes sobre a primeira e segunda etapa do sistema adutor Transparaíba 1ª e 2ª etapa, podem ser encontradas no Anexo 1). Os municípios que serão atendidos pelo sistema estão mostrados na Figura 26.

Atualmente, a primeira etapa está em andamento, com todas as suas infraestruturas em execução. O assentamento da adutora está 90,88% concluído. No entanto, todas as suas oito estações elevatórias, que visam levar água por meio de tubulações pressurizadas, e os sete reservatórios elevados e dois apoiados, que distribuirão o recurso nos municípios, ainda estão em construção, com previsão de conclusão em 2025. As vazões fornecidas para os municípios podem ser observadas na Tabela 13.

Vale salientar que serão acrescentados nove municípios à área atendida pelo reservatório Eptácio Pessoa. Os demais municípios são atualmente atendidos pelo Sistema Adutor do Cariri (SACA). Boqueirão e Cabaceiras continuarão a ser atendidos por esse sistema, que receberá uma contribuição de 43,21 l/s para sanar os problemas relacionados à demanda nesses municípios (SEIRHMACT, 2019). Até o momento, não há informações sobre a desativação do SACA; a princípio, o abastecimento dos municípios será reforçado pela Transparaíba.

Figura 26: Municípios que serão atendidos futuramente pelo Eixo Leste do PISF por meio do Sistema Adutor Transparaíba a) 1ª Etapa (Em obras) e b) 2ª Etapa (Não iniciado)



Fonte: Autoria Própria (2024).

Tabela 13: Municípios que serão atendidos pela Transparaíba e as vazões de contribuição

<b>Município</b>	<b>Etapa da Transparaíba</b>	<b>Q fornecida (l/s)</b>
<b>Boqueirão</b>	1ª etapa	43,21
<b>Boa Vista</b>	1ª etapa	13,69
<b>Soledade</b>	1ª etapa	48,71
<b>Juazeirinho</b>	2ª etapa	87,65
<b>São Vicente do Seridó</b>	1ª etapa	16,74
<b>Cubati</b>	1ª etapa	19,05
<b>Olivedos</b>	2ª etapa	7,74
<b>Sossego</b>	1ª etapa	5,93
<b>Cuité</b>	2ª etapa	60,82
<b>Baraúna</b>	1ª etapa	18,2
<b>Picuí</b>	1ª etapa	53,75
<b>Frei Martinho</b>	1ª etapa	7,23
<b>Pedra Lavrada</b>	2ª etapa	12,11
<b>Nova Palmeira</b>	2ª etapa	10,78
<b>Barra de Santa Rosa</b>	2ª etapa	35,28
<b>Damião</b>	2ª etapa	12,85
<b>Cacimba de Dentro</b>	2ª etapa	40,85
<b>Araruna</b>	2ª etapa	41,32
<b>Nova Floresta</b>	2ª etapa	32,93

Fonte: SEIRHMACT (2019).

No entanto, a implementação de novos sistemas adutores no Eixo Leste do PISF enfrenta desafios técnicos e financeiros significativos. Segundo Carvalho et al. (2023), esses desafios são típicos em obras de infraestrutura no Brasil, caracterizadas por incertezas, restrições orçamentárias, incompletude das informações, deficiências de gestão e falta de avanços tecnológicos. O projeto da adutora Transparaíba ilustra essas dificuldades, tendo sofrido interrupções em 2019 e retomada em 2021, com o projeto acumulando 7 (sete) anos de execução até o momento, sendo inicialmente prevista a conclusão da primeira etapa em 2 (dois) anos. Essas interrupções, frequentemente causadas por questões políticas, aumentam significativamente os custos das obras devido à necessidade de retomar trabalhos interrompidos e recuperar estruturas executadas anteriormente. Além disso, a falta de transparência e a centralização do controle nas mãos de entidades políticas resultam em uma gestão inadequada e frequentemente levam ao superdimensionamento de custos e prazos, além de não atender às expectativas da comunidade e dos *stakeholders* técnicos (Carvalho et al., 2023).

No contexto dos grandes projetos hídricos no Brasil, como o próprio PISF, Castro et al. (2017) corroboram essa análise, destacando que, apesar dos objetivos de expandir o acesso à água, a centralização das decisões e a falta de transparência de informações frequentemente excluem comunidades locais dos benefícios esperados e levantam preocupações sobre a distribuição justa dos recursos hídricos.

#### 4.1.4 Dimensão Impacto e Resposta

Os impactos representam as consequências das pressões sobre o estado dos recursos hídricos. Este segmento analisa os principais usos da água, incluindo consumo humano e atividades econômicas. A análise busca elucidar a realidade da prestação de serviços e as alternativas adotadas pela população para enfrentar a escassez hídrica. Para isso, utilizaram-se dados de ciência cidadã coletados entre 2021 e 2024 em cinco municípios representativos da área de estudo. Esses dados foram comparados com o Índice de Segurança Hídrica (ISH) na dimensão humana. Quanto ao impacto nas atividades econômicas, adotou-se a abordagem cumulativa de impactos, que também inclui uma análise baseada no ISH na dimensão econômica.

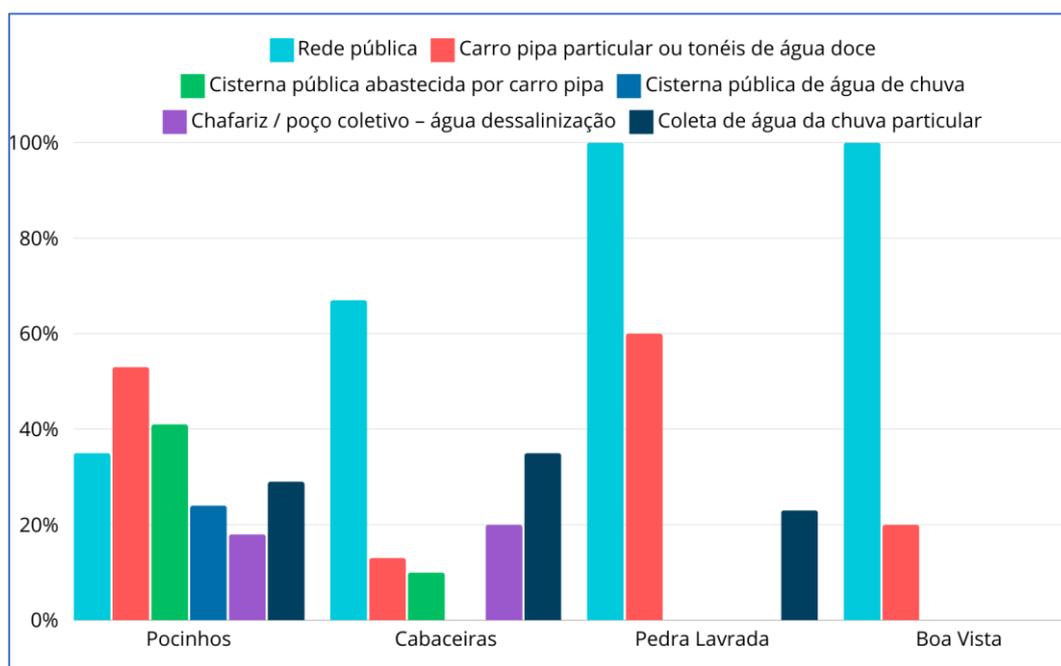
A dimensão resposta também será abordada neste tópico, uma vez que estão intrinsecamente ligadas aos impactos observados. Estas respostas refletem como a população se adapta aos desafios impostos pela falta de água, incluindo a adoção de fontes alternativas e a capacidade de adaptação dos habitantes. Posteriormente, são apresentadas as estratégias sugeridas, fundamentadas nas realidades específicas observadas na região.

##### 4.1.4.1 Formas de abastecimento de água

A população dos pequenos municípios atendidos pelo manancial Epitácio Pessoa tem vivenciado situações de secas operacionais, mesmo sem enfrentar situação de secas climáticas, estando com nível do manancial fora do estado crítico, em frente ao cenário de transposição. Dessa forma, parte dos habitantes da zona urbana dos municípios são abastecidos por soluções alternativas de abastecimento (Figura 27).

Para caracterizar as soluções alternativas utilizadas na zona urbana dos municípios, foram identificados, a partir de dados de ciência cidadã, em 2021, que além da rede pública, quatro principais formas de abastecimento são utilizadas, frente a ineficiência da prestação de serviço público, todos eles estão expostos no Quadro 8.

Figura 27: Formas de abastecimento na zona urbana dos municípios



Fonte: PMSB (2021).

Como pode ser observado na Figura 27, todos os municípios analisados utilizaram água de carros-pipa para seu abastecimento na zona urbana, de maneira coletiva e particular, por meio do comércio de pipeiros e galões de água em 2021.

A Figura 28 mostra um gráfico que compara as porcentagens de pessoas que relataram comprar água para os cinco municípios representativos nos anos de 2021 e 2024. As porcentagens representam a proporção das pessoas que responderam aos questionários, que recorreram à compra de água, refletindo as deficiências no abastecimento regular. Vale lembrar que não há dados referentes a Boqueirão para o ano de 2021.

Quadro 8: Soluções alternativas de abastecimento utilizadas pelos municípios

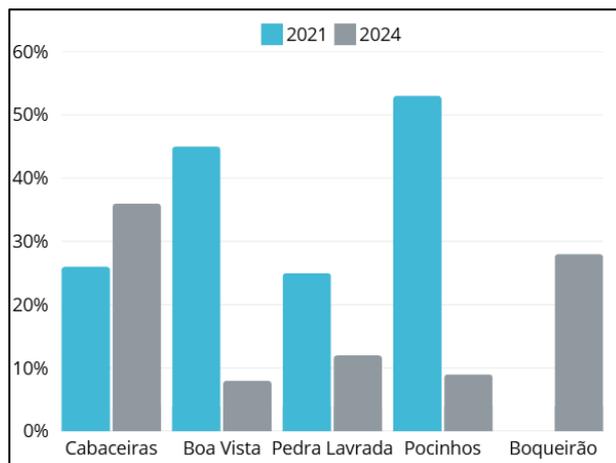
Nº	Forma de Abastecimento	Descrição	Características	Desafios
1	Mercados Informais	Compra e venda de água para consumo humano ou necessidades domésticas.	Ônus financeiro para os moradores.	Falta de garantia de potabilidade.
2	Reservatórios públicos abastecidos por carros-pipa	Ações de Emergência da Gestão Pública por meio da distribuição de água em reservatórios coletivos alocados em locais estratégicos.	Solução alternativa coletiva; requer deslocamento da população.	Falta de garantia de potabilidade; acesso limitado.
3	Tanques de pedra	Mananciais públicos abastecidos por água da chuva durante o período chuvoso.	Solução alternativa coletiva; dependente de condições climáticas.	Falta de garantia de potabilidade; acesso limitado.
4	Reservatórios públicos abastecidos por poços artesianos	Perfuração de poços para uso coletivo, com água armazenada em caixas d'água.	Solução alternativa coletiva; semelhante à alternativa 2.	Falta de garantia de potabilidade; requer deslocamento para acesso.
5	Coleta de água da chuva particular	Reservatórios particulares abastecidos por água da chuva durante o período chuvoso.	Solução alternativa individual; ônus da aquisição dos reservatórios ocorre por parte dos moradores.	Falta de garantia de potabilidade.

Notas:

1. Para as soluções 2, 3 e 4, a população precisa se deslocar até os pontos de distribuição para coleta utilizando baldes e pequenos reservatórios, o que pode limitar o acesso.
2. Nenhuma das soluções alternativas possui garantia de atendimento aos parâmetros de qualidade de água exigidos pela legislação.

Fonte: PMSB (2021).

Figura 28: Percentual de pessoas que compram ou já compraram água nos municípios para os anos de 2021 e 2024



Fonte: PMSB (2021); SIGMA (2024).

O gráfico da Figura 28 mostra uma tendência geral de diminuição na proporção de pessoas que compram água nos municípios estudados, com a exceção de Cabaceiras, onde observou-se um aumento. É importante salientar que a metodologia empregada para a seleção das áreas de aplicação dos questionários e para o dimensionamento da quantidade de questionários aplicados em 2024 não foi utilizada em 2021. Essas diferenças metodológicas podem impactar a comparabilidade dos dados entre os dois anos. Essa forma, o gráfico visa fornecer um panorama sobre a dependência dos mercados informais de água pelos participantes, refletindo as deficiências no abastecimento regular de água nos municípios analisados.

Em 2024, 71,77% das pessoas que responderam que compram ou já compraram água para uso doméstico possui renda familiar de até 1 salário-mínimo. Em 2021, para os municípios estudados, aqueles que podiam pagar pelo recurso, conseguiam água por meio de vendedores de porta-em-porta, que enchem suas cisternas, tambores e caixas d'água, utilizando carros-pipa de 10.000 a 12.000 litros. Os valores pagos variam de 5% a 36,4% do salário-mínimo, sendo este custo mensal. Os tambores de 200 litros, foram a forma de compra de água mais relatada em 2024, os valores pagos variam de 1,02% a 5,45% do salário-mínimo mensal, sendo este o custo semanal ou quinzenal.

Os mercados de água vendem água a preços mais altos do que no fornecimento público, impactando desproporcionalmente a população de menor renda. Aqueles que não tem como pagar, muitas vezes precisam se deslocar para buscar água fornecida pelo Poder Público em cisternas públicas e chafarizes, em tambores, garrafões e baldes (muitas vezes

limitados a capacidade de pessoas da família que podem carregar estes recipientes). O funcionamento de mercados informais de água é inerente a pequenas cidades do semiárido nordestino, e é uma resposta a falha no abastecimento público, e refletem e intensificam as desigualdades sociais existentes (Cunha, 2020; Cunha et al., 2020).

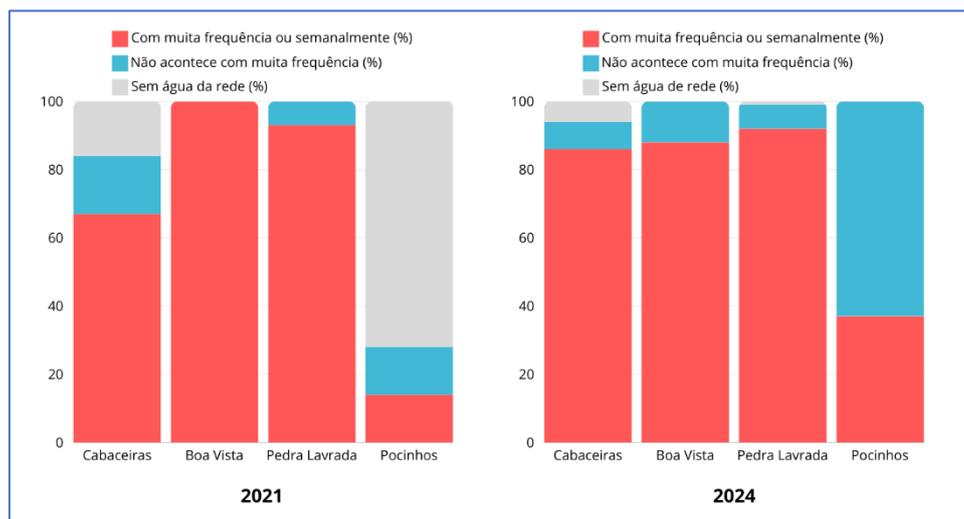
A origem das águas mercantilizadas advém de outros municípios circunvizinhos. Além disso, esses mercados são caracterizados pela precariedade das formas de acesso, quantidade, qualidade e regularidade da água fornecida. A falta de regulação e controle nos mercados informais pode comprometer a segurança hídrica, expondo a população a riscos sanitários (Cunha et al., 2020). Walker et al. (2024) discutem que muitos desses impactos observados são normalizados pelas comunidades, o que pode obscurecer a compreensão dos verdadeiros desafios enfrentados e limitar a busca por soluções eficazes e de longo prazo. Del Grande et al. (2016) observou a naturalização da falta de água constante por residentes que têm amplas experiências de convivência com a escassez de água em Campina Grande. Essa mesma normalização pôde ser constatada para os pequenos municípios estudados, onde os moradores já consideram essas dificuldades como parte do cotidiano, não considerando como uma crise.

#### *4.1.4.2 Interrupções no Abastecimento de Água da Rede Pública*

A ineficiência da prestação de serviços de abastecimento pode ser observada pela intermitência do serviço público de distribuição. De acordo com os resultados dos questionários aplicados em 2021, 79% dos moradores da zona urbana afirmavam lidar com problemas de falta de água semanalmente, devido a intermitência do serviço e racionamento, mesmo com o reservatório Epitácio Pessoa estando acima de 30% de sua capacidade. Em 2024, 69,08% dos entrevistados informaram que suas residências enfrentam falta de água semanalmente ou com muita frequência, mesmo com o reservatório Epitácio Pessoa com mais de 60% de sua capacidade total.

A Figura 29 apresenta os resultados dos questionários sobre a frequência de falta de água nos anos de 2021 e 2024. Nota-se uma sutil melhoria em 2024, com mais respostas indicando que a falta de água não ocorre com frequência. Vale ressaltar, conforme discutido anteriormente, que as metodologias de coleta de dados diferiram entre os dois anos, o que pode afetar a comparabilidade direta dos resultados.

Figura 29: Falta de água da rede de abastecimento na zona urbana dos municípios

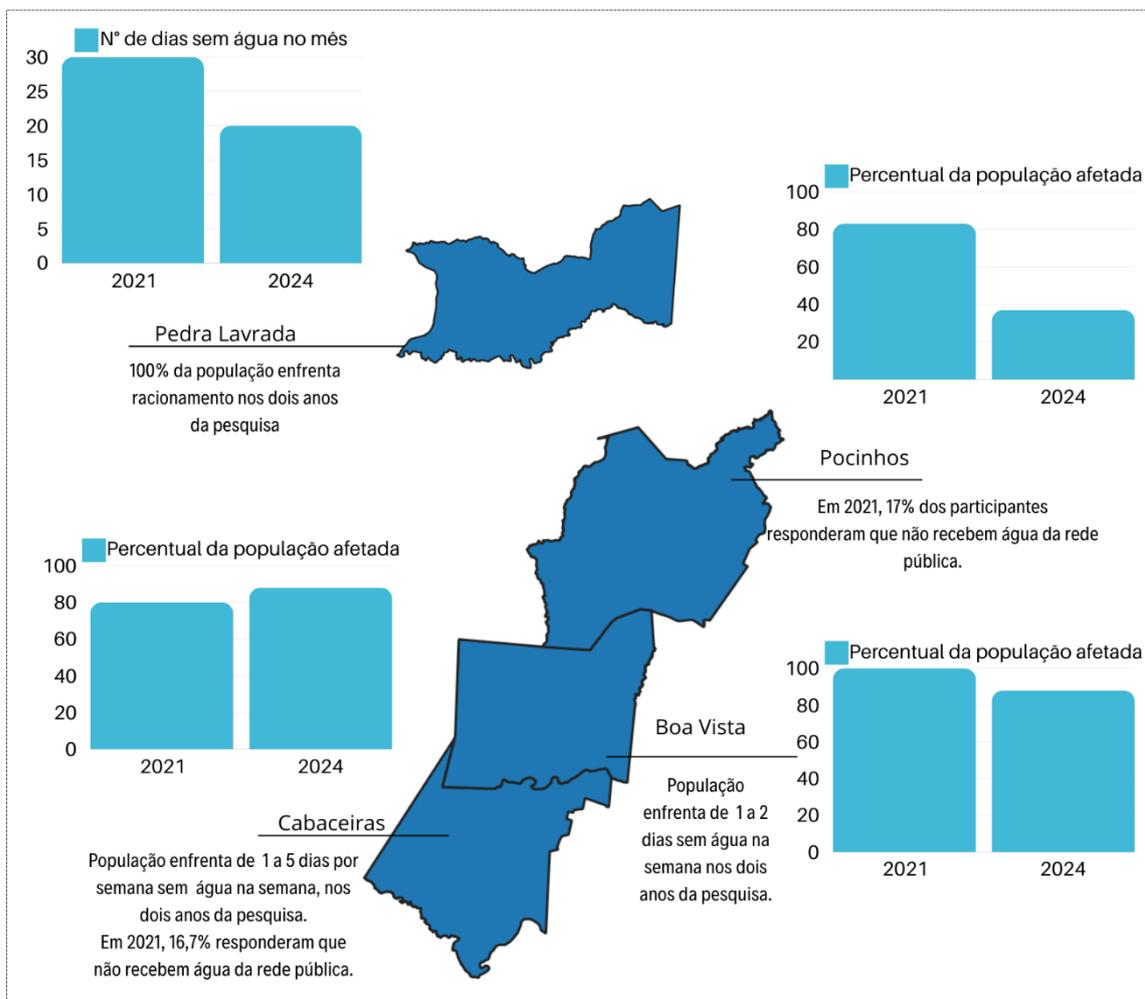


Fonte: PMSB (2021); SIGMA (2024).

O panorama do racionamento, longos períodos e frequência de intermitência do abastecimento nos municípios pode ser visualizado na Figura 30. As respostas de Boa Vista se mantiveram com relação a frequência da falta de água, 100% e 87,76% afirmaram ficar entre 1 e 2 dias por semana sem águas nas torneiras, para os anos de 2021 e 2024, respectivamente. O município de Cabaceiras mostrou maior variabilidade na frequência da falta de água para os dois anos, com um aumento do período que a população passa sem água, que varia de 2 a 5 dias, dependendo da localização da residência, por esse motivo, parte da população utiliza água de caixas d'água públicas.

Pocinhos é o único município, dentre os estudados, atendido pelo Sistema Integrado de Campina Grande, em 2021, 35,29% das pessoas responderam que são abastecidas por rede, e enfrentam falta de água semanalmente, 64,71% são moradores da zona urbana que informam que não recebem água da rede pública. Para 2024, as respostas variaram conforme o local de aplicação dos questionários, porém 37,04% das pessoas lidam com a falta de água com muita frequência. Aqueles que afirmaram receber água pela rede pública não reclamaram de lidar com a falta de água semanalmente. Pedra Lavrada é o município mais ao extremo da adutora, e, apesar de 100% dos entrevistados, para os dois anos, afirmarem ser atendidos pela rede pública, apresenta a situação mais crítica, com ocorrências de falta de água mais de 5 dias na semana em 2021, ainda neste ano, moradores afirmaram que chegavam a passar até 30 dias sem água no período de seca. Em 2024, a partir das visitas de campo realizadas, a cidade ainda se encontra em racionamento, a população fica sem água nas torneiras de 15 a 20 dias no mês.

Figura 30: Panorama do racionamento e população afetada pela falta de água nos municípios para os anos de 2021 e 2024.



Fonte: Autoria Própria (2024).

A dimensão humana do Índice de Segurança Hídrica (ISH) objetiva avaliar o abastecimento de água urbano dos municípios (ANA, 2019). Para a Área Atendida pelo PISF, o ISH foi classificado como máximo e alto para os municípios para os anos de 2017 e projeção para 2035, considerando os possíveis impactos do PISF. Boqueirão é classificado como “Alto ISH”, já Cabaceiras, Boa Vista, Pocinhos, “Máximo ISH”.

Observa-se que esses indicadores não refletem a realidade dos pequenos municípios que foram selecionados como representativos para toda a nossa área de estudo. Estes municípios, embora pequenos, desempenham um papel crucial na análise global, pois são considerados espelhos das condições e desafios enfrentados pela região como um todo. Portanto, qualquer discrepância nos dados ou na representatividade dos indicadores pode levar a uma compreensão distorcida das questões hídricas prevalentes.

Ao considerar critérios de existência de infraestrutura para avaliar a segurança hídrica, por meio de indicadores de cobertura da rede, os sistemas de informações oficiais mascararam a realidade desses municípios, que não recebem água por não haver o recurso primário nas fontes de abastecimento, ou, para o caso da nossa área de estudo, essas infraestruturas não conseguem atender as demandas da população, por apresentarem déficits na produção, reservação e distribuição do sistema.

#### *4.1.4.3 Capacidade de reservação de água nas residências*

A adaptação da população se dá também por meio da capacidade da sua reservação. Na esfera das políticas de racionamento de água ou da irregularidade em sua distribuição, a capacidade de armazenamento é vista como um fator que reduz a vulnerabilidade das residências, influenciando a forma como os moradores percebem os problemas de falta de água (Diniz et al., 2021). Para as respostas obtidas, 100% e 95% das pessoas armazenam água, em 2021 e 2024, respectivamente, sendo a caixa d'água a forma predominante. Em 2024, aproximadamente 8,90% dos entrevistados não possuem nem caixa d'água, nem cisternas. Esses são domicílios de população de baixa renda, e armazenam água em garrafas, baldes e tambores. A instalação de cisternas na zona urbana, foi a segunda forma de armazenamento mais relatada, feita de maneira particular, como um investimento por parte dos próprios moradores.

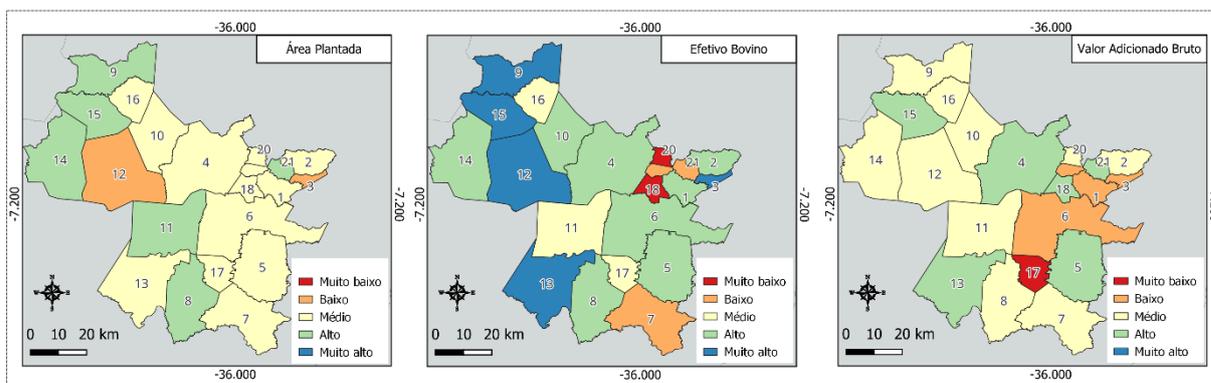
#### *4.1.4.4 Avaliação dos impactos nos setores agrícola, pecuário e industrial por meio da abordagem cumulativa*

A abordagem cumulativa foi realizada para os 21 municípios da área de estudo, e revelou impactos positivos para os setores agropecuário e industrial. Segundo os mapas da Figura 31, 28,6% dos municípios apresentaram aumento nas plantações por quatro anos consecutivos, e 61,9% por três anos consecutivos, dentro do período analisado. Na pecuária, 61% dos municípios mostraram aumento no efetivo bovino ao longo de quatro e cinco anos consecutivos. O valor adicionado bruto indica crescimento econômico no setor industrial na região, com 28,57% dos municípios exibindo crescimento por quatro anos consecutivos, e 47,62% por três anos consecutivos.

Esses dados sugerem que o PISF pode estar contribuindo para a melhoria das condições agropecuárias na região. O aumento contínuo da área plantada, do efetivo bovino e do setor industrial em muitos municípios ao longo dos anos indica que a disponibilidade de água melhorou, possibilitando a expansão das atividades

agropecuárias e industriais, essenciais para o desenvolvimento regional. Esse fenômeno reflete diretamente a melhoria no acesso à água proporcionada pela transposição, vital para regiões anteriormente desafiadas pela escassez hídrica.

Figura 31: Abordagem cumulativa dos possíveis impactos da Transposição na Agricultura, Pecuária e Indústria



Fonte: Autoria própria (2024).

A dimensão econômica do ISH avalia os riscos de escassez para os setores de agricultura, pecuária e atividades industriais (ANA, 2019). Embora o ISH não tenha sido projetado especificamente para medir o impacto direto do PISF na área atendida, ele funciona como uma ferramenta útil para avaliar a segurança hídrica geral. Indiretamente, pode refletir as melhorias trazidas por projetos como o PISF através de atualizações de dados (IPEA, 2023). Conforme indicado pelos indicadores da ANA (2019), a área atendida apresenta baixa e mínima garantia de água para agricultura e pecuária, além de baixos níveis de ISH para a indústria nos anos de 2017 e 2035. Isso sinaliza que a maioria desses municípios enfrenta um alto risco de não ter água suficiente para sustentar suas atividades agrícolas, pecuárias e industriais. Essas categorias de garantia de água, conforme refletido pelo ISH, destacam a vulnerabilidade dessas regiões à escassez de água, que pode impactar diretamente a produção essencial para a economia local.

Essa comparação levanta preocupações sobre a sustentabilidade dos ganhos. Embora o PISF tenha potencial para trazer melhorias significativas à segurança hídrica das áreas afetadas, a sustentabilidade desses benefícios depende da implementação de práticas de gestão hídrica eficazes, infraestrutura adequada, participação comunitária e adaptação proativa às mudanças ambientais e climáticas (IPEA, 2023).

#### 4.1.4 Sugestão de medidas de resposta

Diante dos desafios apresentados na segurança hídrica dos municípios, medidas específicas e orientadas devem ser implementadas com o objetivo de fornecer água de qualidade e continuidade às populações. A transposição do rio São Francisco já desempenha um papel vital ao fornecer água para regiões que sofrem com a escassez crônica, melhorando significativamente o acesso à água em áreas semiáridas. Para garantir contribuições consistentes e sustentáveis a longo prazo, é essencial continuar o investimento e expansão da infraestrutura hídrica, que inclui não apenas a manutenção e otimização dos canais de transposição e sistemas adutores, mas também a construção de novos reservatórios e a renovação das redes de distribuição para assegurar um fornecimento mais eficiente.

Novos reservatórios de distribuição e estações elevatórias estão sendo construídos para expandir o abastecimento de água nas cidades. No entanto, para garantir a eficácia dessa expansão, são necessários estudos contínuos de operação e avaliações periódicas dos sistemas de abastecimento. Essas análises são cruciais para verificar se a população urbana está sendo adequadamente atendida e para investigar as pressões hidráulicas no sistema. Esses estudos ajudarão a implementar medidas corretivas para resolver os problemas recorrentes de baixa pressão em áreas periféricas e bairros mais elevados, ou seja, promover a equidade no serviço de abastecimento de água.

A problemática do descompasso entre o disciplinamento do uso do solo e os planos de expansão da infraestrutura urbana ressalta uma questão crítica na gestão urbana. A falta de um Plano Diretor atualizado ou a ausência dele leva ao desenvolvimento urbano em áreas não previstas, resultando em expansões e adensamentos descoordenados. Isso cria um cenário em que as infraestruturas essenciais são pensadas e implementadas apenas após a emergência de problemas, seguindo um modelo reativo de planejamento (Cordão et al., 2020). Essa abordagem gera desafios significativos para a prestação de serviços, devido à falta de planejamento, o que frequentemente compromete a eficiência e a sustentabilidade do desenvolvimento urbano. Portanto, a existência e a regular atualização do Plano Diretor são essenciais para alinhar o crescimento urbano com a infraestrutura necessária, garantindo um desenvolvimento mais coordenado e sustentável. A Gestão Integrada de Recursos Hídricos deve ser interligada com o planejamento do uso da terra para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e o desenvolvimento urbano (Agarwal et al. 2000).

As pesquisas científicas têm o potencial auxiliar os gestores, oferecendo soluções inovadoras e tecnologias avançadas que podem otimizar o uso da água e melhorar a resiliência dos sistemas hídricos e suas infraestruturas (Shin et al. 2018). No entanto, a aplicação efetiva das pesquisas enfrenta desafios significativos, principalmente na comunicação e colaboração entre cientistas e gestores (Carneiro et al., 2015). A diferença entre os ciclos de pesquisa e a necessidade de soluções práticas rápidas, juntamente com a barreira da linguagem técnica, dificulta a transferência de conhecimento. Carneiro et al. (2015) enfatiza que superar essas barreiras requer a criação de plataformas de diálogo, o desenvolvimento de ferramentas práticas adaptadas às necessidades locais, e uma comunicação mais eficaz. Esses esforços são fundamentais para garantir que as pesquisas sejam aplicadas de forma eficaz na gestão dos recursos hídricos."

A mobilização comunitária através do engajamento da população pode incentivar os residentes a participarem no monitoramento da qualidade e quantidade de água, aumentando a transparência e a eficácia das políticas de gestão hídrica. Gwapedza et al. (2024), refletem em seu estudo na África do Sul, sobre as praticidades do engajamento de stakeholders baseados em suas experiências, sugerindo como o fornecimento de uma plataforma de engajamento adequada, facilitação e ferramentas apropriadas podem capacitar os usuários de água a desenvolverem soluções compartilhadas de forma colaborativa.

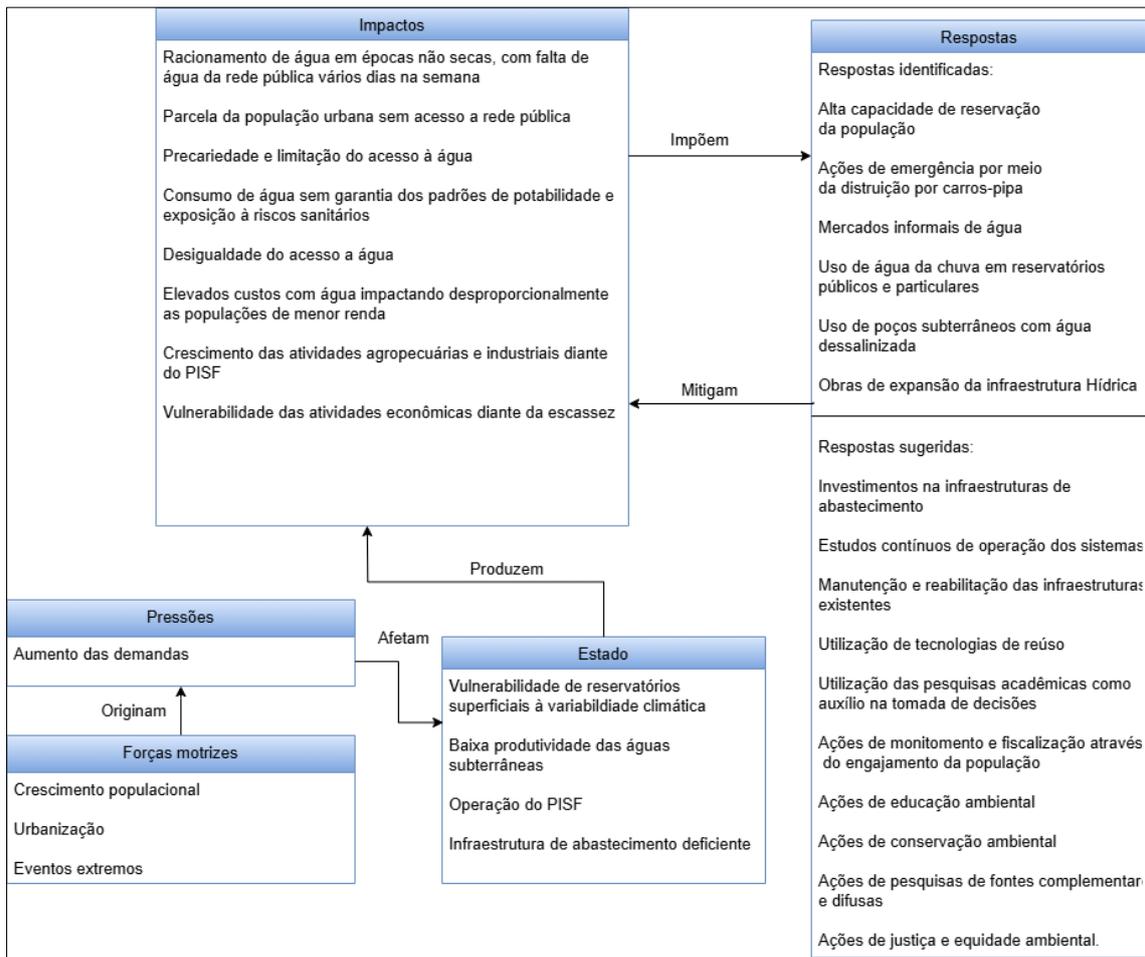
Rêgo et al. (2017) argumentam que a Transposição do São Francisco não é uma solução autossustentável para a segurança hídrica regional. O estudo indica a necessidade de alterar os padrões de uso e reuso da água proveniente de múltiplas fontes. Uma estratégia eficaz envolve a educação da comunidade e a participação ativa dos cidadãos na gestão dos recursos hídricos é crucial. Programas de conscientização sobre o uso racional da água são essenciais, promovendo práticas de consumo sustentável e a conservação da água. Para reforçar a sustentabilidade da transposição do São Francisco, medidas adicionais, como a implementação de tecnologias de tratamento e reuso de águas residuais e a captação de água da chuva, devem ser mais exploradas. Incentivos fiscais para instalação de sistemas de captação de água da chuva, sistemas de reuso e aparelhos poupadores também podem ser implementados, contribuindo para a mitigação dos problemas de abastecimento, e promovendo um uso mais equitativo e sustentável dos recursos hídricos a longo prazo.

Para isso, também é importante fortalecer as associações comunitárias existentes, incluindo as associações de conservação e proteção ambiental. As associações comunitárias são vitais para a gestão eficaz dos recursos hídricos, especialmente em áreas com acesso limitado a serviços públicos. Contudo, essas associações enfrentam precarização devido à falta de financiamento, apoio técnico e reconhecimento formal, o que compromete sua capacidade de manter infraestruturas e influenciar políticas. Fortalecer essas associações é crucial, o que pode ser feito por meio de financiamento sustentável, capacitação de membros, integração em planejamentos governamentais, estabelecimento de parcerias técnicas e legitimação como *stakeholders* chave. Esses passos não apenas melhoram a eficiência da gestão hídrica, mas também promovem uma abordagem mais democrática e inclusiva, essencial para enfrentar desafios ambientais e sociais crescentes.

#### 4.1.5 Estrutura FPEIR

Por fim, a estrutura FPEIR aplicada à segurança hídrica dos municípios atendidos pelo Eixo Leste do Projeto de Integração do São Francisco (PISF) é ilustrada na Figura 32.

Figura 32: Estrutura FPEIR para a segurança hídrica da Área de Estudo

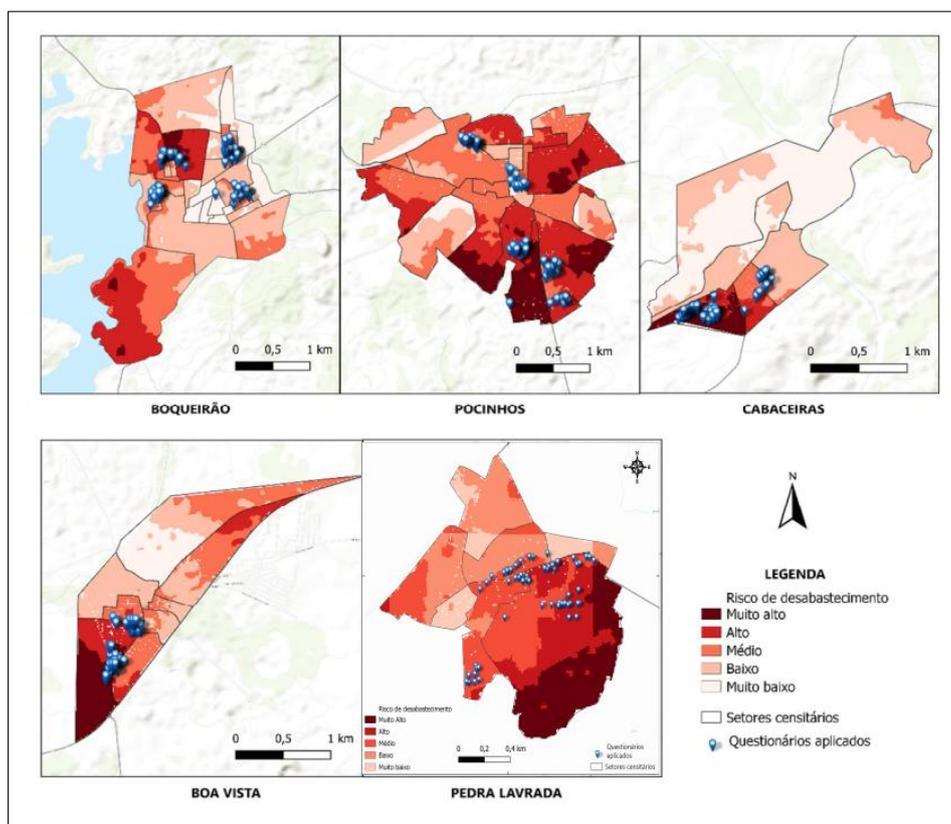


Fonte: Autoria Própria (2024).

## 4.2 Validação do mapeamento de áreas vulneráveis ao desabastecimento

A validação dos mapas de risco de desabastecimento nos municípios foi feita por meio da abordagem participativa na cidade, realizada em 2024. O Projeto SIGMA foi desenvolvido e aplicado nos municípios, de abril a maio de 2024. Um total de 346 moradores da cidade foram entrevistados sobre o abastecimento de água em suas residências. Essa seção discutirá apenas os resultados obtidos com a falta de água. A localização de cada residente foi escolhida para cobrir diferentes áreas e bairros dos municípios (Figura 33). Dos 346 moradores entrevistados, 54,04% estão localizados em áreas de risco Muito Alto e Alto, enquanto 45,96% estão localizados em áreas de muito baixo, baixo e médio risco.

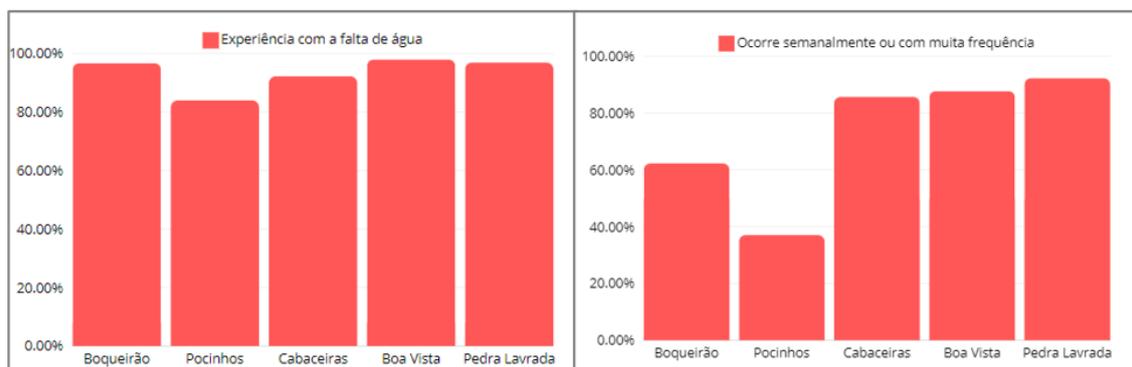
Figura 33: Localização dos residentes entrevistados nos municípios



Fonte: Autoria Própria (2024).

A partir do questionário, uma pergunta principal visava avaliar se os moradores enfrentam problemas com desabastecimento devido à falta de água em suas residências e qual a frequência dessas ocorrências (Figura 34 (a,b)). O objetivo era coletar aspectos da experiência dos moradores com o desabastecimento. Aproximadamente 92,43% dos moradores entrevistados com localização de muito alto e alto risco confirmaram que enfrentam o desabastecimento devido à falta de água nas torneiras. Apenas 7,57% afirmaram que não ocorrem episódios de falta de água em suas residências. Quanto a periodicidade, 70,19% afirmaram que esses episódios ocorrem semanalmente ou com muita frequência (Figura 34 (b)). Ambas as respostas confirmam a necessidade e a importância de desenvolver um mapa de Risco ao desabastecimento para a gestão adequada da segurança hídrica nas cidades. No tópico 4.3.2.4 será apresentada a validação do método por meio do teste estatístico.

Figura 34: Resultado da abordagem participativa; a) Enfrenta falta de água em sua residência; b) Enfrenta falta de água semanalmente ou com muita frequência.



Fonte: Autoria Própria (2024).

### 4.3 Percepção de usuários sobre os impactos da Transposição no abastecimento de água

#### 4.3.1 Contexto Geral dos usuários residenciais de água

A maioria dos entrevistados possuía entre 30 e 60 anos (55,20%). Do total 48,27% possuíam até o ensino fundamental (completo e incompleto), e 86,7% dos residentes possuíam renda familiar de até de 3 salários por mês. Como visto no tópico anterior, 52,96% estão localizados em áreas de risco ao desabastecimento e 96,82% recebem água da rede pública da CAGEPA. Do total 94,51% armazenam água em suas casas. Essas perguntas foram importantes a fim de compreender como os diferentes grupos lidam com os impactos do desabastecimento e as mudanças após a transposição. O fator de localização divide as categorias em Áreas de maior risco e Áreas de menor risco. As Áreas de maior risco são aquelas classificadas segundo a metodologia de Cordão (2020) para as categorias alto e muito alto risco, já as Áreas de menor risco são aquelas que foram classificadas como Médio, Baixo e Muito baixo risco. Os detalhes estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Características gerais dos usuários de água residenciais

<b>Categorias</b>	<b>Fatores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Percentual de respostas</b>
<b>Fatores socioeconômicos</b>	1. Idade	18 a 20 anos	5,20%
		20 a 30 anos	13,01%
		30 a 60 anos	55,20%
		Acima de 60 anos	26,59%
	2. Escolaridade	Fundamental	9,54%
		Fundamental incompleto	38,73%
		Médio completo	23,70%
		Médio incompleto	8,09%
		Sem escolaridade	12,43%
		Superior completo	5,20%
	4. Renda	Superior incompleto	2,31%
		Até 1 salário-mínimo	69,36%
		De 1 a 3 salários-mínimos	17,34%
De 3 a 6 salários-mínimos		2,02%	
De 6 a 9 salários-mínimos		0,58%	
5. Localização	Não quero informar	10,69%	
	Área de maior risco de desabastecimento	54,04%	
	Área de menor risco de desabastecimento	45,95%	
<b>Características gerais do abastecimento</b>	6. Forma de abastecimento	Rede pública da CAGEPA	96,82%
		Rede pública e fontes complementares	1,73%
		Apenas outras fontes	2,89%
	7. Armazenamento	Armazena	94,51%
		Caixa d'água ou cisterna	86,99%
		Outras formas	7,52%
		Não armazena	5,49%
	8. Medidas Mitigadoras	Utiliza ou utilizaria medidas	90,75%
Não utiliza ou utilizaria medidas		9,25%	

Fonte: Autoria Própria (2024)

#### 4.3.2 Percepção dos impactos pelos usuários residenciais

Para fornecer uma visão detalhada das características dos dados analisados, a Tabela 15 é apresentada, e resume as principais medidas estatísticas das variáveis relacionadas às percepções de impacto sobre o abastecimento de água. As variáveis incluem a compra de água para uso doméstico, a compra de água para beber, o consumo de carros-pipa, a frequência de falta de água, a mudança na falta de água, a qualidade da água, a mudança na qualidade da água e a sensação de segurança hídrica. Todas as variáveis foram medidas em uma escala Likert de 1 a 5, onde 1 representa a situação mais

desfavorável e 5 a mais favorável. As médias das variáveis analisadas estão expostas na Figura 36.

Os indicadores apresentados na Tabela 15 incluem o número de observações (N), a média, a mediana, o desvio-padrão, a variância, os valores mínimos e máximos, e os percentis 25°, 50° e 75°. Esta abordagem permite uma compreensão abrangente da distribuição e variabilidade dos dados, facilitando a análise subsequente das relações entre os fatores influentes e as percepções dos residentes. A seguir, será discutido detalhadamente cada um desses aspectos, destacando as principais conclusões derivadas dos dados.

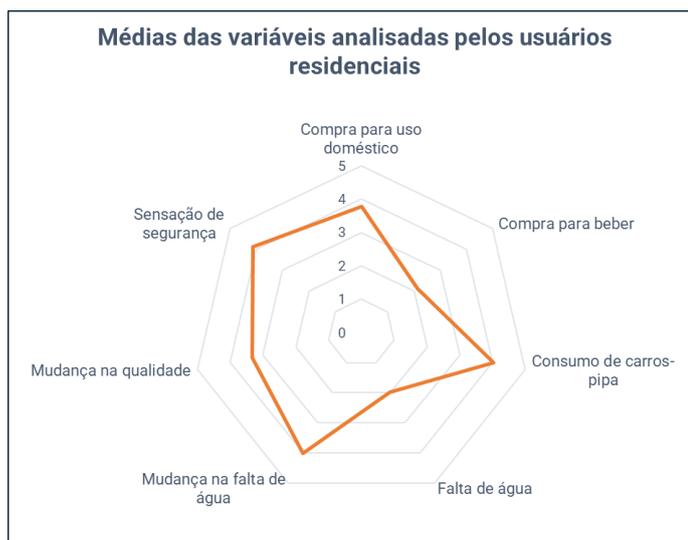
Tabela 15: Estatísticas Descritivas das Variáveis Analisadas

	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo	25p	50p	75p
<b>Compra para uso doméstico</b>	346	3.79	4	1.16	1.36	1	5	4	4	5
<b>Compra para beber</b>	346	2.13	1	1.50	2.25	1	5	1	1	4
<b>Consumo de carros-pipa</b>	346	4.03	3.75	0.766	0.587	1.25	5	3.75	3.75	5
<b>Falta de água</b>	346	1.97	1.25	1.25	1.48	1.25	5	1.25	1.25	2.5
<b>Mudança na falta de água</b>	346	4.02	3.34	0.951	0.903	1.67	5	3.34	3.34	5
<b>Qualidade</b>	346	3.18	3	0.955	0.912	1	5	2	3	4
<b>Mudança na qualidade</b>	346	3.33	3	1.05	1.10	1	5	3	3	4
<b>Sensação de segurança</b>	346	4.12	5	1.14	1.30	1	5	3.5	4	5

Fonte: Autoria Própria (2024)

Os dados revelam percepções variadas sobre diferentes aspectos do abastecimento de água. A tabela de estatísticas descritivas fornece uma base sólida para a análise detalhada das percepções dos residentes e destaca as áreas que precisam de atenção contínua para melhorar o abastecimento e a qualidade da água. Os resultados principais demonstram:

Figura 35: Média das variáveis analisadas pelos usuários residenciais



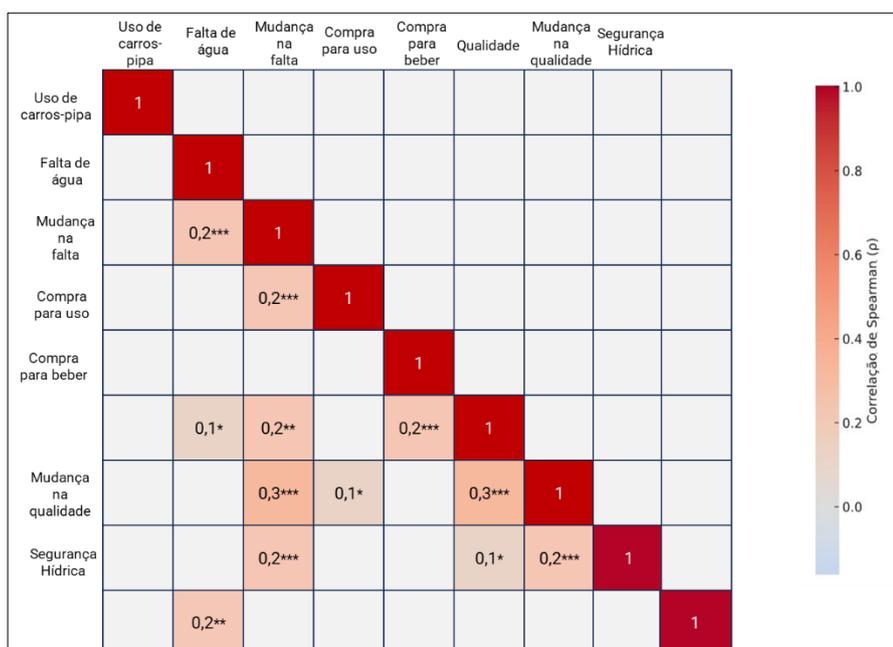
Fonte: Autoria Própria (2024).

- **Compra para Uso Doméstico:** Apresenta uma média de 3.79, com a maioria das respostas concentradas entre 4 (mediana) e 5 (75º percentil), indicando uma avaliação geralmente positiva, ou seja, um menor uso de mercados informais de água.
- **Compra para Beber:** Tem uma média mais baixa de 2.13, com uma maior dispersão (desvio-padrão de 1.50), sugerindo variações significativas nas respostas, mostrando que a população, de maneira geral, faz uso de água que não seja da rede pública para consumo humano.
- **Consumo de Carros-Pipa:** Mostra uma média de 4.03 e um desvio-padrão relativamente baixo de 0.766, indicando avaliações predominantemente positivas e consistentes, com menores relatos de dependência de carros-pipa providos pela gestão pública.
- **Falta de Água:** Apresenta uma média de 1.97, refletindo uma percepção desfavorável, com a maioria das respostas próximas ao mínimo (mediana de 1.25).
- **Mudança na Frequência de Falta de Água:** Tem uma média de 4.02, sugerindo melhorias percebidas após intervenções, com respostas concentradas entre 3.34 e 5.
- **Qualidade da Água:** A média de 3.18 indica uma avaliação mediana, com uma distribuição equilibrada das respostas (mediana de 3 e 75º percentil de 4). Esse fator foi bastante afetado devido às avaliações negativas da qualidade da água no período chuvoso em que a pesquisa foi realizada.

- Mudança na Qualidade da Água: Com uma média de 3.33, os dados sugerem percepções de melhora na qualidade da água, com uma leve tendência positiva.
- Sensação de Segurança Hídrica: Apresenta uma média de 4.12, indicando uma percepção positiva de segurança hídrica pós-transposição.

A análise dos coeficientes de correlação de Spearman revelou várias relações significativas entre as variáveis relacionadas ao abastecimento e percepção de impactos (Figura 36), a matriz de correlações para todas as variáveis pode ser encontrada no Apêndice II. A seguir, apresentamos e discutimos os resultados significativos no tópico 4.3.2.1.

Figura 36: Percepção dos usuários residenciais sobre os impactos – Correlação de Spearman



Fonte: Autoria Própria (2024).

#### 4.3.2.1 Avaliação da mudança na frequência de falta de água após a transposição

A correlação de Spearman ( $\rho = 0.180$ ,  $p < 0.001$ ) indica uma relação positiva significativa entre a frequência de falta de água e as mudanças nessa frequência após a transposição. Isso sugere que algumas melhorias, embora sutis, têm ocorrido, apesar da persistência do problema.

A correlação positiva significativa ( $\rho = 0.182$ ,  $p < 0.001$ ) sugere que as mudanças positivas na frequência de falta de água estão associadas a diminuição na compra de água

para usos domésticos, indicando que as famílias estão recorrendo menos à compra de água como uma solução para enfrentar a escassez.

A correlação positiva ( $\rho = 0.167$ ,  $p = 0.002$ ) entre a mudança na frequência de falta de água e a avaliação da qualidade da água sugere que as percepções de qualidade da água estão ligadas às mudanças na disponibilidade de água. A forte correlação positiva ( $\rho = 0.298$ ,  $p < 0.001$ ) indica que melhorias ou deficiências na frequência de falta de água após a transposição estão fortemente associadas às percepções de mudança na qualidade da água.

#### *4.3.2.2 Avaliação da qualidade da água e impacto após a transposição*

A correlação positiva ( $\rho = 0.293$ ,  $p < 0.001$ ) reforça a ligação entre a avaliação da qualidade da água e as percepções de mudança na qualidade após a transposição. Esse resultado sublinha que percepções positivas de qualidade da água são geralmente acompanhadas por percepções de melhoria na qualidade após intervenções de transposição.

A correlação significativa ( $\rho = 0.181$ ,  $p < 0.001$ ) indica que uma melhor avaliação da qualidade da água está associada a uma necessidade menor de compra de água para usos domésticos, sugerindo que a percepção de qualidade da água afeta as decisões de compra. Já a correlação significativa positiva ( $\rho = 0.210$ ,  $p < 0.001$ ) sugere que mudanças na qualidade da água após a transposição influenciam diretamente a decisão das famílias de comprar água para beber, indicando que a percepção de melhoria na qualidade da água pode reduzir a necessidade de compra de água engarrafada, refletindo uma maior confiança na qualidade da água fornecida para o consumo.

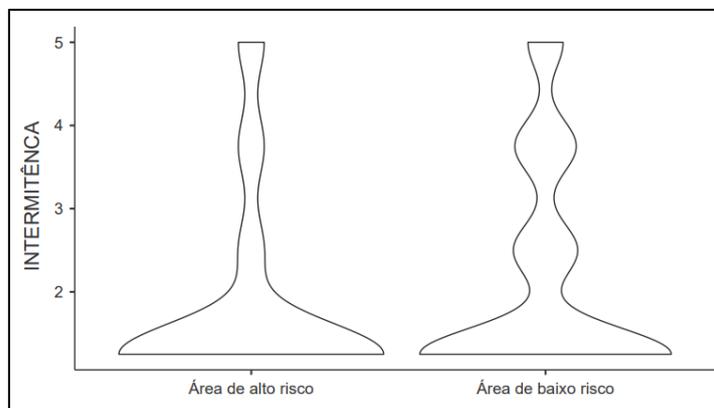
#### *4.3.2.3 Sensação de segurança Hídrica*

A correlação significativa sugere que as mudanças na frequência de falta de água ( $\rho = 0.188$ ,  $p < 0.001$ ) e as mudanças na qualidade da água ( $\rho = 0.218$ ,  $p < 0.001$ ) afetam diretamente o sentimento de segurança hídrica dos residentes, destacando a importância da estabilidade no abastecimento e qualidade da água ( $\rho = 0.113$ ,  $p = 0.035$ ) para a segurança percebida e expectativa futura.

#### 4.3.2.4 Análise da Frequência de Falta de Água entre Áreas de Alto e Baixo Risco

O gráfico tipo violin plot (Figura 37) ilustra a distribuição da variável Falta de Água para as áreas de alto e baixo risco. Observa-se que, nas áreas de alto risco, há uma concentração maior de respostas na faixa inferior da escala, indicando uma maior frequência de falta de água. Em contraste, as áreas de baixo risco mostram uma distribuição mais espalhada, embora ainda haja uma concentração significativa de respostas na faixa inferior da escala, sugerindo que a falta de água é uma preocupação relevante também nessas áreas.

Figura 37: Violin Plot da Frequência de Falta de Água (Intermitência) entre Áreas de Alto e Baixo Risco



Fonte: Autoria Própria (2024).

Os resultados descritivos na Tabela 15 indicam que a mediana da frequência de falta de água é igual em ambas as áreas (1.25), mas a média e a variância são maiores nas áreas de baixo risco, sugerindo uma maior variabilidade nas experiências de falta de água entre os residentes dessas áreas.

Para avaliar a significância das diferenças observadas, foi realizado o teste de Mann-Whitney. O resultado ( $U = 9538$ ,  $p = 0.004$ ) indica que a diferença na frequência de falta de água entre as áreas de alto e baixo risco é estatisticamente significativa. Esse resultado sugere que a localização geográfica, associada ao nível de risco, influencia significativamente a frequência de falta de água experimentada pelos residentes.

Os resultados mostram que os residentes das áreas de alto risco experimentam uma maior frequência de falta de água, conforme evidenciado pela média mais baixa de intermitência. A variabilidade maior nas áreas de baixo risco, refletida pela maior variância, pode ser atribuída a fatores locais específicos ou a diferentes níveis de pressões

da rede. A significância estatística encontrada pelo teste de Mann-Whitney reforça que a percepção e a experiência da falta de água são influenciadas pela localização geográfica e pelo nível de risco associado, validando a metodologia de Cordão et al. (2020) para a área de estudo.

#### *4.3.2.5 Análise da relação entre a Percepção de impactos e demais Fatores sociais*

Para comparação e análise dos fatores sociais e os impactos foi realizado o Teste de Mann-Whitney (Apêndice III). Antes de apresentar os fatores, destaca-se que os resultados da análise dos coeficientes de correlação de Spearman e do teste de Mann-Whitney mostraram que a renda não foi um fator significativamente influente nas percepções de impacto relacionadas ao abastecimento de água e suas mudanças após a transposição. Pode ser inferida algumas razões para a ausência dessa influência.

A amostra estudada possui pouca variação na renda dos residentes, a falta de diversidade econômica pode resultar na ausência de uma influência significativa da renda, 69,36% dos participantes informaram que recebem até 1 salário-mínimo, e 17% de 1 a 3 salários-mínimos. Em áreas onde a maioria dos residentes possui níveis de renda similares, características de pequenos municípios, as percepções e comportamentos relacionados ao abastecimento de água podem ser uniformes.

Grande et al. (2016) verificou que a renda domiciliar impacta a capacidade de armazenamento dos domicílios, de modo que quanto menor a renda, menor a capacidade de armazenamento. Desse modo, para a área de estudo, 94,51% dos participantes armazenam água, e 86,99% possuem caixas d'água e cisternas. Observou-se que essa prática é um padrão nos domicílios de maneira geral, devido as recorrentes falta de água, durante vários dias na semana.

Com a renda não sendo um fator significativo, outros fatores foram considerados, como a localização em áreas de risco, a própria capacidade de armazenamento e o nível de escolaridade. Essas áreas podem ser mais relevantes para direcionar intervenções e políticas eficazes. Políticas e intervenções que visam melhorar a qualidade da água, a segurança hídrica e reduzir a frequência de falta de água devem considerar abordagens universais que beneficiem toda a população, independentemente da renda. Programas que melhorem a infraestrutura de armazenamento e a gestão de água nas áreas de alto risco pode ser particularmente eficazes.

a) Idade

A idade dos residentes mostrou-se significativamente associada à compra de água para fins domésticos ( $p = 0.002$ ). Esse resultado sugere que a idade pode influenciar a experiência com relação a compra água para uso doméstico, possivelmente devido a diferentes percepções de necessidade e responsabilidades entre as faixas etárias. Residentes mais velhos podem ter um histórico de compra de água devido as responsabilidades com a manutenção de uma residência.

A idade dos residentes influencia a percepção de mudança na frequência de falta de água após a transposição ( $p = 0.032$ ). Isso pode refletir diferentes experiências ou expectativas entre as faixas etárias em relação às melhorias no abastecimento. Residentes mais velhos podem ter uma percepção mais crítica ou conservadora das mudanças.

b) Escolaridade

A escolaridade dos residentes também está associada à percepção de mudança na frequência de falta de água ( $p = 0.006$ ). Pessoas com diferentes níveis de escolaridade (baixa até ensino fundamental e alta até ensino superior) podem ter percepções variadas sobre a eficácia das intervenções na infraestrutura de água. Residentes com maior escolaridade podem ter um entendimento mais aprofundado das políticas de água e suas implicações.

A escolaridade é um fator significativo na percepção de mudança na qualidade da água após a transposição ( $p = 0.005$ ). Isso sugere que o nível de educação pode influenciar a capacidade dos residentes de avaliar e perceber melhorias na qualidade da água. O que sugere que residentes com maior escolaridade podem ser mais críticos e atentos às mudanças na qualidade da água. López-Felices et al. (2023) reforçam essa observação, apontando que a educação aprimora as percepções ambientais por meio do aumento da consciência ambiental.

A escolaridade provou ser um fator significativo na percepção das mudanças na qualidade da água após a transposição, com um valor de  $p$  significativo de 0.005. Isso indica que o nível de educação pode ampliar a capacidade dos residentes de avaliar e reconhecer as melhorias na qualidade da água. Assim, indivíduos com maior escolaridade tendem a ser mais críticos e vigilantes quanto às alterações na qualidade da água. López-Felices et al. (2023) também destacam que a educação influencia as percepções ambientais, devido a um maior nível de consciência ambiental.

### c) Capacidade de armazenamento e Adoção de medidas mitigadoras

A percepção de segurança hídrica pós-transposição também está associada à capacidade de armazenamento ( $\rho = 0.204$ ,  $p = 0.018$ ). A posse de uma cisterna ou caixa d'água pode aumentar a sensação de segurança hídrica, fornecendo uma reserva confiável de água. Em contrapartida, residentes que armazenam água em baldes ou tambores, ou que não possuem armazenamento, podem se sentir mais vulneráveis à escassez.

A correlação negativa significativa ( $\rho = -0.150$ ,  $p = 0.005$ ) sugere que o uso de medidas mitigadoras está associado a uma menor frequência de falta de água, indicando que essas medidas têm auxiliado na redução da escassez hídrica, sugerindo que tais medidas são eficazes e devem ser incentivadas como parte das estratégias de gestão hídrica. Esses resultados corroboram com estudos recentes, que defendem que enquanto soluções de curto prazo como a transposição podem oferecer alívio imediato, a verdadeira resiliência depende de estratégias de adaptação e consumo racional (Bozorg-Haddad, et al. 2024; Rêgo et al., 2017).

#### 4.3.3 Contexto Geral dos usuários de água para agricultura

Os dados sobre agricultura revelam que a maioria dos agricultores está na faixa etária de 40 a 60 anos (52,9%) e possui escolaridade média completa (32,4%). Em termos de experiência, 82,4% têm mais de 7 anos na atividade. A principal fonte de água é a captação do Açude Epitácio Pessoa (64,7%) e a forma predominante de irrigação é a aspersão ou gotejamento (94,51%). Além disso, 66,7% dos agricultores não possuem criação de gado e 44,12% plantam em áreas de até 2 hectares. Os detalhes dos agricultores participantes da pesquisa estão expostos na Tabela 16: Características gerais dos usuários de água para agricultura.

Os agricultores que criam gado não perceberam impactos positivos significativos da transposição de águas em suas criações. Isso pode ser atribuído à menor importância da atividade pecuária na renda total desses agricultores, indicando uma percepção de menor impacto para esta atividade. A variável anos de experiência dos agricultores revela que 17,6% são novos agricultores, indicando um crescimento do número de irrigantes na região, o que pode refletir um impacto positivo da transposição da região.

Os resultados apontaram que pessoas com maior escolaridade apresentam uma maior incerteza com relação a segurança hídrica futura, 63,60% dos agricultores com maior escolaridade relataram preocupações e incertezas devido a transposição,

geralmente atribuídas ao interesse políticos. Enquanto 62,50% dos agricultores sem escolaridade, ou com menor escolaridade, se mostraram mais positivos quanto a este fator.

Tabela 16: Características gerais dos usuários de água para agricultura

<b>Categorias</b>	<b>Fatores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Percentual de respostas</b>
<b>Fatores socioeconômicos</b>	1. Idade	18 a 25 anos	5,9%
		25 a 40 anos	26,5%
		40 a 60 ano	52,90%
		Acima de 60 anos	14,7%
	2. Escolaridade	Fundamental	11,6%
		Fundamental incompleto	20,6%
		Médio completo	32,4%
		Médio incompleto	5,9%
		Sem escolaridade	5,9%
		Superior completo	11,8%
<b>Características gerais da atividade</b>	3. Anos de experiência	Menor que 7 anos	17,6%
		Maior que 7 anos	82,4%
	4. Forma de captação	Captação do Açude Epitácio Pessoa	64,7%
		Captação do rio Paraíba	35,3%
	5. Forma de irrigação	Aspersão ou gotejamento	94,51%
		Outras formas	5,49%
	6. Possui criação de gado	Possui criação de gado	33,3%
		Não possui criação de gado	66,7%
	7. Área de plantio	Até 2 hectares	44,12%
		De 2 a 5 hectares	29,41%
Acima de 5 hectares		26,47%	

Fonte: Autoria Própria (2024).

#### 4.3.4 Percepção dos impactos da Transposição pelos usuários de água para agricultura

A Tabela 17 apresenta as principais medidas estatísticas das variáveis relacionadas às percepções de impacto sobre o abastecimento de água, incluindo diversificação de culturas, variação na produção agrícola, impacto da transposição, qualidade da água para plantio, e sensação de segurança hídrica presente e futura. Todas as variáveis foram medidas em uma escala Likert de 1 a 5, onde 1 representa a situação mais desfavorável e 5 a mais favorável. As médias das variáveis analisadas estão expostas na Figura 38.

Os indicadores apresentados na tabela incluem o número de observações (N), média, mediana, desvio-padrão, variância, valores mínimos e máximos, e percentis 25°, 50° e 75°. Esta abordagem permite compreender a distribuição e variabilidade dos dados,

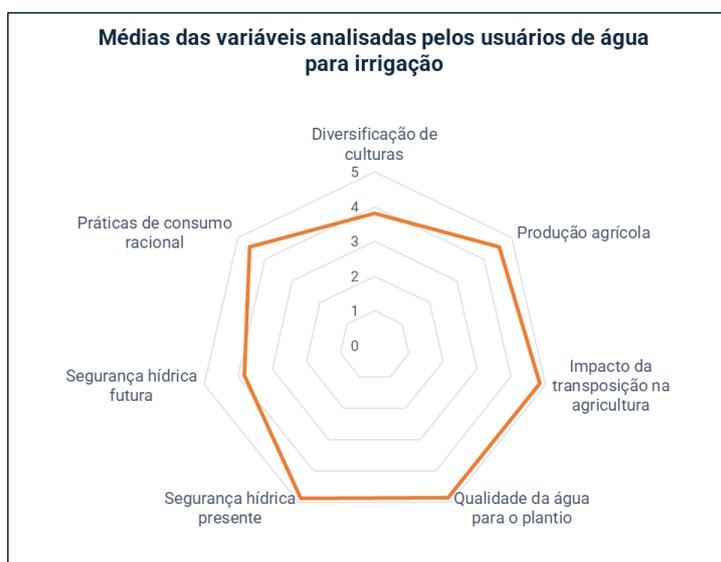
facilitando a análise das relações entre os fatores influentes e as percepções dos agricultores.

Tabela 17: Estatísticas Descritivas das Variáveis Analisadas (Agricultores)

	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo	25p	50p	75p
<b>Diversificação de culturas</b>	34	3,82	4,00	1,31	1,73	1,00	5,00	3,00	4,00	5,00
<b>Produção agrícola</b>	34	4,56	5,00	1,08	1,16	2,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Impacto da transposição na agricultura</b>	34	4,85	5,00	0,436	0,190	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Qualidade da água para o plantio</b>	34	4,85	5,00	0,702	0,493	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Segurança hídrica presente</b>	34	4,88	5,00	0,686	0,471	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Segurança hídrica futura</b>	34	3,82	4,50	1,47	2,14	1,00	5,00	2,00	4,50	5,00
<b>Práticas de consumo racional</b>	34	4,56	5,00	1,02	1,04	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 38: Média das variáveis analisadas pelos usuários de água para agricultura



Fonte: Autoria Própria (2024).

- **Diversificação de Culturas:** Apresenta uma média de 3.82 e uma mediana de 4.00, com um desvio-padrão de 1.31. A maioria das respostas está concentrada nos valores 4 e 5, indicando uma percepção relativamente positiva.
- **Variação na Produção Agrícola:** Tem uma média de 4.56 e uma mediana de 5.00, com um desvio-padrão de 1.08. As respostas são altamente concentradas no valor máximo de 5, sugerindo uma avaliação muito favorável.

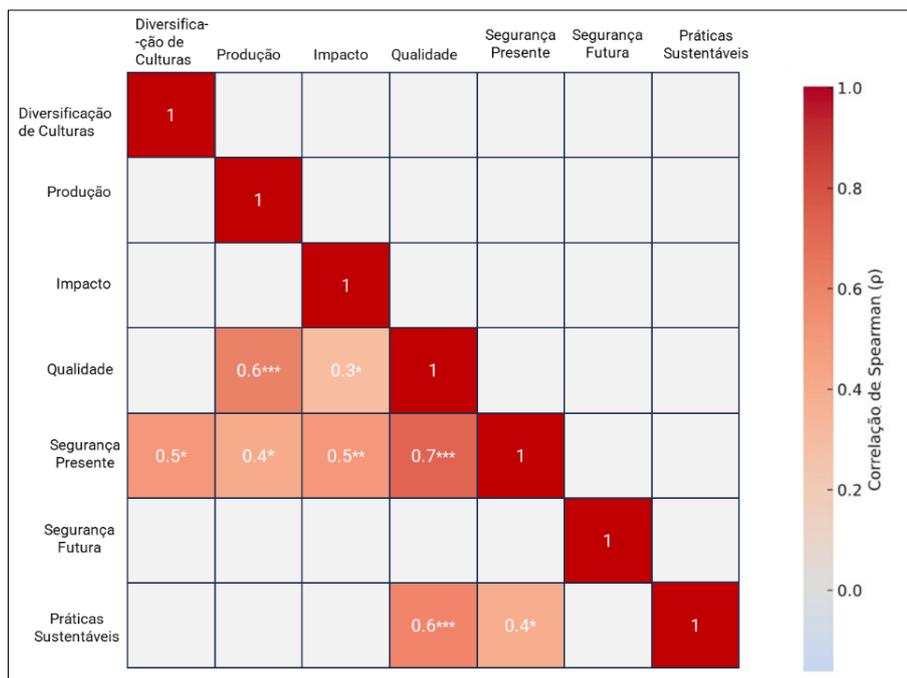
- Impacto da Transposição: Mostra uma média de 4.85 e uma mediana de 5.00, com um desvio-padrão baixo de 0.436, indicando avaliações consistentemente altas.
- Qualidade da Água para Plantio: Apresenta uma média de 4.85 e uma mediana de 5.00, com um desvio-padrão de 0.702. A maioria das respostas está no valor máximo de 5, refletindo uma percepção altamente positiva da qualidade da água.
- Sensação de Segurança Hídrica Presente: Tem uma média de 4.88 e uma mediana de 5.00, com um desvio-padrão de 0.686. As respostas estão concentradas em 5, sugerindo uma sensação atual de segurança muito favorável.
- Sensação de Segurança Hídrica Futura: Mostra uma média de 3.82 e uma mediana de 4.50, com um desvio-padrão mais alto de 1.47, indicando uma variação maior nas percepções sobre a segurança futura.
- Práticas de consumo racional de água nas atividades Agrícolas: Apresenta uma média de 4.56 e uma mediana de 5.00, com um desvio-padrão de 1.02. As respostas estão majoritariamente no valor máximo de 5, indicando práticas bem avaliadas.

Os dados revelam percepções predominantemente positivas em relação às variáveis analisadas, com médias e medianas altas indicando uma avaliação favorável do impacto das intervenções no abastecimento de água. A consistência das respostas, sugere uma satisfação generalizada com esses aspectos. Por outro lado, a variável segurança hídrica futura apresenta uma maior variabilidade, refletindo incertezas ou preocupações entre os agricultores sobre a segurança hídrica no longo prazo.

#### *4.3.4.1 Diversificação de Culturas, Aumento na produção, Qualidade da Água e Segurança Hídrica Presente*

A análise dos coeficientes de correlação de Spearman revelou relações significativas entre as variáveis relacionadas a atividade agrícola e a percepção de impactos (Figura 39). A matriz de correlações para todas as variáveis pode ser encontrada no Apêndice IV.

Figura 39: Percepção dos usuários de água para agricultura sobre os impactos – Correlação de Spearman



Fonte: Autoria Própria (2024).

A significativa correlação entre a diversificação de culturas e a segurança hídrica atual ( $\rho = 0.498$ ,  $p < 0.045$ ) indica que os agricultores que se sentem mais confiantes em relação à disponibilidade de água tendem a diversificar suas plantações. Entre os entrevistados, 50% relataram ter introduzido novas culturas que não eram cultivadas antes da transposição, em função dessa percepção. Isso corrobora com o estudo de Batungwanayo et al. (2021) que mostram que a mudança de variedades de culturas está diretamente relacionada à percepção de segurança hídrica. Para a área de estudo, o aumento no cultivo de frutíferas foi mencionado, onde 61,76% dos agricultores afirmaram que se sentem mais seguros no cultivo de culturas de ciclo mais longo. Estes cultivos podem demandar maior irrigação durante um período mais prolongado, em áreas com chuvas menos consistentes (Castillo-González et al., 2024; Xylia et al., 2024). Isso geralmente resulta em um consumo total de água maior ao longo do ciclo de crescimento (Xylia et al., 2024).

Como esperado, a correlação significativa entre a segurança hídrica presente e o impacto da transposição na produção indica que percepções positivas sobre os projetos de transposição de água estão associadas a uma maior sensação de segurança hídrica ( $\rho = 0.524$ ,  $p < 0.001$ ). A correlação significativa entre a segurança hídrica presente e a

produção agrícola ( $\rho = 0.419$ ,  $p < 0.014$ ) sugere que uma maior sensação de segurança hídrica está associada a uma maior produção agrícola.

A variável qualidade da água apresentou forte correlação com a segurança hídrica presente ( $\rho = 0.718$ ,  $p < 0.001$ ), reforçando a importância da qualidade da água do de segurança hídrica, na produção agrícola ( $\rho = 0.602$ ,  $p < 0.001$ ), e no nível de impacto da transposição no desenvolvimento de suas atividades ( $\rho = 0.343$ ,  $p < 0.047$ ).

Tatar et al. (2023) destaca a importância da consciência sobre a segurança hídrica na tomada de decisões agrícolas e na adoção de novas práticas de cultivo. Enquanto a percepção positiva de segurança hídrica pode incentivar a diversificação e a inovação, percepções negativas relacionadas à gestão inadequada e à crise hídrica podem limitar a capacidade dos agricultores de adaptar-se e inovar. Fomentar a educação e a conscientização sobre o uso sustentável da água entre esses usuários é essencial para assegurar a segurança hídrica a longo prazo. Tatar et al. (2023) sublinha a importância de abordar as percepções e práticas dos agricultores através de programas educativos que promovam a sustentabilidade e a gestão eficiente dos recursos hídricos, garantindo que a água seja utilizada de forma responsável e sustentável.

A correlação significativa entre práticas de consumo racional e segurança hídrica presente ( $\rho = 0.45$ ,  $p < 0.015$ ) indica que, para os agricultores, práticas agrícolas sustentáveis realizadas garantem a segurança hídrica atual, mas essa percepção não se sustenta para um cenário futuro. Batungwanayo et al. (2023) observaram que as práticas de adaptação podem aumentar a segurança hídrica. Eles constataram que a adoção de práticas agrícolas específicas, como a diversificação de culturas, mudança de variedades de culturas, rotação de culturas e outras estratégias de manejo de recursos hídricos, pode melhorar a resiliência dos agricultores às mudanças climáticas e, assim, aumentar a segurança hídrica a longo prazo. Algumas dessas práticas foram relatadas pelos agricultores entrevistados em nossa área de estudo (Tabela 18).

Tabela 18: Formas de adaptação utilizadas pelos agricultores

<b>Forma de adaptação</b>	<b>Percentual de respostas (%)</b>
Mistura de culturas	37,9%
Rotação de culturas	52,9%
Técnica de gotejamento	94,1%
Agricultura de sequeiro	17,65%

Fonte: Autoria Própria (2024).

A agricultura de sequeiro é uma prática comum no semiárido nordestino (BRITO et al., 2021). Essa prática foi relatada por agricultores que se localizam a montante do reservatório Eptácio Pessoa. Os agricultores que utilizam a agricultura de sequeiro dependem da quantidade de água disponível durante a época chuvosa, caracterizando assim um tipo de agricultura de elevado risco em relação ao rendimento e a produção (Rocha et al., 2020). No entanto, esses irrigantes são atendidos pelo Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) que é destinado a agricultores que contratam operações de crédito rural para custeio agrícola. O Proagro oferece cobertura para eventos climáticos adversos e pragas, proporcionando segurança financeira e incentivando a continuidade da atividade agrícola (Banco do Brasil, 2024).

A prática de misturar diferentes culturas no mesmo campo visa aumentar a resiliência contra pragas, doenças e variações climáticas, além de melhorar a utilização dos recursos do solo. Já a rotação de culturas envolve alternar diferentes tipos de plantas no mesmo campo em diferentes estações, melhorando a fertilidade do solo e reduzindo a pressão de pragas e doenças (Batungwanayo et al., 2023). Segundo esses autores, essas práticas se alinham com a necessidade de manter a saúde do solo e aumentar a produtividade agrícola a longo prazo, fatores críticos em regiões vulneráveis às variações climáticas.

A irrigação por gotejamento é uma técnica eficiente que fornece água diretamente às raízes das plantas, reduzindo o desperdício e otimizando o uso da água. Essa adaptação é amplamente utilizada em regiões com baixa disponibilidade, que adotaram o sistema para a agricultura devido à elevada eficiência de aplicação de água (Reisser Junior, 2017).

## 5 CONCLUSÕES

Este estudo destacou a realidade da insegurança hídrica em municípios de pequeno porte na Paraíba, evidenciada pela persistência de problemas no fornecimento de água apesar dos aportes no sistema hídrico advindos de um grande projeto de transposição de bacias como o PISF. O modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) provou ser uma ferramenta eficaz, permitindo uma análise detalhada e estruturada que interliga as atividades humanas às pressões sobre os recursos hídricos, seus estados atuais, os impactos decorrentes e as respostas necessárias.

A implementação do modelo FPEIR facilitou a identificação clara das dinâmicas e desafios enfrentados pela região estudada. Por exemplo, foi possível quantificar como

o aumento populacional e urbanização pressionam a demanda por recursos hídricos, enquanto a capacidade dos reservatórios e sistemas de abastecimento não apresentaram capacidade de atendimento a esta demanda, pelo menos no que tange à população de pequenos municípios da região, resultando em um acesso inadequado à água de qualidade.

Adicionalmente, os dados de ciência cidadã incorporados através do modelo FPEIR enriqueceram a pesquisa, proporcionando uma perspectiva mais realista, baseada na percepção dos usuários sobre os impactos da insegurança hídrica. Isso destacou a importância de engajar as comunidades locais no monitoramento e na gestão dos recursos hídricos, incentivando uma resposta mais adaptada e sustentável às suas necessidades.

A abordagem cumulativa de impactos mostrou que a implementação do Projeto de Integração do São Francisco PISF teve um impacto significativo positivo sobre a dimensão econômica da região, porém a manutenção e ampliação das melhorias dependem crucialmente da implementação de práticas de gestão hídrica eficazes, de infraestrutura adequada, da participação comunitária e da adaptação proativa às mudanças ambientais e climáticas.

As respostas governamentais (acesso à água através de grandes infraestruturas), ainda são insuficientes para resolver a crise de água de forma sustentável e abrangente, uma vez que questões operacionais em uma escala mais local, provocam alta intermitência do serviço prestado, gerando insegurança hídrica. Este estudo reforça a necessidade de políticas mais robustas e integradas que abordem tanto a infraestrutura física, a gestão dos recursos hídricos e uma fiscalização dos serviços de gestão, considerando as particularidades socioeconômicas dos municípios envolvidos.

As conclusões da abordagem participativa realizada em 2024 fornecem insights valiosos para a gestão da segurança hídrica nos municípios da Paraíba. A validação dos mapas de risco ao desabastecimento mostrou uma concordância significativa entre os relatos dos moradores e as áreas identificadas como vulneráveis, confirmando a eficácia dos mapas como ferramentas de planejamento. A análise das percepções dos usuários sobre os impactos do abastecimento de água revelou correlações importantes, indicando que melhorias na frequência e na qualidade do abastecimento reduzem a necessidade de compra de água e aumentam a sensação de segurança hídrica entre os moradores.

Esses resultados ressaltam a importância de intervenções contínuas e planejadas para mitigar os riscos de desabastecimento e melhorar a qualidade de vida nas áreas afetadas. A abordagem participativa mostrou-se essencial para captar as percepções reais

dos usuários, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão hídrica.

Os agricultores na região de estudo demonstraram uma avaliação positiva às novas condições de disponibilidade hídrica proporcionadas pelo PISF, mas que devem ser considerados com cautela, tendo em vista que o consumo exacerbado devido ao sentimento de segurança hídrica, podem comprometer a sustentabilidade a longo prazo dos sistemas de transposição. No entanto, a maioria possui experiência considerável na atividade agrícola e mostraram que métodos eficientes de irrigação, como o gotejamento tem sido utilizado como estratégia de redução do consumo. A diversificação de culturas, incentivada pela maior segurança hídrica, resultou em uma produção agrícola mais robusta e variada. A correlação positiva entre a segurança hídrica e a produção agrícola reforça a importância de uma gestão hídrica eficiente para o desenvolvimento sustentável da agricultura na região. Esses resultados destacam a necessidade de continuar investindo, além da infraestrutura hídrica, em práticas de gestão sustentável da água para garantir a continuidade dos benefícios observados.

O trabalho apresentado enfrenta algumas limitações que devem ser consideradas e que direcionam recomendações para estudos futuros. Apesar do uso de dados de fontes primárias, ainda possui dependência de dados secundários que, embora extensivos, podem não capturar completamente as nuances locais ou mudanças rápidas nas condições de uso da água e desenvolvimento econômico. Além disso, a complexidade dos impactos ambientais e econômicos associados ao PISF poderia ser explorada com uma abordagem mais multidisciplinar, integrando mais diretamente aspectos sociais e políticos. Para estudos futuros, seria benéfico implementar metodologias que permitam uma coleta de dados primária mais robusta e diversificada, envolvendo diretamente os demais setores econômicos afetados. Isso poderia incluir estudos longitudinais para monitorar os impactos a longo prazo do PISF, bem como pesquisas que focam na eficácia das políticas de gestão da água e na resiliência das comunidades locais frente às variabilidades climáticas e hidrológicas.

A matriz FPEIR obtida é ferramenta essencial na análise da segurança hídrica em municípios de pequeno porte, oferecendo um método sistemático para explorar as complexas interações entre fatores socioeconômicos, ambientais e de gestão de recursos hídricos. Esta abordagem organizou os dados coletados de forma lógica e esclareceu a relação causa-efeito dos desafios hídricos, sugerindo intervenções eficazes para mitigar a insegurança hídrica. Além disso, a matriz FPEIR promoveu uma compreensão holística

dos problemas, fundamentando políticas e práticas de gestão e provando ser vital para a comunicação de informações complexas, tornando-se um suporte para o planejamento estratégico em recursos hídricos. A continuidade desse tipo de pesquisa é essencial para acompanhar as mudanças e adaptar as estratégias conforme necessário, garantindo a sustentabilidade dos recursos hídricos para futuras gerações.

## 6 REFERÊNCIAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Monitoramento: últimos volumes informados dos açudes. 2023. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/>. Acesso em: 20 dez. 2023.

AGARWAL, A.; DE LOS ANGELES, M. S.; BHATIA, R. et al. Integrated water resources management. Stockholm: Global Water Partnership, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Alocação de água. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/pb>. Acesso em: 29 jun. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Índice de Segurança Hídrica. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/seguranca-hidrica/indicadores/ISH2019.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS. Cadastro de Poços. Disponível em: <https://siagasweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 1 jul. 2023.

ALVES, P. B. R.; CORDÃO, M. J. S.; DJORDJEVIĆ, S.; JAVADI, A. A. Place-based citizen science for assessing risk perception and coping capacity of households affected by multiple hazards. *Sustainability*, v. 13, n. 1, p. 302, 2021. DOI: 10.3390/su13010302. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su13010302>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>. Acesso em: 01 de janeiro de 2023.

ANANDHI, A.; KANNAN, N. Vulnerability assessment of water resources—Translating a theoretical concept to an operational framework using systems thinking approach in a changing climate: Case study in Ogallala Aquifer. *J. Hydrol.*, v. 557, p. 460–474, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.040>. Acesso em: 30 mai. 2024.

ANDRADE, L. F.; SILVA, T. M. G.; SOUZA, J. C. D.; OLIVEIRA, E. F. Mercados informais de água no semiárido paraibano: uma análise a partir do estudo de caso em

Campina Grande. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 51, n. 2, p. 85-100, 2020. Disponível em: <<https://bnb.gov.br/revista/ren/article/view/863/778>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

ARAÚJO, M. D.; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 6, p. 1167-1181, nov./dez. 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019184425.

BALSAS, C. J. L. Urban Revitalization in Small Cities across the Atlantic Ocean. *Sustainability*, v. 16, n. 639, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16020639>. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su16020639>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro): resumo das instruções. Disponível em: [https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/proagro\\_docs/resumo\\_instrucoes\\_Proagro.pdf](https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/proagro_docs/resumo_instrucoes_Proagro.pdf). Acesso em: 31 jul. 2024.

BARBOSA, L. C. de A.; HEINZEN, M. K.; GOMES, P. V. Case Study of Urban Resilience—Brazilian River: City-Scale, Common Problems, and Collective Cooperation Solutions. In: KRÜGER, E. L.; KARUNATHILAKE, H. P.; ALAM, T. (Eds.). *Resilient and Responsible Smart Cities*. Cham: Springer, 2023. p. 181-190. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20182-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20182-0_14). Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-20182-0\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-20182-0_14)>. Acesso em: 30 jan. 2024.

BARROS, J. D.; ARCOVERDE, G. F. B.; HENRIQUE, R. Uso da Cartografia Social para Análise da Percepção Socioambiental: Estudo de Caso na Bacia do Paraíba do Sul – Trecho Paulista. *Revista Espaço Aberto*, v. 14, n. 1, p. 43-64, 2024. DOI: 10.36403/espacoaberto.2024.60503. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/60503/40803>>. Acesso em: 30 mar. 2024.

BATUNGWANAYO, P.; HABARUGIRA, V.; VANCLOOSTER, M.; NDIMUBANDI, J.; KOROPITAN, A. F.; NKURUNZIZA, J. de D. Confronting climate change and livelihood: Smallholder farmers' perceptions and adaptation strategies in northeastern

Burundi. *Regional Environmental Change*, v. 23, p. 47, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-022-02018-7>. Acesso em: 31 jul. 2024.

BONNEY, R. Expanding the impact of citizen science. *BioScience*, v. 71, n. 5, p. 448–451, 2021. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience>. Acesso em: 30 out. 2024.

BONNEY, R.; COOPER, C.; BALLARD, H. The theory and practice of citizen science: launching a new journal. *Citizen Science: Theory and Practice*, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5334/cstp.65>. Acesso em: 30 out. 2024.

BONNEY, R.; PHILLIPS, T. B.; BALLARD, H. L.; ENCK, J. W. Can citizen science enhance public understanding of science? *Public Understanding of Science*, v. 24, n. 5, p. 1-15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>. Acesso em: 30 out. 2024.

BOZORG-HADDAD, O.; BAHRAMI, M.; GHOLAMI, A.; CHU, X.; LOÁICIGA, H. A. Investigation and classification of water resources management strategies: possible threats and solutions. *Natural Hazards*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06589-y>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios e diretrizes para a avaliação de impacto ambiental. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/1986/res\\_conama\\_01\\_1986\\_avaliacao\\_impacto\\_ambiental.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/1986/res_conama_01_1986_avaliacao_impacto_ambiental.pdf). Acesso em: 30 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Relatório de Impacto Ambiental: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004. Disponível em: [https://link\\_do\\_documento](https://link_do_documento). Acesso em: 20 jul. 2024.

BRASIL. Projeto de Integração do rio São Francisco. Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco>. Acesso em: 27 fev. 2019.

BRITO, H. C. de; BRITO, Y. M. A. de; ASSIS, W. D. de; FERREIRA, Y. C. B.; VASCONCELOS, R. S.; RUFINO, I. A. A. Análise temporal da disponibilidade hídrica nos estados beneficiados pela transposição do Rio São Francisco. *Caminhos de Geografia, Uberlândia-MG*, v. 21, n. 75, p. 102–116, jun. 2020. DOI:

10.14393/RCG217550733. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/50733>. Acesso em: 07 jun 2024.

BRITO, H. C. de; BRITO, Y. M. A. de; RUFINO, I. A. A. O Índice de Segurança Hídrica do Brasil e o Semiárido Brasileiro: Desafios e Riscos Futuros. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 74, n. 1, p. 1-14, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n1-60928>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n1-60928>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

BRITO, H. C. de; RUFINO, I. A. A. O desafio da sustentabilidade hídrica no semiárido brasileiro: modelo conceitual no suporte à cenarização futura. *Revista DAE*, v. 70, n. 237, p. 154-167, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.058>.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, v. 38, p. 517-529, 2018. DOI: 10.1002/joc.5225. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5225>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BRITO, Y. M. A. de; RUFINO, I. A. A.; BRAGA, C. F. C.; MULLIGAN, K. The Brazilian drought monitoring in a multi-annual perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, n. 31, 2021b. DOI: 10.1007/s10661-020-08839-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08839-5>. Acesso em: 30 jun. 2024.

BRITO, Y. M. A.; BRITO, H. C.; RUFINO, I. A. A.; BRAGA, C. F. C. Panorama da seca pluriannual 2012–2018 no semiárido brasileiro: impactos hidrológicos, agrícolas e medidas de convivência. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 58, p. 911-931, jul./dez. 2021a. DOI: 10.5380/dma.v58i0.74667. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/download/74667/336769/>. Acesso em: 30 jun. 2024.

CAMPOS, J. N. B. Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective. *Environmental Management*, 55, 1052-1063, 2015. doi: 10.1007/s00267-015-0444-x

CARNEIRO, M. J.; DELATIN, D.; SANDRONI, L. Produção e circulação do conhecimento entre cientistas e gestores públicos. *REACT - Revista de Antropologia da Ciências e da Tecnologia*, v. 1, n. 1, maio 2015. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/react/article/view/1362/714>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CARVALHO, Michele Tereza Marques; PAULA, Jean Marlo Pepino de; GONÇALVES, Pedro Henrique. Gerenciamento de obras públicas e as políticas de infraestrutura do Brasil contemporâneo. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8555>>. Acesso em: 13 de julho de 2024.

CASTILLO-GONZÁLEZ, E.; DE MEDINA-SALAS, L.; GIRALDI-DÍAZ, M. R.; VELÁSQUEZ-DE LA CRUZ, R.; JIMÉNEZ-OCHOA, J. R. Environmental impacts associated with the production and packing of Persian lemon in Mexico through life-cycle assessment. *Clean Technologies*, v. 6, n. 2, p. 551-571, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6020029>. Acesso em: 31 jul. 2024.

CASTRO, J. E.; SILVA, J. I. A. O.; CUNHA, L. H. Os desafios do Paradigma da “cidadania” hídrica na América Latina: conflitos, estado e democracia. *\*Prim@ Facie\**, João Pessoa, v. 16, n. 32, 2017.

CAVALCANTI JUNIOR, C. A. A.; LIMA, J. P. R. O Semiárido Nordeste: evolução recente da economia e do setor industrial. *Rev. Econ. NE, Fortaleza*, v. 50, n. 3, p. 69-88, jul./set. 2019. Disponível em: <[link\\_do\\_artigo](#)>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CEREZINI, Monise Terra; CASTRO, César Nunes de. Projeto de Integração do São Francisco e a Segurança Hídrica da Região Beneficiada. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2023. (Texto para Discussão, n. 2839). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2839>. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>>. Acesso em: 26 jun 2024.

CITI-SENSE. Project Overview. CITI-SENSE, 2024. Disponível em: <https://citi-sense.eu/project/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

CORDÃO, M. J. de S.; RUFINO, I. A. A.; ALVES, P. B. R.; BARROS FILHO, M. N. M. Water shortage risk mapping: a GIS-MCDA approach for a medium-sized city in the Brazilian semi-arid region. *Urban Water Journal*, v. 17, n. 7, p. 642-655, 2020. DOI: 10.1080/1573062X.2020.1804596. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1804596>. Acesso em: 31 jan. 2024.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa hidrogeológico do Brasil (1:5,000,000). 2014. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/downloads/#>. Acesso em: 01 mar. 2021.

CRESWELL, J. W. (2013). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage Publications.

CUNHA, L. H. Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 55, p. 99-116, dez. 2020. DOI: 10.5380/dma.v55i0.73371. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73371>. Acesso em: 30 jun. 2024.

CUNHA, L. H.; MIRANDA, R. S.; ARAÚJO, D. C. de. Mercados informais de água no semiárido paraibano. In: PESSOA, M. A.; SILVA, A. L. da; MARTINS, F. R. (orgs.). *Gestão da água: ferramentas de gestão, mercado e usos sociais da água*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2020. p. 392-413. Disponível em: <http://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ProjetoRioSaoFrancisco/ArquivosPDF/documentos/tostecnicos/RIMAJULHO2004.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2024.

DEL GRANDE, M. H.; GALVÃO, C. DE O.; MIRANDA, L. I. B. DE; GUERRA SOBRINHO, L. D. A percepção de usuários sobre os impactos do racionamento de água em suas rotinas domiciliares. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. XIX, n. 41, p. 165-184, jan.-mar. 2016. Disponível em: <URL\_do\_artigo>. Acesso em: 20 jul. 2024.

DIAS, E. M. S.; PESSOA, Z. S.; TEIXEIRA, R. L. P.; SILVA, L. C. S. Mudanças climáticas e agropecuária: vulnerabilidades da região semiárida. *Revista do Desenvolvimento Regional - Faccat*, Taquara, RS, v. 18, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26767/2118>. Acesso em: 29 jan. 2025.

DINIZ, T. G.; DEL GRANDE, M. H.; GALVÃO, C. O. Vulnerabilidade domiciliar em situação de intermitência no abastecimento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 535-543, maio/jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190038>. Acesso em: 20 jul. 2024.

DUNLOP, Thomas; KHOJASTEH, Danial; COHEN-SHACHAM, Emmanuelle; GLAMORE, William; HAGHANI, Milad; BOSCH, Matilda van den; RIZZI, Daniela; GREVE, Peter; FELDER, Stefan. The evolution and future of research on Nature-based Solutions to address societal challenges. *Communications Earth & Environment*, 2024. DOI: 10.1038/s43247-024-01308-8.

EBIRD. eBird: An online database of bird distribution and abundance. Cornell Lab of Ornithology, 2024. Disponível em: <https://ebird.org>. Acesso em: 29 dez. 2024.

EEA - European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and overview. Technical report N° 25. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 1999.

EEA. European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and Use in Reporting. Luxembourg: EEA internal working paper, 2003.

EMPINOTTI, V. L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. *Geoforum*, v. 98, p. 46-54, 2019. DOI: 10.1016/j.geoforum.2018.09.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718518302823>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FARIAS, E. E. V.; CURI, W. F.; DINIZ, L. S. São Francisco River Integration Project, Eastern Axis: losses analysis and performance indicators. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 22, e47, 2017. DOI: 10.1590/2318-0331.0217170006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/vb7yWxpBjVTgn7CzWkcD8cs/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 19 jan. 2024.

FELINTO, C. M. R.; RIBEIRO, M. M.; BRAGA, C. F. C. Aplicação do Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) na gestão de recursos hídricos. *Revista DAE*, v. 67, n. 220, p. 56-71, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.038>. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.038>. Acesso em: 30 jun. 2024.

FOLKENS, L.; BACHMANN, D.; SCHNEIDER, P. Driving forces and socio-economic impacts of low-flow events in Central Europe: a literature review using DPSIR criteria. *Sustainability*, v. 15, n. 13, p. 10692, 2023. DOI: 10.3390/su151310692. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/13/10692>. Acesso em: 29 jan. 2024.

FOLKENS, L.; BACHMANN, D.; SCHNEIDER, P. Driving Forces and Socio-Economic Impacts of Low-Flow Events in Central Europe: A Literature Review Using DPSIR Criteria. *Sustainability*, v. 15, n. 13, p. 10692, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151310692>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151310692>. Acesso em: 15 jun. 2024.

GENTRY-SHIELDS, Jennifer; BARTRAM, Jamie. Human health and the water environment: Using the DPSEEA framework to identify the driving forces of disease.

Science of The Total Environment, v. 468-469, p. 306-314, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.052>. Acesso em: 30 mai. 2024.

GHASSEMI, F.; WHITE, I. Inter-Basin Water Transfer: Case Studies from Australia, United States, Canada, China and India. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

GUIMARÃES JR, J. A. Reforma hídrica do Nordeste como alternativa à Transposição do Rio São Francisco. Cadernos do CEAS: Revista crítica de humanidades, v. 227, p. 80–88, 2016.

HO, S. Y.-F.; XU, S. J.; LEE, F. W.-F. Citizen science: An alternative way for water monitoring in Hong Kong. PLoS ONE, v. 15, n. 9, p. e0238349, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238349>. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238349>. Acesso em: 30 mai. 2024.

HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; van GINKEL, K. C. H. Urban water security: A review. Environmental Research Letters, v. 13, n. 053002, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aaba52. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>. Acesso em: 30 jun. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias. 2017. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/regioes\\_geograficas/#/home](https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/#/home). Acesso em: 12 de janeiro de 2023.

KANG REN, Y.; YANG, Z.; WANG, S.; ZHANG, X.; WANG, H. Reliability, resilience, and vulnerability evaluation of urban water supply system under multiple uncertainties. \*Journal of Cleaner Production\*, v. 250, p. 119574, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119574>. Acesso em: 9 jul. 2024.

LEWENSTEIN, B. V. Is citizen science a remedy for inequality? The Annals of the American Academy of Political and Social Science, v. 700, p. 183-198, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1177/00027162221092697>. Acesso em: 30 out. 2024.

LI, Y. et al. Water Environment Management and Performance Evaluation in Central China: A Research Based on Comprehensive. Evaluation System. Water. Volume 11, p. 2472, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11122472>.

LINTOTT, C. J.; SCHAWINSKI, K.; SLOSAR, A.; LAND, K.; BAMFORD, S.; THOMAS, D.; RADDICK, M. J.; NICHOL, R. C.; SZALAY, A.; ANDREESCU, D.; MURRAY, P.; VANDENBERG, J. Galaxy Zoo: Morphologies derived from visual inspection of galaxies from the Sloan Digital Sky Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 389, n. 3, p. 1179-1189, 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/mnras/article/389/3/1179/1017183>. Acesso em: 20 dez. 2024.

LOPES, T. M. X. M.; SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. de A.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M. Identificação de impactos e respostas às secas para mitigação da vulnerabilidade hídrica: o caso de Fortaleza. *Revista DAE*, v. 70, p. 195-207, 2022.

MA, L.; WANG, Q. Do Water Transfer Projects Promote Water Use Efficiency? Case Study of South-to-North Water Transfer Project in Yellow River Basin of China. *Water*, v. 16, n. 10, p. 1367, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16101367>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16101367>. Acesso em: 10 jun. 2024.

Magalhães, A. R. Vida e seca no Brasil. In: De Nys, E. de; Engle, N. L.; Magalhães, A. R. (Orgs.). *Secas no Brasil: Política e gestão proativas*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Banco Mundial, p. 19-35, 2016.

Marinho, S. D. A. M.; Cordão, M. J. S.; Santos, F. M.; Santos, B. L. F.; Galvão, C. O.; Rufino, I. A. Interfaces entre a produção do espaço urbano e o risco de desabastecimento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 417-427, maio/jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190369>. Acesso em: 20 jul. 2024.

MCKINLEY, D. C. et al. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation*, v. 208, p. 15-28, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>. Acesso em: 30 out. 2024.

MENDES, J.; FERREIRA, D. H. L.; SUGAHARA, C.; BRANCHI, B. Proposta para o desenvolvimento de um índice de segurança hídrica. *Revista Desenvolvimento em Questão*, v. 22, n. 60, p. 1-26, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2024.60.15072>. Acesso em: 30 jun. 2024.

MENESES, R. A. et al. (2022). “Operação de sistemas de abastecimento em épocas de crise hídrica: O caso de Campina Grande (2012-2017)”. In: *Anais do XVI Simpósio de*

Recursos Hídricos do Nordeste 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, Caruaru, 2022.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Julho 2004. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ProjetoRioSaoFrancisco/ArquivosPDF/documentos/RIMAJULHO2004.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2024.

OBUBU, J. P.; ODONG, R.; ALAMEREW, T.; FETAHL, T.; MENGISTOU, S. Application of DPSIR model to identify the drivers and impacts of land use and land cover changes and climate change on land, water, and livelihoods in the L. Kyoga basin: implications for sustainable management. *Environmental Systems Research*, v. 11, n. 11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00254-8>. Acesso em: 1 jul. 2024.

PAIVA, A. C. E.; MARTINS, M.; CANAMARY, E. A.; RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J. Inter-basin water transfers under changing climate and land use: Assessing water security and hydropower in the Paraíba do Sul River basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 133, p. 104707, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104707>. Acesso em: 20 jul. 2024.

PAZ, M. G. A. da; MENEZES, J. A.; BRANCO, E. A.; MAGLIO, I. C.; ARCOVERDE, G. F. B.; OMETTO, J. P. H. B. Vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas em cidades brasileiras. In: ARAÚJO, M. B. (Ed.). *Mudanças Climáticas: Impactos e Adaptação*. São Paulo: Blucher, 2022. p. 53-89. Disponível em: <https://sistema.adaptabrasil.mcti.gov.br>. Acesso em: 21 jan. 2022.

PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico. Diagnóstico Técnico-Participativo. Campina Grande: FUNASA/UFCG, 2021.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Estrutura do projeto de pesquisa. In: PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013, cap. 4, p. 119-141.

RAMOS FILHO, R. da S.; BARROS FILHO, M. N. M.; RUFINO, I. A. A.; COSTA, F. F. da; CORDÃO, M. J. de S. Urban water insecurity drivers in the Brazilian semi-arid

region. *Water Supply*, v. 23, n. 2, p. 447-457, 2023. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article-pdf/23/2/447/1179515>

REISSER JUNIOR, C. As vantagens da irrigação por gotejamento. *Revista Campo & Negócios Hortifrúti*, n. 145, jul. 2017, p. 8-9. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1073220&biblioteca=vazio&busca=1073220&qFacets=1073220&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 30 jul. 2024.

RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. *Parcerias Estratégicas*, n. 27, p. 298-321, dez. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.74667>. Acesso em: 30 jun. 2024.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. *Journal of Development Economics*, v. 112, p. 72–91, jan. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2014.10.003>

ROCHA, T. B. C.; SOUSA, I. F.; SILVA, F. B. et al. Veranicos no Ceará e aplicações para agricultura de sequeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 3, p. 435-447, 2020. DOI: 10.1590/0102-7786353005.

RUFINO, I.; DJORDJEVIĆ, S.; BRITO, H. C. de; ALVES, P. B. R. Multi-Temporal Built-Up Grids of Brazilian Cities: How Trends and Dynamic Modelling Could Help on Resilience Challenges? *Sustainability*, v. 13, n. 748, 2021. DOI: 10.3390/su13020748. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13020748>. Acesso em: 30 nov. 2024.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.

SHI, S.; TAO, X.; CHEN, X.; CHEN, H.; FITRI, A.; YANG, X. Evaluation of urban water security based on DPSIR model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 880, p. 012023, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/880/1/012023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/880/1/012023>. Acesso em: 15 set. 2023.

SHI, S.; TAO, X.; CHEN, X.; CHEN, H.; FITRI, A.; YANG, X. Evaluation of urban water security based on DPSIR model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 880, p. 012023, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/880/1/012023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012023>>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SILVA, N. M. da; ANDRADE, A. J. P. DE; SOUZA, C. R. de. O sertanejo e as experiências de inverno no Seridó Potiguar. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 27, p. 87-107, 2013. DOI: 10.5380/dma.v27i0.29829.

SILVEIRA, P. C.; BISSET-ALVAREZ, E. Ciência cidadã na efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável no Estado de Santa Catarina, Brasil. *RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, v. 22, e024016, 2024. DOI: <https://doi.org/10.20396/rdbci.v22i00.8676334>. Acesso em: 30 out. 2024.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. SNIS Série Histórica. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 12 de janeiro de 2024.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. SNIS Série Histórica. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SOUSA, V. D.; FARIAS, M. S. S.; GUIMARÃES, J. P.; PEREIRA, J. S. Soil hydrodynamics in a degraded area in the Cariri region of Paraíba. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e27311124937, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24937>.

STRASSER, B. J. et al. Citizen science? Rethinking science and public participation. *Science & Technology Studies*, v. 32, n. 2, p. 52-66, 2019. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8676334>. Acesso em: 30 out. 2024.

SULLIVAN, B. L.; WOOD, C. L.; ILIFF, M. J.; BONNEY, R. E.; FINK, D.; KELLING, S. eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation*, v. 142, n. 10, p. 2282-2292, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/248200195\\_eBird\\_A\\_citizen-based\\_bird\\_observation\\_network\\_in\\_the\\_biological\\_sciences](https://www.researchgate.net/publication/248200195_eBird_A_citizen-based_bird_observation_network_in_the_biological_sciences). Acesso em: 15 dez. 2024.

SUN, S.; TAO, H.; CAI, W.; WANG, Y.; LIU, W.; WANG, X.; YANG, W.; XIAO, L.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; ZHOU, J.; LI, X. Water transfer infrastructure buffers water scarcity risks to supply chains. *Water Research*, v. 229, p. 119442, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119442>. Acesso em: 20 jun. 2024.

TATAR, M.; PAPZAN, A.; AHMADVAND, M. Farmers' lived experiences of water crisis: lessons learned from a phenomenology study. *Environmental Management*, v. 72, p. 1204-1215, 2023. DOI: 10.1007/s00267-023-01865-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01865-2>. Acesso em: 30 jul. 2024.

THEODORO, H. D.; NASCIMENTO, N. DE O.; HELLER, L. Análise comparativa da gestão institucional de recursos hídricos via estudo de casos internacionais. *Rega, Porto Alegre*, v. 13, n. 2, p. 110-128, jul./dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/reg.v13n2.p110-128>. Acesso em: 20 jul. 2024.

TSCHERNING, K.; HELMING, K.; KRONENBERG, R.; PREGERNIG, M. Does research applying the DPSIR framework support decision making? *Land Use Policy*, v. 29, n. 1, p. 102-110, 2012. DOI: 10.1016/j.landusepol.2011.05.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837711000500>. Acesso em: 17 fev. 2024.

UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021: O Valor da Água. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap>. Acesso em: 15 fev. 2024.

UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: Não deixar ninguém para trás. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por). Acesso em: 30 jan. 2024.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). Relatório mundial sobre a redução do risco de desastres 2022. Disponível em: <https://www.undrr.org/media/80169/download?startDownload=20240701>. Acesso em: 30 jan. 2024.

VAN GINKEL, K.C.H.; HOEKSTRA, A.Y.; BUURMAN, J.; HOGEBOOM, R.J. Urban Water Security Dashboard: Systems Approach to Characterizing the Water Security of Cities. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, v. 144, p. 04018075, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000887](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000887). Acesso em: 30 mai. 2024.

VANNEVEL, R. Using DPSIR and Balances to Support Water Governance. *Water*, Ghent: Laboratory of Environmental Toxicology and Aquatic Ecology, Ghent University, v. 10, n. 118, 29 jan. 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3390/w10020118>. Acesso em: 20 jul. 2024.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Semi-árido. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 2, p. 7-17, abr./jun. 2003.

VIEIRA, V. P. P. B. Sustentabilidade do semiárido brasileiro: desafios e perspectivas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 105–112, 2002.

WALKER, D. W. et al. It's not all about drought: What “drought impacts” monitoring can reveal. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 103, 104338, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104338>. Acesso em: 11 de julho de 2024.

XYLIA, M.; ZIS, T.; KALOGIROU, S. Date fruit production and consumption: a perspective on global trends and drivers from a multidimensional footprint assessment. Sustainability, v. 15, n. 4358, p. 1-21, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15064358>. Acesso em: 31 jul. 2024.

YOUSAFZAI, S.; SAEED, R.; RAHMAN, G.; FARISH, S. Spatio-temporal assessment of land use dynamics and urbanization: linking with environmental aspects and DPSIR framework approach. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, p. 81337-81350, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-21393-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21393-6>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ZHAO, G.; MU, X.; TIAN, P.; WANG, F.; GAO, P. Climate changes and their impacts on water resources in semiarid regions: a case study of the Wei River basin, China. Hydrological Processes, Chichester, UK, v. 27, p. 3852-3863, 2013.

ZHAO, J.; ZHANG, H.; LI, Y. Consideration of trends in evaluating inter-basin water transfer alternatives within a fuzzy decision making framework. Water Resources Management, v. 23, n. 8, p. 1579–1602, 2009. DOI: 10.1007/s11269-009-9430-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-009-9430-5>. Acesso em: 29 jun. 2024.

ZHAO, Z.; DUA, D.; SINGH, S. Generating natural adversarial examples. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1710.11342>. Acesso em: 29 jun. 2024.

ZHUANG, W. Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 12, p. 12867-12879, 2016. DOI: 10.1007/s11356-016-6854-3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-6854-3>. Acesso em: 27 jun. 2024.

## APÊNDICE I



SEGURANÇA HÍDRICA DE MUNICÍPIOS PARAIBANOS: UMA  
 MODELAGEM INTEGRADA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DAS  
 DINÂMICAS NATURAIS E ANTRÓPICAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
 FUNDAÇÃO DE APOIO À PESQUISA DO ESTADO DA PARAÍBA

### Características Sociodemográficas

Você aceita participar desta pesquisa?

Aceito participar da pesquisa

Nome:

1. Idade:

18 a 20 anos

20 a 30 anos

30 a 60 anos

Acima de 60 anos

2. Escolaridade:

Sem escolaridade

Fundamental Incompleto

Fundamental

Médio Incompleto

Médio Completo

Superior Incompleto

Superior completo

3. Renda familiar:

Até 1 salário mínimo

De 1 a 3 salários mínimos

De 3 a 6 salários mínimos

De 6 a 9 salários mínimos

Mais de 9 salários mínimos

Não quero informar

4. Bairro / Distrito ou Sítio em que reside:

5. Há quanto tempo você mora neste bairro? \_\_\_\_\_

6. Há quanto tempo você mora nesta cidade? \_\_\_\_\_

### Características do Abastecimento e Impactos

7. De onde vem a água que abastece sua casa?

Rede pública da CAGEPA

Chafariz público

Poço particular

Carro pipa da prefeitura ou exército

Cisterna de água de chuva

Não sei

Outro: \_\_\_\_\_

8. Você armazena água?

Sim

Não

9. Caso a resposta anterior seja sim, como você armazena a água?

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Caixa d'água | <input type="checkbox"/> Garrafas          |
| <input type="checkbox"/> Cisterna     | <input type="checkbox"/> Não armazeno água |
| <input type="checkbox"/> Baldes       | <input type="checkbox"/> Outro: _____      |

10. Você precisa ou já precisou comprar água para uso doméstico (lavar pratos, roupa, casa, etc.)?

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Sim, atualmente preciso comprar água regularmente (mais de uma vez por mês) | <input type="checkbox"/> Não compro, mas considero comprar devido a problemas de qualidade ou falta de água. |
| <input type="checkbox"/> Sim, ocasionalmente preciso comprar água (algumas épocas do ano)            | <input type="checkbox"/> Já precisei comprar água em anos anteriores, hoje não preciso mais.                 |
| <input type="checkbox"/> Nunca precisei comprar água   |  |

11. Você precisa ou já precisou comprar água para beber?

- Atualmente preciso comprar galões de água para beber regularmente (semanalmente).
- Sim, ocasionalmente preciso comprar água (às vezes, quando necessário)
- Já precisei comprar, hoje não preciso mais.
- Nunca precisei comprar água para beber.
- Não compro, mas considero comprar devido a problemas de qualidade ou falta de água.

12. Você já consumiu água de carros-pipa da prefeitura ou do exército?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Atualmente preciso de carros-pipa  | <input type="checkbox"/> Não preciso, mas considero a possibilidade devido a problemas de qualidade ou falta de água. |
| <input type="checkbox"/> Precisei de carros-pipa em anos anteriores, atualmente não preciso mais. |   |
| <input type="checkbox"/> Nunca precisei utilizar água dos carros-pipa                             |   |

13. Se você utiliza água da rede pública, com que frequência ocorre falta de água na sua residência?

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Acontece raramente                            | <input type="checkbox"/> Não falta água |
| <input type="checkbox"/> Não acontece com muita frequência             |   |
| <input type="checkbox"/> Acontece semanalmente ou com muita frequência |   |

14. Você diria que houve mudança com relação a falta de água após a chegada das águas da transposição?

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sim, houve diminuição nas ocorrências da falta de água | <input type="checkbox"/> Sim, houve aumento nas ocorrências de falta de água |
| <input type="checkbox"/> Não houve nenhuma mudança                              |  |

15. Como você avalia a água que sai da torneira da sua casa?

- Excelente, sempre limpa, sem gosto ou cheiro, parece segura.
- Boa, geralmente limpa, sem gosto ou cheiro, mas tenho preocupações ao consumir.
- Regular, às vezes tem gosto, ou cheiro, ou cor, me faz questionar se é seguro consumir.
- Ruim, frequentemente tem gosto, ou cheiro, ou cor, não me sinto seguro em consumir.
- Não sei/Prefiro não responder.

16. Você notou alguma mudança na qualidade da água desde a implementação do sistema de transposição?

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Melhoria significativa na qualidade | <input type="checkbox"/> Piora ligeira na qualidade       |
| <input type="checkbox"/> Ligeira melhoria na qualidade       | <input type="checkbox"/> Piora significativa na qualidade |
| <input type="checkbox"/> Sem mudanças perceptíveis           |   |

---

## Estratégias de Adaptação

### CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO

24. Você tem acesso a informações sobre a seca para se preparar com antecedência?

- Sim. Quais informações? \_\_\_\_\_  Não

25. Você já recebeu algum treinamento ou capacitação para se adaptar à escassez de água?

- Sim  Não

26. A quem você recorreria se estivesse em risco de desabastecimento?

- Outros membros da família  CAGEPA  
 Prefeitura municipal  Daria um jeito sozinho

### TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

27. Quais das seguintes medidas você usa ou usaria em sua casa para diminuir a escassez de água? (Escolha todas as opções aplicáveis).

- Uso de água de chuva  Limitação do uso para higiene pessoal ou limpeza da casa  
 Reuso de água  Não adoto / não adotaria nenhuma medida  
 Instalação de dispositivos de economia de água

28. Você faria algum investimento na sua casa para reduzir o risco de falta de água?

- Faria investimentos  Não faria nenhuma investimento  
 Não tenho recursos para investir nesse aspecto

29. Próximo a sua residência existe algum outro meio local de aquisição de água durante as épocas de seca?

- Sim. Qual? \_\_\_\_\_  Não

30. Você estaria interessado em algum outro meio de acesso a água durante a seca?

- Sim  Não

31. Se você tivesse a oportunidade de mudar de casa devido a falta de água, você o faria?

- Mudaria  
 Não mudaria

## APÊNDICE II

Matriz de Correlações

		PIPA_ORD	FALTA_ORD	MUD_FALTA_ORD	CONTA_ORD	COMPRA_ORD	BEBER_ORD	QUALIDADE_ORD	MUD_QUALIDADE_ORD	SEG
PIPA_ORD	Rho de Spearman	—								
	gl	—								
	p-value	—								
FALTA_ORD	Rho de Spearman	-0.033	—							
	gl	344	—							
	p-value	0.547	—							
MUD_FALTA_ORD	Rho de Spearman	0.025	0.180***	—						
	gl	344	344	—						
	p-value	0.649	< .001	—						
CONTA_ORD	Rho de Spearman	-0.037	0.091	0.017	—					
	gl	344	344	344	—					
	p-value	0.496	0.091	0.749	—					
COMPRA_ORD	Rho de Spearman	0.100	0.004	0.182***	0.012	—				
	gl	344	344	344	344	—				
	p-value	0.063	0.941	< .001	0.818	—				
BEBER_ORD	Rho de Spearman	-0.018	0.019	-0.038	-0.003	0.025	—			
	gl	344	344	344	344	344	—			
	p-value	0.744	0.723	0.484	0.950	0.642	—			
QUALIDADE_ORD	Rho de Spearman	-0.007	0.122*	0.167**	0.032	0.091	0.181***	—		
	gl	344	344	344	344	344	344	—		
	p-value	0.891	0.024	0.002	0.556	0.091	< .001	—		
MUD_QUALIDADE_ORD	Rho de Spearman	0.033	0.046	0.298***	-0.033	0.122*	0.018	0.293***	—	
	gl	344	344	344	344	344	344	344	—	
	p-value	0.542	0.392	< .001	0.536	0.023	0.742	< .001	—	
SEGURANÇA_ORD	Rho de Spearman	-0.060	0.051	0.188***	0.002	0.033	-0.006	0.113*	0.218***	—
	gl	344	344	344	344	344	344	344	344	—
	p-value	0.264	0.345	< .001	0.973	0.542	0.916	0.035	< .001	—
MEDIDAS_ORD	Rho de Spearman	0.057	-0.150**	0.054	-0.062	0.033	0.024	-0.102	-0.014	—
	gl	344	344	344	344	344	344	344	344	—
	p-value	0.289	0.005	0.315	0.251	0.542	0.657	0.058	0.801	—

Nota. \* p &lt; .05, \*\* p &lt; .01, \*\*\* p &lt; .001

### APÊNDICE III

<b>PERCEPÇÃO DE IMPACTOS</b>	<b>Fator com significância influente</b>	<b>p-valor</b>
Compra de água para fins domésticos	Idade	0.002
Falta de água	Localização em área de alto risco	0.004
	Capacidade de armazenamento	< .001
Qualidade da água*	Sem significância	Sem significância
Mudança na conta de água pós-transposição	Localização em área de alto risco	0.041
Mudança na falta de água pós-transposição	Idade	0.032
	Escolaridade	0.006
Mudança na qualidade da água pós-transposição	Escolaridade	0.005
Percepção da segurança hídrica pós-transposição	Capacidade de armazenamento	0.018

Influência ( $p < 0.05$ ): Teste de Mann-Whitney

\*A avaliação da qualidade da água nos municípios foi afetada devido a turbidez da água na época chuvosa a qual foi realizada a pesquisa.

## APÊNDICE IV

Matriz de Correlações

		CULTURAS_ORD	PRODUCAO_ORD	IMPACTO AGRICOLA	QUALIDADE	SEGURANÇA_PRESENTE	SEGURANÇA FUTURA	PRATICAS_ORD
CULTURAS_ORD	Rho de Spearman	—						
	gl	—						
	p-value	—						
PRODUCAO_ORD	Rho de Spearman	0.184	—					
	gl	32	—					
	p-value	0.298	—					
IMPACTO AGRICOLA	Rho de Spearman	0.134	0.129	—				
	gl	32	32	—				
	p-value	0.449	0.468	—				
QUALIDADE	Rho de Spearman	0.199	0.602 ***	0.343 *	—			
	gl	32	32	32	—			
	p-value	0.260	< .001	0.047	—			
SEGURANÇA_PRESENTE	Rho de Spearman	0.498	0.419 *	0.524 **	0.718 ***	—		
	gl	32	32	32	32	—		
	p-value	0.045	0.014	0.001	< .001	—		
SEGURANÇA_FUTURA	Rho de Spearman	0.046	-0.105	0.285	0.035	0.201	—	
	gl	32	32	32	32	32	—	
	p-value	0.796	0.554	0.102	0.843	0.254	—	
PRATICAS_ORD	Rho de Spearman	-0.062	0.252	0.102	0.569 ***	0.415 *	-0.162	—
	gl	32	32	32	32	32	32	—
	p-value	0.729	0.151	0.565	< .001	0.015	0.360	—

Nota. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

