



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO ACADÊMICO EM GEOGRAFIA**

CARLOS ALBERTO GARCIA DE OLIVEIRA

**INDICADORES PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PIRANHAS/PB**

MOSSORÓ/RN

2025

CARLOS ALBERTO GARCIA DE OLIVEIRA

**INDICADORES PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PIRANHAS/PB**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Dinâmicas dos sistemas de superfície terrestre

Orientador: Professor Dr. Filipe Da Silva Peixoto.

Coorientadora: Professora Dra. Andreza Tacyana Felix Carvalho.

MOSSORÓ/RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Catálogo da Publicação na Fonte.

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

O48i Oliveira, Carlos Alberto Garcia de.
 Indicadores para o Diagnóstico Ambiental da Bacia
 Hidrográfica do Alto Curso do Rio Piranhas-PB.. / Carlos
 Alberto Garcia de Oliveira. - Mossoró, 2025.
 123p.

 Orientador(a): Prof. Dr. Filipe Da Silva Peixoto.

 Coorientador(a): Profa. Dra. Andreza Taciana Felix
 Carvalho.

 Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-
 Graduação em Geografia). Universidade do Estado do Rio
 Grande do Norte.

 1. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2.
 Indicadores. 3. Recursos Hídricos. 4. Diagnóstico. I.
 Peixoto, Filipe Da Silva. II. Universidade do Estado do Rio
 Grande do Norte. III. Título.

CARLOS ALBERTO GARCIA DE OLIVEIRA

**INDICADORES PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PIRANHAS/PB**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Paisagens naturais e meio ambiente. Linha de pesquisa: Dinâmicas dos Sistemas de Superfície Terrestre.

Aprovada em: 29 de Maio de 2025.

Banca examinadora

Prof. Dr. Filipe da Silva Peixoto (Orientador)

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. (UERN)

Prof^a. Dra. Andreza Tacyana Felix Carvalho (Coorientadora)

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. (UERN)

Prof^a. Dra. Gabriela Cemirames de Sousa Gurgel (Examinadora interna)

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. (UERN)

Prof. Dr. Jorge Luis de Oliveira Pinto Filho (Examinador Externo)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido. (UFERSA)

Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio

Suplente Interno-PPGEO/UERN

Prof^a. Dra. Renata Nayara Miranda Câmara Silveira

Suplente Externa- INOVAGRI

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, pela saúde e sabedoria dada;

Meu orientador Filipe da Silva Peixoto, pela excelente orientação e principalmente pela paciência comigo;

Minha coorientadora Andressa Tacyana Felix Carvalho, pela orientação;

A coordenação do Curso, em especial Diego, pelas informações corretas e precisas;

Minha família, em especial minha esposa Gissele Pereira da Costa, que me encorajou nos momentos de crise de ansiedade, e aos meus dois filhos: Philipe Henrique P. Garcia e Maria Valentina P. Garcia.

RESUMO

Os indicadores são instrumentos de planejamento essenciais para uma gestão democrática e tomada de decisões acerca dos recursos hídricos. Desse modo, esta pesquisa tem como objetivo, realizar o diagnóstico da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas a partir da adoção de indicadores municipais disponíveis, agrupando-os em dimensões, possibilitando o monitoramento para a tomada de decisão na gestão hídrica da área de estudo. A metodologia utilizada compreende uma análise e diagnóstico operacional, quantitativo e qualitativo dos municípios da bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas, a fim de identificar indicadores disponíveis. Desse modo, foi apresentada uma discussão teórica sobre os indicadores, envolvendo definições, tipologias e principais aplicações e funções dos indicadores sobre recursos hídricos, desde seus desafios de seletividade à tomada de decisão. Com base nos indicadores de Densidade Demográfica, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M); Abastecimento público urbano e captação de água para irrigação; Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO ton/dia) e Fósforo (P total) dos reservatórios Engenheiro Ávidos e Bartolomeu I; Volume de esgotos coletados e tratados; Total de doenças diarreicas aguda de transmissão pela água (DDA); Índice de doenças diarreica aguda DDA/Pop; Outorgas pelo uso da água; Participação dos municípios no comitê da bacia, foi possível verificar o aumento da pressão antrópica sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica, assim como as áreas mais degradadas e que precisam de intervenção. A partir das informações disponibilizadas neste trabalho, será possível aos órgãos gestores, avaliar os municípios em setores que estão ocorrendo problemas significativos e direcionar as ações para corrigi-los, promovendo uma gestão eficiente dos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: indicadores; tomada de decisão; gestão dos recursos hídricos.

ABSTRACT

Indicators are essential planning tools for democratic management and decision-making regarding water resources. Accordingly, this research aims to carry out a diagnostic assessment of the upper course of the Piranhas River basin by adopting available municipal indicators, grouping them into dimensions that enable monitoring and informed decision-making in water resource management within the study area. The methodology comprises an operational, quantitative, and qualitative analysis and diagnosis of the municipalities in the upper Piranhas River basin, with the objective of identifying available indicators. A theoretical discussion on indicators is presented, encompassing definitions, typologies, and key applications and functions of water resource indicators, including challenges such as selectivity and their role in decision-making processes. Based on indicators such as Population Density; Municipal Human Development Index (MHDI); Urban water supply and water withdrawal for irrigation; Biochemical Oxygen Demand (BOD tons/day) and Total Phosphorus (P) in the Engenheiro Ávidos and Bartolomeu I reservoirs; Volume of collected and treated sewage; Total cases of acute waterborne diarrheal diseases (AWDD); AWDD incidence rate per population; Water use permits; and Municipal participation in the river basin committee, it was possible to observe an increase in anthropogenic pressure on the basin's water resources, as well as identify the most degraded areas requiring intervention. The data provided in this study can assist managing bodies in evaluating municipalities with significant sectoral issues and guide actions to address them, thereby promoting the efficient management of water resources in the river basin.

Keywords: indicators; decision-making; water resources management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Território da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas	36
Figura 2 - Geologia da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.	37
Figura 3 - Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.....	38
Figura 4 - Altimetria da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.....	39
Figura 5 - Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.....	42
Figura 6 - Vegetação da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.	44
Figura 7 - Densidade Demográfica dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.	64
Figura 8 - IDH-M dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.....	69
Figura 9 - Atendimento total de água dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas	70
Figura 10 - Perdas lineares de água dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas	71
Figura 11 - Perdas de água/perdas por ligação dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas	72
Figura 12 - Áreas irrigadas da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, 2022 L/s (AESAs, 2022)	73
Figura 13 - Áreas irrigadas projetadas para a Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, 2032 L/s (AESAs, 2022).....	74
Figura 14 - Fósforo por tonelada, Reservatórios de Engenheiro Ávidos e Bartolomeu (ANA, 2018).....	78
Figura 15 - DBO tonelada/dia reservatórios de Engenheiro Ávidos e Bartolomeu I (ANA, 2018).....	79
Figura 16 - Índice de doenças diarreicas/por densidade demográfica (DATASUS, 2023)	84
Figura 17 – Panorama do Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Alto curso do Rio Piranhas-PB	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores para o diagnóstico da bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas.....	66
Tabela 2 – Parâmetros de qualidade de água (CONAMA, 2011)	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -A evolução da governança e as trocas de poder na gestão dos recursos hídricos no Brasil, segundo a OCDE (2015).....	24
Quadro 2 – Bases cartográficas.....	55
Quadro 3 – Indicadores e sub indicadores	56
Quadro 4 - Dimensões e indicadores disponíveis na bacia do alto piranhas, baseados nos indicadores ambientais e recursos hídricos propostos por Magalhães Júnior (2014)	59
Quadro 5 - Técnicas Estruturais e Técnicas não estruturais (Derísio, 2017).....	98

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.
ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação.
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.
CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba.
CBH	Comitês de Bacias Hidrológicas.
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DDA	Doenças Diarreica Aguda.
DNAEE	Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica.
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos.
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
ICWE	Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente.
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano-Municipal.
IQA	Índice de Qualidade de Água.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
MMA	Ministério do Meio Ambiente.
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
OMS	Organização Mundial da Saúde.
ONU	Organização das Nações Unidas.
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba.
PH	Potencial Hidrogeniônico.
PHI	Programa Hidrológico Internacional.
PMSB	Planos Municipais de Saneamento Básico.
PNQS	Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento.
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos.
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica.
PPA	Piancó – Piranhas-Açu.
SIG	Sistema de Informações Geográficas.

SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura.
UPH	Unidade de Planejamento Hidrológico.
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente.
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Aspectos legais da gestão dos recursos hídricos	16
2.2	A Bacia Hidrográfica o território de gestão das águas	19
2.3	Recursos Hídricos e a sua Gestão no Brasil.....	22
2.4	A importância da segurança hídrica e o uso dos indicadores para a PNRH	25
2.5	Os atores sociais no processo decisório da gestão hídrica	31
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.1	Localização e delimitação da área de estudo	35
3.2	Aspectos físicos	36
3.2.1	Geologia	36
3.2.2	Geomorfologia	38
3.2.3	Clima.....	40
3.2.4	Recursos hídricos.....	41
3.2.5	Pedologia.....	42
3.2.6	Vegetação.....	43
3.3	Aspectos históricos, populacionais, econômicos e demográficos dos municípios.....	45
3.3.1	Aparecida.....	45
3.3.2	Bonito de Santa Fé.....	46
3.3.3	Cajazeiras.....	46
3.3.4	Carrapateira.....	47
3.3.5	Marizópolis.....	48
3.3.6	Monte Horebe	48
3.3.7	Nazarezinho.....	49
3.3.8	Pombal.....	49
3.3.9	São Domingos	50
3.3.10	São José da Lagoa Tapada	50
3.3.11	São José de Piranhas	51

3.3.12	São João do Rio do Peixe	51
3.3.13	Sousa.....	52
4	METODOLOGIA.....	54
4.1	Etapa 1 – Revisão bibliográfica, levantamento de dados e de bases cartográficas	54
4.2	Etapa 2 – Tratamento e organização dos dados coletados, organização e seleção dos indicadores para a área de estudo	56
4.3	Etapa 3 – Tratamento e integração dos dados.....	60
4.4	Etapa 4 – Produção das representações gráficas e análise dos dados...62	
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1	Pressão sobre os estoques e a qualidade hídrica.....	63
5.2	Pressão relativa à demanda hídrica	69
5.3	Pressão relativa à poluição	75
5.4	Coleta e tratamento de efluentes líquidos e sólidos	80
5.5	Qualidade dos estoques hídricos.....	82
5.6	Gestão dos recursos hídricos no semiárido nordestino	85
5.6.1	Número de Outorgas da bacia hidrográfica	88
5.6.2	Cobrança pelo uso da água	90
5.6.3	Participação dos municípios no comitê da bacia	92
5.7	Diagnóstico situacional da Bacia hidrográfica do Alto curso do Rio Piranhas.....	93
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE A - MUNICÍPIOS E INDICADORES.....	119

1 INTRODUÇÃO

Os indicadores são instrumentos de planejamento essenciais para a gestão dos recursos hídricos, pois eles agregam informações de diferentes espaços urbanos e rurais e suas dinâmicas de diferentes riscos associados às atividades produtivas, funcionando como mecanismos de monitoramento e prevenção contra a degradação, inclusive, dos recursos hídricos.

Segundo Hamilton (1996), os indicadores devem possuir qualidades que justifiquem sua escolha em um processo de gestão, como qualidade dos dados, comparabilidade e relevância, exigindo a diferenciação de seus níveis de importância ou a sua ponderação visando sinalizar seus graus de prioridade para os objetivos estabelecidos.

O conhecimento dos recursos hídricos em termos diagnósticos, considerando aspectos quantitativos e qualitativos bem como das necessidades futuras é fundamental para o estabelecimento de uma política de gestão adequada e democrática-participativa. Ademais, para o desenvolvimento de uma melhor gestão dos recursos hídricos, surge a necessidade de se determinar a disponibilidade hídrica para atender as demandas, muitas vezes sem dados monitorados, series de curta duração ou com períodos longos de falhas de observação. Por mais densa que seja a rede de monitoramento hidro meteorológico ela dificilmente atenderá com seus dados as necessidades de informação (Crispim, 2005).

Para Magalhães Júnior (2014), um dos princípios mais valorizados nas modernas abordagens de gestão de água é a adoção da bacia hidrográfica como unidade principal de planejamento e gestão. A partir da escolha da unidade territorial adequada, a gestão da água deve ser incorporada em um processo mais amplo de gestão ambiental integrada.

Observa-se que, gerenciar os recursos hídricos é um desafio que envolve, instituições públicas, comitê da bacia, agências reguladoras e principalmente os atores locais. Diante disso, os indicadores tornam-se instrumentos que podem orientar o poder público e a sociedade, em médio e longo prazo, na utilização e monitoramento dos recursos ambientais naturais, econômicos e socioculturais, na área de uma bacia hidrográfica, de forma a promover o desenvolvimento sustentável. O Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu aprovado em 2016, estabelece diretrizes e ações para a gestão dos recursos hídricos da bacia

hidrográfica, destacando-se: O uso prioritário dos recursos hídricos em situação de escassez é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades. Outro arranjo institucional que terá impacto expressivo no plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Piancó-piranhas-açu na sua gestão é o projeto de integração do Rio São Francisco- PISF, essa integração tem como objetivo permitir um aumento significativo na oferta de água da bacia hidrográfica e com isso alavancar o desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica. (ANA, 2018).

O plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica evidencia a vulnerabilidade dos mananciais e dos sistemas de abastecimento de água e sinaliza a importância da infraestrutura hídrica e de soluções para flexibilização operacional dos sistemas de abastecimento visando a garantia de oferta de água, tendo como principal objetivo a governança do sistema de gestão dos recursos hídricos.

A bacia do alto curso do Rio Piranhas é uma unidade de planejamento hidrológica-UPH, localizada na macrorregião do sertão paraibano, que abrange o território dos municípios de Aparecida, Cajazeiras, Pombal, São Domingos, Sousa, São José da Lagoa Tapada, São José de Piranhas, Marizópolis, Nazarezinho, Carrapateira, Monte Horebe, Bonito de Santa fé, São João do Rio do Peixe.

As características físicas e bióticas da Bacia Hidrográfica são marcadas pela escassez hídrica, com clima semiárido, chuvas mal distribuídas e irregulares, solos rasos e pedregosos, com baixa capacidade de retenção de água, sendo a agricultura irrigada e o abastecimento público os fatores de maior pressão nos recursos hídricos da bacia hidrográfica, a falta de uma série histórica de dados da qualidade dos recursos hídricos da bacia e das principais fontes poluidoras é um dos vários problemas que dificulta a tomada de decisão dos órgãos gestores e o estudo dos pesquisadores.(ANA, 2018).

Desse modo, considerando esta pesquisa em torno de uma reflexão sobre os indicadores aplicado à gestão de recursos hídricos, a acessibilidade das informações, e a dependência da estruturação do sistema de informação sobre recursos hídricos, se faz necessário perguntar: Como realizar o diagnóstico situacional da bacia hidrográfica baseado nos indicadores disponíveis que possam dar suporte a uma tomada de decisão?

Nesse contexto, admitindo a bacia hidrográfica do rio Piancó-piranhas-açu, que é subdividida pela agência nacional de águas e saneamento (ANA) em 11 unidades de planejamento hidrológico (UPHs), foi escolhida a (UPH) do Alto Piranhas, como área de estudo, formada por treze municípios inseridos no território paraibano, o que possibilitou a coleta e padronização dos indicadores ambientais disponíveis para o diagnóstico da situação dos recursos hídricos, além de estar localizado no território da bacia os açudes de São Gonçalo (município de Sousa, segunda maior população da macrorregião do sertão paraibano), e o açude de Engenheiro Ávidos (município de Cajazeiras, terceira maior população da macrorregião do sertão paraibano), açudes responsáveis pelo abastecimento desses municípios e pelos perímetros irrigados da bacia hidrográfica.

1.1 Objetivo Geral

Realizar o diagnóstico da bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas a partir da adoção de indicadores municipais disponíveis, agrupando-os em dimensões, possibilitando o monitoramento para a tomada de decisão na gestão hídrica da área de estudo.

1.2 Objetivos Específicos

- Averiguar a disponibilidade de dados para composição de indicadores para a bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas;
- Estudar, a partir da criação de um banco de dados, os indicadores que possam servir de modelo para o diagnóstico e monitoramento da realidade atual e futura da bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas;
- Discutir os indicadores propostos considerando as lacunas para a estruturação de um SIRH para a bacia hidrográfica estudada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão dos recursos hídricos é um processo complexo, porque se trata de um cenário em que estão envolvidos vários objetivos, participantes, conflitos, critérios e alternativas de decisão. Os Indicadores são importantes mecanismos para a divulgação de informações resumidas sobre a quantidade e qualidade da água disponível em determinado território da bacia hidrográfica, onde a utilização de indicadores municipais, agrupados em dimensões, possibilita ao gestor uma tomada de decisão eficiente e segura.

2.1 Aspectos legais da gestão dos recursos hídricos

No Brasil a Lei nº 9.433/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, além de adotar como princípios que:

- I. a água é um bem de domínio público;
- II. a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III. em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV. a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V. a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da política nacional de recursos hídricos e atuação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos;
- VI. a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e dos consumidores.

Essa lei tornou-se objeto de uma política pública em evidência no país, sendo ela dirigida inclusive, ao controle dos efeitos de cheias e estiagens que afetam populações e atividades produtivas. A dominialidade pública da água, afirmada na Lei nº 9.433/1997, não transforma o poder público federal e estadual em proprietário da água, mas torna-o gestor desse bem, no interesse de todos. (Machado, 2002)

Um dos objetivos da PNRH é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, para alcançar esse objetivo, competente aos órgãos responsáveis

atuarem em conjunto, monitorando todos os recursos hídricos, visando o interesse comum, permitindo o aproveitamento correto dos recursos hídricos. A água é um recurso escasso não somente em quantidade, mas também em qualidade, o uso inadequado dos recursos hídricos pode futuramente causar sua escassez e crises hídricas, seu uso está conectado diretamente ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, visto que a cada ano as condições climáticas estão se agravando.

Além disso, a PNRH ainda estabelece que:

- I. a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
- II. a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país;
- III. a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- IV. a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;
- V. a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo;
- VI. a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Os municípios brasileiros têm pouca participação na articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional e, em regra, a maioria não possuem uma política municipal de recursos hídricos, só evidência a urgência e a viabilidade de uma governança da água nos municípios, buscando promover a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. A pouca participação no planejamento dos recursos hídricos dos municípios brasileiros, no que se refere à sua articulação com os comitês de bacias hidrográficas e os órgãos estaduais e quanto à sua responsabilidade em promover a integração das políticas de recursos hídricos com as demais políticas locais (Whately, 2017; CNM, 2018).

De acordo com a Lei nº 9.433/97, em seu art. 6º, os planos de recursos hídricos (PRH) são planos diretores que visam fundamentar e orientar a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento de recursos hídricos. Os planos serão concebidos por bacia hidrográfica, por Estado e para o País, são planos de longo prazo, e devem ter os seguintes conteúdos mínimos:

- I. diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;

- II. análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;
- III. balanço entre disponibilidades e demanda futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;

Os planos de recursos hídricos precisam estar plenamente integrados, não só no ponto de vista político, mas também, como condição indispensável, no ponto de vista técnico e científico. As transferências de informações, nos diversos níveis de agregação dos planos, pressupõem sistemas compatíveis, mecanismos efetivos de comunicação, e mecanismos financeiros que possibilitem a construção dessa compatibilidade e dessa comunicabilidade (Vieira, 2003, p. 7–17)

Através do diagnóstico situacional dos recursos hídricos é possível formular políticas públicas adequadas ao gerenciamento, a fim de proporcionar condições de planejamento de ações recuperadoras ou de conservação e ainda favorecer a conscientização e engajamento dos diversos atores da sociedade envolvidos. As características peculiares de ocupação dos recursos naturais e a ação antrópica, constitui o diagnóstico básico para a definição e implantação de políticas de gestão e desenvolvimento, que assegurem a sustentabilidade.

Uma das ferramentas responsáveis pelo gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos de forma integrada, descentralizada e participativa. É o SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos). Ele articula órgãos e entidades na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, garantindo a qualidade e disponibilidade da água para diferentes usos, além de reduzir conflitos e promover a conservação ambiental.

O SINGREH é alimentado com informações do sistema nacional de informações sobre recursos hídricos (SNIRH), este sistema faz a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão, sendo composto por vários sistemas agrupados que geram informações sobre eventos hidrológicos críticos, divisão hidrográfica, planos de recursos hídricos, quantidade e qualidade das águas, disponibilidade hídrica, regulamentação e fiscalização dos recursos hídricos, usos de água e programas voltados à conservação e gestão dos recursos hídricos (ANA, 2018).

O sistema de informações é um instrumento norteador da gestão dos recursos hídricos, que demandam um maior esforço por parte do poder público para garantir a

destinação adequada de águas em quantidade e qualidade necessárias para a população. O arranjo atual da estrutura do SINGREH, considerando a perspectiva histórica de uma gestão de águas utilitarista e centralizada, é de fato uma conquista democrática. Nesse sentido, o setor dos recursos hídricos incorporou para sua estrutura de gestão a dimensão da participação na concepção das políticas públicas, assim como já havia se estabelecido anteriormente para outros campos tais como a saúde, assistência social, educação, meio ambiente, entre outros. Por outro lado, o Sistema apresenta uma série de dificuldades, estruturais e conjunturais, para sua efetivação (Montenegro, 2018).

2.2 A Bacia Hidrográfica o território de gestão das águas

Território é um conceito que define um espaço estabelecido por relação de poder e delimitado por fronteiras, é produzido a partir do espaço envolvendo um conjunto de relações de um ou um grupo de indivíduos. Para Santos (1978), “a utilização do território pelo povo cria o espaço”, o território antecede o espaço. Cada território corresponde uma formação socioeconômica respectiva, junção do modo de produção com as relações sociais inseridas em arcabouços jurídicos-normativos específicos.

O Estado-Nação, apesar de se caracterizar como uma importante estrutura política da contemporaneidade, visto que tem o papel de defender seu espaço de poder e de representar seu povo, assumiu diversas formas organizacionais e ideológicas ao longo da História. Ao aproximar o território do estado-nação, busca diferenciar, assim, território de espaço, o território seria um dos elementos formadores do estado-nação.

O reconhecimento do território não apenas como estado-nação, mas, como território usado, designa o conjunto de objetos e ações, sinônimos de espaço humano e habitado, sendo o território um conceito chave para explicar as mudanças históricas. (Santos,1978) Por outro lado, o território traz, para outros autores, ideia de determinado uso do espaço, “consubstanciado em processo de apropriação e de controle, que demarcam áreas geográficas específicas” (Davidovich,1989).

Para Rasffestin (1993) o território se formou a partir do espaço, sendo o território resultado de uma ação conduzida por um ator sintagmático em qualquer

nível. O território, nessa perspectiva, é um espaço onde se projetou um trabalho, seja energia e informação, e que, por consequência, revela relações marcadas pelo poder.

Tucci (1993) cita que o estudo a partir da bacia hidrográfica permite observar em detalhes a variação dos diferentes processos que ocorrem nela, e que, com base no registro das variáveis hidrológicas envolvidas, é possível entender melhor os fenômenos e procurar representá-los matematicamente, permitindo a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade ambiental. Na literatura científica tem sido recorrente a menção da bacia hidrográfica como unidade básica para a gestão ambiental e dos recursos hídricos (Carvalho, 2020).

A partir da década de 1990 cresceu o valor da bacia hidrográfica enquanto unidade de análise e planejamento ambiental, sendo possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico (Carvalho, 2014). É apenas na Lei 9.433/1997, da Política Nacional de Recursos Hídricos, que a bacia hidrográfica é adotada como unidade de planejamento e gestão com diretrizes e instrumentos definidos, e que institui os comitês de bacia hidrográfica no território nacional.

O critério de bacia hidrográfica é comumente usado porque constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas. Segundo Santos (2004) a bacia hidrográfica constitui unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, sendo, portanto, um limite nítido para a ordenação territorial, considerando que não há área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica.

Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exultório, estarão representados resultados dos principais processos que ocorrem no seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território das águas que para ali convergem (Porto; Porto, 2008).

A delimitação do território elaborada a partir de divisores de águas, permite analisar de forma sistêmica, elementos, fatores e relações ambientais, sociais e econômicas a partir de demandas e ofertas existentes em sua área, mas também, externamente. Neste sentido, este tipo de recorte espacial tem sido adotado na gestão

hídrica como “unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos” (Vilaça *et al.*, 2009).

Reconhecendo a importância das inter-relações dos recursos hídricos com o território, Cunha (2011) afirma que uma articulação robusta da gestão da água e do território, com dinâmicas próprias e específicas de cada setor, é essencial para a proteção dos recursos hídricos e dos serviços dos ecossistemas associados, bem como para minimizar os riscos de uma ocupação inadequada do solo e para facilitar a adaptação às alterações climáticas.

Conforme Lima (2012) a aceitação da bacia hidrográfica como unidade de gestão, apesar da dificuldade inicial inerente à delimitação dos espaços físicos de planejamento, tem mostrado resultados positivos, devido às possibilidades de divisão de bacias maiores em sub e microbacias hidrográficas. Dentro da perspectiva geográfica sobre a bacia hidrográfica, está a ideia deste recorte espacial em ser utilizado como unidade de ordenamento do território, por ser uma unidade sistêmica e na escala adequada ao planejamento. A adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento é uma forma eficiente de gerir os recursos hídricos (Sousa, 2013).

A bacia hidrográfica é concebida como um recorte regional, obedecendo os princípios fundamentais de localização extensão de algum fenômeno ou fato, ou a aplicação limítrofe de mais ou menos habitual de atributos de diversidade espacial (Peixoto; Silveira, 2017). Para Carvalho (2020), a bacia hidrográfica é a unidade territorial adotada para fins de planejamento da gestão hídrica do Brasil, contudo, este território torna-se área de conflito e impactos diretos, derivados da produção social além de seus divisores de água, trazendo assim, implicações aos seus elementos naturais bem como, à população ali existente.

Nesse processo, a água como recurso do território, se torna recurso necessário à produção, e assim

a regulação é necessária para o ordenamento territorial, que segue a lógica positiva, à medida que é fundamentada por um discurso hegemônico de desenvolvimento, uma vez que, as inserções e digressões das racionalidades de regulação, no que tange às normas, promovem mudanças no território, e conflitos que só podem ser superados democraticamente, à medida que a sociedade entende o seu papel e participa das decisões (Peixoto, 2020, p.77).

A delimitação de uma unidade de gestão compatível com as leis de circulação da água e integração entre os componentes geoambientais não é simples. As mensurações da disponibilidade hídrica podem ser feitas somente por meio de unidades cujos principais volumes passíveis de serem planejados e gerenciado ocorrem na superfície e no subterrâneo (Peixoto, 2023). A bacia hidrográfica como unidade de planejamento, torna-se o território materializado, promovendo ações de articulações com a gestão hídrica através dos usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional.

2.3 Recursos Hídricos e a sua Gestão no Brasil

Em recursos hídricos, o planejamento pode ser definido como conjunto de procedimentos organizados que visam o atendimento das demandas de água, considerada a disponibilidade restrita desse recurso. Todavia, o planejamento de recursos hídricos reveste-se de especial complexidade (Barth, 1987).

Segundo Lanna (1994) existem três modelos básicos de gerenciamento de recursos hídricos, são eles: o modelo burocrático, o modelo econômico-financeiro e o modelo sistêmico de integração participativa.

O modelo burocrático, tem como objetivo predominante, o administrador público de cumprir e fazer cumprir os dispositivos legais. Para instrumentalização desse processo, é gerada uma grande quantidade de leis, decretos, portarias, regulamentos e normas sobre uso e proteção do ambiente, a autoridade e o poder tendem a concentrar-se em entidades públicas, de natureza burocrática, que trabalham com processos casuísticos e reativos destinados a aprovar concessões e autorizações de uso, licenciamento de obras, ações de fiscalização, e outros (Lanna, 1994, p. 275).

O modelo econômico-financeiro é caracterizado pela predominância do emprego de instrumentos econômicos e financeiros para induzir ou compelir à obediência das disposições legais vigentes, tendo como objetivo a promoção do desenvolvimento econômico ou a proteção ambiental, esse modelo é alicerçado em prioridades setoriais do governo, como o saneamento, irrigação, mineração e outros (Lanna, 1994, p. 277).

O modelo sistêmico de integração participativa é o modelo mais moderno de gerenciamento de bacias hidrográficas, esse modelo se caracteriza pela criação de

uma estrutura sistêmica, na forma de uma matriz institucional de gerenciamento, responsável pela execução de funções gerenciais específicas e pela adoção de três instrumentos (Lanna,1994, p. 278).

Segundo Lanna (1995) a gestão de bacias hidrográficas incorpora preocupações com as condições de sustentabilidade da bacia hidrográfica como um todo, enquanto a gestão de recursos hídricos tem como alvo uma adequada administração da oferta de água através da compatibilização dos diversos usos setoriais, almejando uma operação harmônica e integrada das estruturas decorrentes, de forma a se obter o máximo benefício.

Destaca-se, a evolução da legislação ambiental brasileira se deu em três fases históricas: a de exploração desregrada, a fragmentária e a holística; na fase da exploração desregrada que se iniciou com o descobrimento do Brasil (1500), até aproximadamente a metade do Século XX, a proteção ambiental não teve a devida atenção; na fase fragmentária que tem seu início com a vinda da Família Real, no ano de 1808, estendendo-se até a criação da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente em 1981, onde a preocupação com o meio ambiente era com a sua conservação e não preservação e a fase Holística que inicia-se com a edição da Lei n 6.938/81 (Lei da Política Nacional do Meio Ambiente), que consiste na proteção integral do meio ambiente através de um “sistema ecológico integrado”, sendo as partes protegidas a partir de um todo (Benjamin,1999, p. 97-98).

O contexto histórico da evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil, passou ao longo do tempo por avanços e retrocessos, conforme quadro 01, sendo segundo a evolução política da governança elaborado pela OCDE, os principais avanços, a criação dos comitês das bacias hidrográficas, descentralizando o poder de decisão, e tendo como principal retrocesso a fragmentação das políticas públicas de preservação dos recursos hídricos pelos estados e a pouca participação dos municípios no processo de planejamento e gestão das bacias.

Quadro 1 -A evolução da governança e as trocas de poder na gestão dos recursos hídricos no Brasil, segundo a OCDE (2015)

Até o início do século XX
• Predomínio dos usos privados da água, com pouca ou nenhuma autoridade regulatória;
• Um modelo de apropriação da água baseado na propriedade conjunta terra-água;
• Construção das primeiras obras de infraestrutura hídrica importantes, especialmente para energia e irrigação;
Década de 1930
• Aprovação do primeiro Código de Águas (Decreto Federal N° 24.643, de 10 de julho de 1934);
Década de 1940
• Criação da Comissão do Vale do São Francisco (precursor da abordagem de bacias hidrográficas);
Década de 1970
• Primeiros conflitos hídricos sérios; envolvimento de acadêmicos e profissionais nas discussões relacionadas;
• Criação de dez comitês de bacias hidrográficas em rios federais.
Década de 1980
• Aprovação da nova Constituição (1988) e consolidação da transição para uma democracia representativa;
Década de 1990
• Criação do Ministério do Meio Ambiente, com uma Secretaria de Recursos Hídricos (1995);
Década de 2000

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Criação da ANA por lei federal, com status de agência reguladora e definição de sua estrutura por decreto; |
| <ul style="list-style-type: none"> • Formulação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, que esclarece as lacunas e engaja os atores verticalmente e horizontalmente. |

Fontes: Síntese baseada em Costa (2003), Estratégias de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil: Áreas de Cooperação com o Banco Mundial, 1ª edição, Banco Mundial, Brasília, DF; Abers, R.N. e M.E. Keck (2013), Practical Authority: Agency and Institutional Change in Brazilian Water Politics, Oxford University Press, Oxford.

Com base no quadro 01, verifica-se que a governança da água no Brasil tem evoluído desde a criação da política nacional de recursos hídricos (PNRH) em 1997 e a criação da ANA em 2000, está evolução na governança dos recursos hídricos, fortaleceu as instituições, além do aumento da participação da sociedade através dos comitês de bacia, tornando as decisões mais participativa, transparentes e principalmente descentralizada, onde está descentralização foi feita de forma equilibrada, garantindo a coordenação e a articulação entre os diferentes níveis de governo.

A descentralização do poder de decisão combinada com a centralização de diretrizes e a democratização dos órgãos colegiados, tornaram a tomada de decisão mais transparente. O sistema estadual de gestão dos recursos hídricos do estado da Paraíba, permite combinar com eficiência instrumentos de política pública do tipo comando e controle, como é o caso da outorga para poder usar a água, com instrumentos econômicos, como a cobrança pelo seu uso.

2.4 A importância da segurança hídrica e o uso dos indicadores para a PNRH

O conceito de segurança hídrica é oriundo da declaração ministerial do 2º fórum mundial da água (2000), instituiu à segurança hídrica sete desafios, Satisfação das necessidades básicas; Garantia do abastecimento de alimentos; Proteção aos ecossistemas; Compartilhamento de recursos hídricos; Gerenciamento de riscos; Valorização da água; e Controle racional da água (INPE, 2012).

A definição de segurança hídrica proposta pela organização para a cooperação e desenvolvimento econômico OCDE (2013) mostra que a segurança hídrica está associada à gestão de risco. Sendo a segurança hídrica a gestão de quatro tipo de riscos: risco da escassez da falta de água para atender a demanda; risco da qualidade

da água pela deterioração por contaminação dos sistemas hídricos; risco de excessos das inundações; e riscos da sustentabilidade de sistemas hídricos e ambientais.

Para o estado brasileiro, segurança hídrica é a garantia de oferta de água ao povo e às atividades produtivas em situações de seca, estiagem ou desequilíbrio entre oferta e demanda do recurso, com enfrentamento às cheias e gestão necessária para a redução dos riscos associados a eventos críticos (Brasil, 2014).

O conceito de segurança hídrica utilizado no plano nacional de segurança hídrica PNSH (ANA, 2019) é o da Organização das Nações Unidas (ONU) (UN, 2013), segundo o qual segurança hídrica existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficiente para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país.

Segundo a ANA (2019) no Brasil, o (PNSH) traz diretrizes para a gestão da segurança hídrica a partir de quatro dimensões que norteiam o planejamento e a gestão da oferta e do uso da água no país. Essas quatro dimensões formam o índice de segurança hídrica, onde cada dimensão tem um ou mais indicadores, sendo eles:

- Dimensão humana - tem por objetivo averiguar e garantir a oferta de água para abastecer todo o país, quantificando as populações mais vulneráveis aos riscos de não atendimento e as regiões mais críticas;
- Dimensão econômica- foca no setor agropecuário e industrial para aferir os riscos de produção desses setores por conta da variação da oferta hídrica, pois são os setores que mais utilizam recursos hídricos no país;
- Dimensão ecossistêmica- engloba indicadores de qualidade de água no que tange a vulnerabilidade de mananciais para abastecimento humano e usos diversos. Dentre eles, água em quantidade suficiente para usos ecossistêmicos; água com qualidade adequada para a manutenção da vida aquática e riscos ambientais decorrentes de rompimento de barragens de rejeitos de mineração;
- Dimensão de resiliência- refere-se ao potencial de estoques de águas naturais e artificiais para suprir demandas em caso de estiagem severa e secas.

Destaca-se que a Segurança hídrica não se refere apenas à quantidade de água disponível, mas também à qualidade da água, ela é influenciada por diversas variáveis, alguns naturais e outros relacionadas à ação antrópica, como densidade populacional, lançamento de efluentes agrícolas e industriais, além da demanda hídrica. Desse modo, o PNSH representa um plano para intervir no sentido positivo de aumento da segurança hídrica, particularmente por meio de obras que visam aumentar a oferta de água e diminuir o risco associado a enchentes. Alguns fatores, entretanto, podem favorecer o aumento da insegurança hídrica, como o aumento da demanda hídrica e as mudanças climáticas.

Segundo Makarigakis *et al.* (2019), o conceito de segurança hídrica está relacionado a garantia de acesso à água em quantidade e qualidade adequadas à saúde humana, a proteção do ecossistema em uma bacia hidrográfica, proteção eficiente da vida e propriedade contra os perigos relacionados a água como inundações, desabamentos, subsidência do solo e secas. A compreensão das condições de segurança hídrica por meio do uso de indicadores surge como uma alternativa para avaliação de cenários, bem como de ações e de medidas que apontam para o avanço ou retrocesso quanto ao planejamento, gestão e regulação dos recursos hídricos.

Segundo a UNESCO (2020), para alcançar a segurança hídrica, é necessário proteger os sistemas hídricos que são vulneráveis, com o intuito de mitigar os impactos de riscos relacionados à água, como por exemplo inundações e secas, adotar medidas de proteção quanto ao acesso às funções e serviços hídricos, e realizar a gestão dos recursos hídricos de maneira integrada e equitativa. Portanto, a segurança hídrica é imprescindível para todos os setores econômicos e toda a sociedade, disponibilizando água aos variados usos, e protegendo-a quanto aos possíveis impactos negativos causados pelos eventos hidrológicos extremos.

As várias dimensões de segurança hídrica estabelecidas pela ANA, além dos diferentes conceitos sobre o tema, mostram a dificuldade dos órgãos gestores de criar e manter políticas públicas que possam sanar o problema da escassez de água, um país continental como o Brasil, que apresenta diferentes tipos de clima e que tem uma distribuição dos recursos hídricos bastante irregular, se faz necessário um sistema de informações atualizado, para uma tomada de decisão eficaz. É preciso considerar as especificidades e vulnerabilidades sociais, ambientais e econômicas nos diversos territórios do país, harmonizando diferentes alternativas e escalas de planejamento

regional, na proposição de modelos adaptativos de infraestrutura, de forma a diminuir as desigualdades entre as populações e regiões e fortalecer o acesso universal à água (Empinotti; Ferrara, 2020).

O uso de indicadores ambientais tem se mostrado uma ferramenta importante para o entendimento de problemas enfrentados como, escassez de água causada pela demanda (Gain *et al.*, 2016), alterações climáticas, poluição, além de outros de cunho mais complexo alavancados por crises econômicas, sociais e políticas. Seja como ferramenta utilizada para a tomada de decisão, avaliação e monitoramento do progresso em direção à sustentabilidade (Pires *et al.*, 2017).

A OCDE (1994), define um indicador como sendo um parâmetro ou valor calculado a partir dos parâmetros, fornecendo ou descrevendo as indicações do estado de um fenômeno, bem como do meio ambiente ou de uma zona geográfica, de uma amplitude superior às informações diretamente ligadas ao valor de um parâmetro. Conforme Alegre *et al.* (2000) a utilização de indicadores de desempenho, medida quantitativa da eficiência dos serviços prestados à população por parte de uma entidade gestora referente a aspectos específicos, são fundamentais para traduzirem as informações de modo claro, racional e transparente.

Um indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma específica realidade. Com isso os indicadores devem ser úteis, e oferecer subsídios para compreensão sistêmica da situação na qual ele é aplicado, para o tomador de decisão, possa fazer uso dos dados de forma simples e rápida. (Mitchell, 1996). Estes indicadores devem dar respostas sobre mudanças nos padrões de consumo e de produção, e de que forma se alinham aos princípios do desenvolvimento sustentável (Malheiros *et al.*, 2004).

Assim, indicadores mostram a sua importância quando afirmam que serve para monitorar, estudar, prever ou comparar condições ou tendências, comparar lugares. Situações ou alternativas, ou ainda advertir sobre algum impacto/ação ou guiar decisões (Castro, 2004). Um indicador deve ser entendido como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, que apontam e fornecem informações sobre o estado de um fenômeno com uma extensão significativa (Bellen, 2005).

Indicadores são modelos simplificados da realidade com a capacidade de facilitar a compreensão dos fenômenos de aumentar a capacidade de comunicação de dados brutos e de se adaptar as informações à linguagem e aos interesses locais dos tomadores de decisão, são informações de caráter quantitativo resultantes do

cruzamento de pelo menos duas variáveis primárias (informações espaciais, temporais, ambientais, etc.), referenciadas no tempo e especialmente localizadas que permitem o acompanhamento dinâmico da realidade a partir da sua integração, (Magalhães Júnior, 2014).

Um indicador utilizado na gestão de recursos hídricos é o Índice de pressões de Falkenmark. E, ele sinaliza a escassez quantitativa de água por meio dos recursos hídricos renováveis per capita/ano, segundo os seguintes limites, em unidades ($\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$): a) Limite hídrico de stress: abaixo de 1700; b) Limite hídrico de escassez: 1700; c) Escassez crônica: 1000; d) Escassez crítica: 500 (Cosgrove; Rijsberman, 2000).

Entretanto, nem sempre os indicadores são expressos por números, uma vez que há casos que são mais bem descritos de forma qualitativa. Nesse caso, o indicador presta-se à descrição das qualidades de um estado momentâneo de uma determinada realização/acontecimento de forma a viabilizar análises (ex.: temporal, comparativa, de correlação etc.) (Bellen, 2002).

São exemplos de utilização de indicadores aplicados no Brasil, o projeto ARIDAS, relativo à busca do uso sustentável das águas do semiárido brasileiro, que propôs a utilização de três indicadores chaves: índice de oferta potencial (Q_p), índice, índice de oferta disponível (Q_o) e índice de demanda (Q_d) (Magalhães Júnior *et al.*, 2003).

Guimarães (2008) propôs um Sistema de Indicadores de Bacias Hidrográficas para o Brasil, composto por 32 indicadores os quais abordam quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional. Van Ginkel *et al.* (2018) baseou-se na construção de painel de indicadores organizados e analisados sob a ótica da estrutura PEIR (pressão, estado, impacto, resposta) para avaliação da segurança hídrica urbana. Os autores adotaram um conceito de segurança hídrica que envolve uma compreensão ampla e integrativa da segurança da água.

Outros modelos de indicadores ambientais utilizados na gestão dos recursos hídricos foram propostos no Brasil pelos autores Guimarães e Magrini (2008) que propuseram um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável aplicado às bacias hidrográficas, enquanto, Carvalho e Curi (2013) propuseram uma metodologia baseada no uso da análise multicritério capaz de identificar a situação hidroambiental dos municípios paraibanos.

Magalhães Júnior (2010) sugere uma série de indicadores ambientais potencialmente úteis à gestão e segurança hídrica no Brasil, envolvendo indicadores relacionados à dimensão de cobertura vegetal, indicadores relacionados ao estado qualitativo dos estoques hídricos, indicadores relacionados a dinâmica fluvial e riscos de não atendimento às demandas, indicadores relacionados ao estado qualitativo da água, indicadores relacionados às pressões ou impactos sobre as águas e ambientes aquáticos, indicadores acerca das pressões de disponibilidade hídrica (redução dos estoques hídricos), indicadores relacionados às pressões sobre a qualidade das águas (pressões agrícolas e industriais), indicadores acerca de indicadores de respostas/desempenho do sistema de gestão da água, e indicadores de desempenho do sistema de gestão quanto aos aspectos legais, institucionais, financeiros e de fiscalização.

No processo de seleção dos indicadores, Gomes e Malheiros (2012) indica que é relevante considerar alguns aspectos como: fácil entendimento e acesso; representativo da área de estudo; comparável/replicável; confiável; transparente; ter validade científica e ser desenvolvido tendo como foco os usuários finais.

A França é considerada um país referência em relação à gestão de recursos hídricos e proposição de painéis de indicadores como guias de monitoramento dos planos diretores das bacias e agências de água. No Brasil, o sistema francês foi utilizado como base para a elaboração e formulação de normas relacionadas ao gerenciamento dos recursos hídricos (Hubert; Pereira; Lanna, 2002).

Existem várias metodologias que organizam os indicadores ambientais com o objetivo de subsidiar a avaliação ambiental integrada. Dentre as mais difundidas está o modelo GEO (Global Environmental Outlook), que distribuem os indicadores em categorias que se inter-relacionam (Silva, 2017).

No Brasil, o modelo GEO foi adaptado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), através da análise dos recursos hídricos com base em indicadores, como:

- Força-motriz - são as pressões indiretas que a sociedade exerce sobre o ambiente, em face das dinâmicas socioeconômicas e territoriais;
- Pressão - consiste nas pressões diretas que a sociedade exerce sobre o ambiente, basicamente sob a forma de emissão de poluentes, uso de recursos e modificação no uso e ocupação do solo;

- Estado - é o resultante estado do ambiente frente às pressões e respostas exercidas pela sociedade;
- Impacto - são as consequências decorrentes do estado do ambiente, e,
- Resposta - são as ações da sociedade em resposta às modificações de Estado, na forma de decisões políticas, adoção de programas e ações diversas.

Estas categorias se interrelacionam, através das atividades humanas(forçamotriz), responsáveis pela pressão no meio ambiente, acarretando impactos na saúde humana e nos ecossistemas, fazendo com que o poder público tome medidas de respostas, as quais podem ser direcionadas a qualquer parte do sistema, como forçamotriz, pressão, estado ou impacto.

2.5 Os atores sociais no processo decisório da gestão hídrica

De acordo com Pereira e Fonseca (1997), a decisão é um processo dinâmico, paradoxal e contextual, não podendo ser analisada separadamente das circunstâncias que a envolvem. O conhecimento das características, dos paradoxos e dos desafios da sociedade é essencial à compreensão dos processos decisórios. No âmbito do processo de tomada de decisão de forma descentralizada, os comitês de bacia surgem como espaços vitais na gestão e gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil.

Cabe aos comitês de gerenciamento de bacias hidrográficas (CBH) desempenhar um papel estratégico na política nacional de recursos hídricos (PNRH), pois são os órgãos que materializam a descentralização da gestão, contam com a participação dos governos, dos usuários e da sociedade civil e têm a bacia hidrográfica como unidade de gestão, além de serem propositores de políticas públicas. No entanto, muitos comitês de bacias (CBH) no Brasil ainda não conseguem exercer nem sequer suas prerrogativas legais básicas (Francalanza *et.al.*, 2013).

Os Comitês de Bacia Hidrográfica são fóruns de decisões no âmbito das bacias hidrográficas, são organismos colegiados consultivos e deliberativos para a gestão dos recursos hídricos na respectiva escala hidrográfica. Eles se caracterizam pela: descentralização do poder de decisões; integração das ações públicas e privadas e; participação de todos os setores sociais (Brasil, 1997).

Suas principais competências, conforme estabelecido na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, no âmbito de sua área de atuação, são: I) promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes; II) arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos; III) aprovar o plano de recursos hídricos da bacia; IV) acompanhar a execução do plano de recursos hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas; V) propor ao conselho nacional e aos conselhos estaduais de recursos hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes; VI) estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados; VII) estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo (Brasil, 1997).

Esses comitês de bacias tem a função de aprovar os planos de recursos hídricos, que são instrumentos que orientam os usos da água e garantem a sustentabilidade da bacia hidrográfica, eles contam com a participação dos usuários e da sociedade civil na elaboração desses planos e garante que as necessidades e interesses de todos sejam considerados, atuam para resolver conflitos relativos ao uso da água na bacia, contribuindo para a resolução pacífica e ágil desses conflitos.

Administrar implica planejar, organizar, dirigir e controlar o uso dos recursos totais de uma organização a fim de alcançar seus objetivos (Chiavenato, 1999). Segundo Daft (2005), a tomada de decisão é o processo de identificar problemas e oportunidades e, então, resolvê-los.

A tomada de decisão baseada em indicadores permite que os gestores tomem decisões mais eficazes, baseadas em dados e não em intuição. Através da observação e do diagnóstico dos indicadores, possibilita ao tomador de decisão estabelecer metas, os dados e informações são ferramentas que auxiliam na gestão dos recursos hídricos deixando o processo mais assertivo, visando o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica.

A escolha dos indicadores, é fator preponderante para uma tomada de decisão, pois os indicadores devem ser de fácil compreensão e comparáveis; devem ser apoiados em termos técnicos e científicos e de consenso internacional, mensuráveis

e passíveis de monitoramento regular a custo não excessivo (Almeida, Brito, 2002). A utilização de indicadores torna-se importante para os decisores na medida em que as atitudes do ser humano refletem no meio ambiente, formando cadeia de ação - reposta e permitindo uma verificação de impactos causados, um conjunto de observações, dados e conhecimentos deve ser ordenado e condensado em informação chave, ajudando a identificar áreas que precisam de melhoria.

Os modelos de indicadores usados na tomada de decisão definem a relação entre a informação ambiental e os valores sociais e metas política; como também os modelos dos processos ambientais e da interação sociedade/meio ambiente em termos de causa/efeito (Cunha, 2005). Porém ainda existem muitos obstáculos a serem vencidos, no sentido de desenvolver estudos sobre os indicadores ambientais usados na tomada de decisão (Quiroga, 2005).

Conforme Motta e Vasconcelos (2002), o processo de tomada de decisão, na maioria das decisões nas organizações, envolve os seguintes passos:

- Formulação do problema;
- Estruturação do problema a fim de relacionar suas partes na forma de um modelo;
- Montagem técnico de um modelo;
- Simulação do modelo e das suas possíveis soluções;
- Definição dos controles sobre a situação e a sua delimitação; e
- Implementação da solução na organização.

Os atores sociais influenciam o processo decisório de acordo com o sistema de valores que representam e por meio das relações que estabelecem entre si, quando seus objetivos são complementares ou idênticos, ou sob a forma de conflitos, quando os valores de uns se opõem aos valores definidos por outros. Essas relações possuem caráter dinâmico e instável. Segundo Gomes, Gomes e Almeida (2002), e podem modificar-se durante o processo de decisão devido:

- Ao enriquecimento do sistema de informações;
- Ao processo de aprendizagem a que se submetem os gestores durante o processo de estruturação do problema;
- Às influências dos valores e das estratégias de outros decisores; e

- À intervenção de um facilitador.

Os decisores precisam obter e usar informação relevante, que aumente seu conhecimento e reduza sua incerteza, que seja útil, portanto, para desenvolver planos estratégicos e para alcançar objetivos desejados (Silva *et al.*, 2006). Uma decisão precisa ser tomada sempre que estamos diante de um problema que possui mais de uma alternativa para a solução. Mesmo quando, para solucionar um problema, possuímos uma única ação a tomar, temos as alternativas de tomar ou não essa ação, concentra-se no problema certo possibilita direcionar corretamente todo o processo (Gomes *et al.*, 2009).

São vários os fatores que podem afetar a tomada de decisão, como: O tempo disponível para a tomada de decisão; A importância da decisão; O ambiente; Certeza/incerteza e risco; agentes decisores; e conflitos de interesses. Assim, pode-se entender a tomada de decisão como o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo. Para isso, deve ser baseada em conhecimentos acumulados e adicionada a capacidade de julgamento dos decisores. Se assim for feito, chega-se a uma sábia decisão (Lachtermacher, 2002).

Para que a participação dos atores sociais no processo decisório torne-se efetiva, é importante que eles sejam envolvidos no processo de gestão, não havendo, portanto, uma centralização das decisões. A riqueza do processo decisório participativo resulta, em grande parte, da compatibilidade entre os conhecimentos cognitivos e os conhecimentos teóricos dos atores sociais. As informações técnicas são importantes para que o processo decisório possa ser coerente com os princípios racionais, não evoluindo apenas empiricamente com o objetivo de apaziguamento social dos atores envolvidos (Carvalho, 2013).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e delimitação da área de estudo

O Brasil encontra-se dividido em regiões hidrográficas de acordo com a resolução 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH-MMA. A bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu faz parte da região hidrográfica do atlântico nordeste oriental (MMA-SRH, 2003).

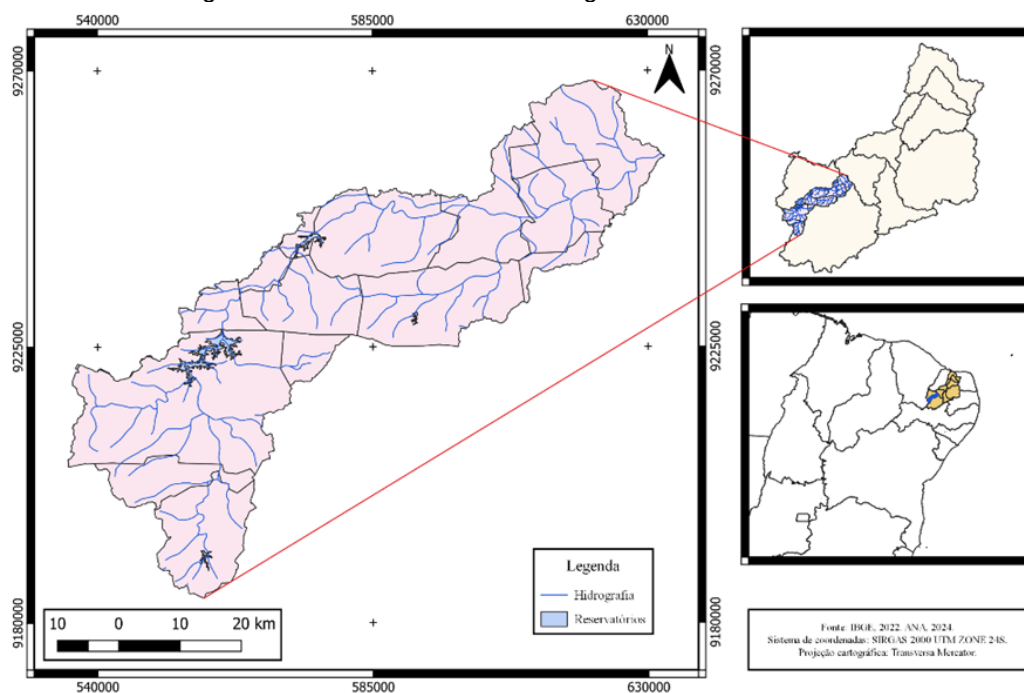
A bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu, que é a maior unidade hidrográfica da região hidrográfica do atlântico nordeste oriental, localiza-se entre as coordenadas geográficas de 38° 75' e 36° 17' de longitude de oeste e 5° 06' e 7° 83' de latitude sul, sendo que sua área de drenagem se encontra inserida nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (ANA, 2014).

O Rio Piranhas nasce na Serra do Bongá, no município de Bonito Santa Fé-PB, sendo um rio intermitente em condições naturais, o perímetro da bacia do alto piranhas é de aproximadamente 520,04 Km, sobre a depressão sertaneja, essa superfície rebaixada é resultado da morfologia herdada de processos sucessivos de pedogênese e dissecação do relevo em alternância climática entre úmidas e semiáridas. Sendo um importante dispersora da drenagem, pois sua intensa rede de drenagem é responsável pela intensa dissecação (Ab' Saber, 1969).

A bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas está localizada entre as latitudes 6° 36' 47'' e 7° 22' 56'' sul e as longitudes 37° 48' 15'' a 38° 38' 15'' oeste, com uma área de 2.562 km², correspondente a 5,9 % da área total da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (Scientec, 1997).

A bacia do Alto Piranhas (figura 01) pertence à bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu estando localizada a oeste do estado da Paraíba, limita-se ao oeste com o estado do Ceará, ao norte com a bacia do Rio do Peixe, ao nordeste com a região Hidrográfica do Médio Piranhas e ao sul e leste com a bacia do rio Piancó (Freitas, 2012).

Figura 1- Território da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas



Fonte: Autor, 2025.

Essa área de estudo comporta os municípios de: Aparecida, Cajazeiras, Pombal, São Domingos, Sousa, São José da Lagoa Tapada, São José de Piranhas, Marizópolis, Nazarezinho, Carrapateira, Monte Horebe, Bonito de Santa fé, São João do Rio do Peixe, perfazendo um total de treze municípios.

3.2 Aspectos físicos

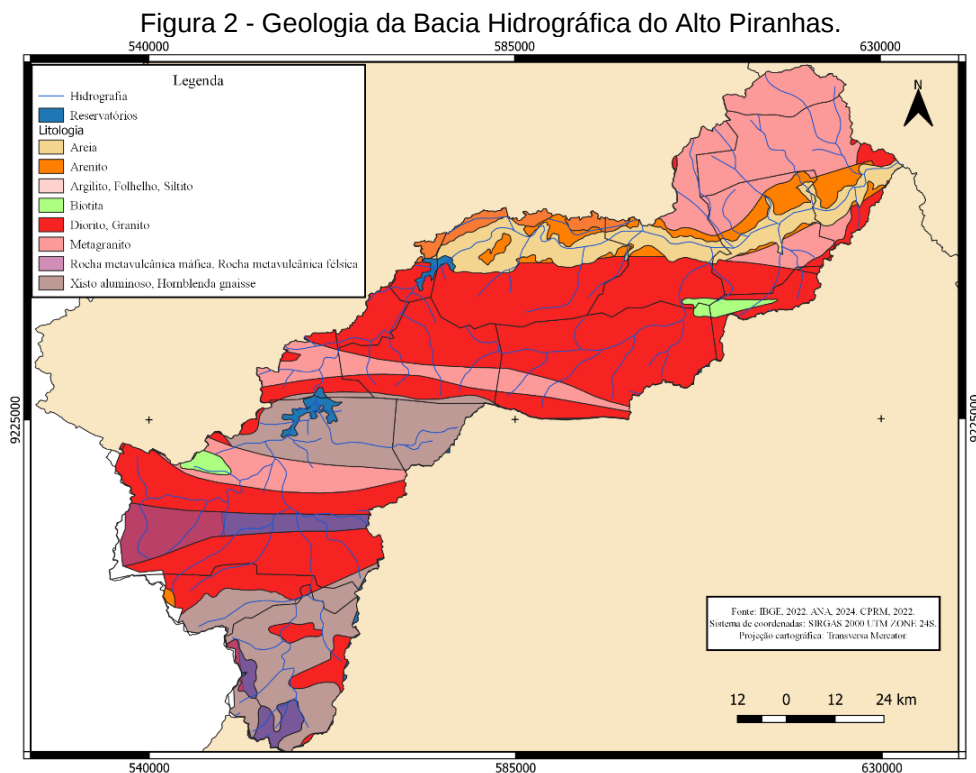
3.2.1 Geologia

Predominam na bacia do alto piranhas, rochas ígneas e metamórficas representadas por gnaisses, xistos, migmatitos e granitos, que fazem parte da província da Borborema, sendo que as rochas impermeáveis predominam na maior parte da bacia, diminuindo a capacidade de armazenamento de água (ANA, 2014).

As rochas ígneas e metamórficas localizadas principalmente dos patamares elevados de dissecação, evidenciam que essas áreas possuem maior resistência que as rochas localizadas nas áreas mais rebaixadas, com a presença de arenitos e sedimentos aluviais e fluviais (Rodrigues, 2021).

Ao Norte a geologia da bacia, conforme a figura 02, é marcada por rochas cristal ofinianas do Complexo Gnáissico Migmatítico e rochas de sequência sedimentar, que

chegam a provocar afloramentos na região. Em sua parte central, existem formações de Quartizitos, Gnaisses do Proterozóico e rochas vulcânicas como granitos. No centro-sul, predomina o complexo cristalino sobre terrenos sedimentares e ocorrências de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas (ANA, 2014).



Fonte: Autor, 2025.

Segundo Feitosa (2006), falhamentos de naturezas diversas (transcorrentes, inversos e de gravidade) movimentaram a bacia, ora justapondo, ora sobrepondo formações geológicas distintas, provocando, inclusive, alterações dimensionais nas mesmas. De acordo com Rocha (2006), são encontradas na bacia do alto piranhas duas formações sedimentares: a formação sedimentar rio do peixe e a formação rio piranhas.

A bacia sedimentar do rio do peixe é formada por um conjunto de semi-bacias do tipo semi-grabens, tipo rifts, com as “margens passivas” situadas nos limites setentrionais destas semi-bacias e as “margens flexurais”, em seus limites meridionais, caracteriza-se pela predominância de siltitos e folhelhos vermelhos amarronzados, intercalados com arenitos finos (calcíferos) a médios, além de margas e calcários. Coexistem duas unidades, a superior e a inferior (Rocha; Amaral; 2006).

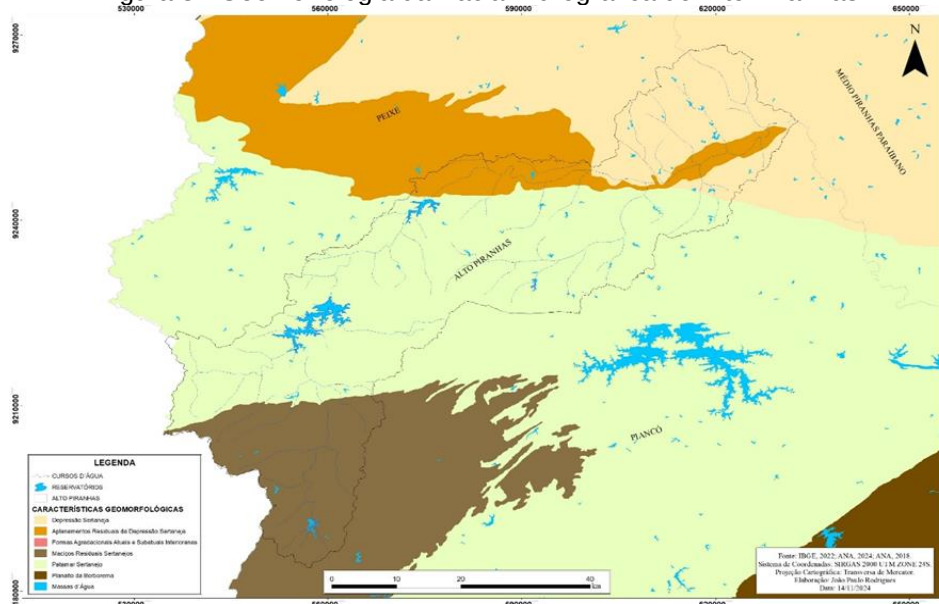
Já a formação rio piranhas é composta predominantemente por arenitos grossos a conglomeráticos, feldspáticos e líticos, mal selecionados, com coloração cinza claro a marrom avermelhado, possuindo intercalações de arenitos médios a finos e siltitos. Geralmente apresentam estratificações cruzadas acanaladas de médio porte e, mais raramente, marcas de onda. O sentido dominante das paleocorrentes é para norte (Rocha; Amaral; 2006).

3.2.2 Geomorfologia

O relevo da bacia do alto piranhas está localizado na porção centro sul da bacia do Piancó-Piranhas-Açu, sendo que este relevo caracterizado por uma fisionomia plana a semicolínosa com vertentes convexas (Carvalho, 1982).

A bacia do alto piranhas encontra-se em sua maior parte inserida na unidade geomorfológica da superfície sertaneja, conforme figura 03, caracterizada por apresentar uma extensa planície baixa, de relevo predominante suave e ondulado. Essa unidade se dispõe de forma semicircular com declives em direção aos fundos dos vales entre o planalto da Borborema e o planalto sertanejo (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002).

Figura 3 - Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.



Fonte: Autor, 2025.

A vertente leste do rio do peixe que se situa no alto curso da bacia hidrográfica, apresenta dissecação produzida pela rede de drenagem do rio do peixe, sua

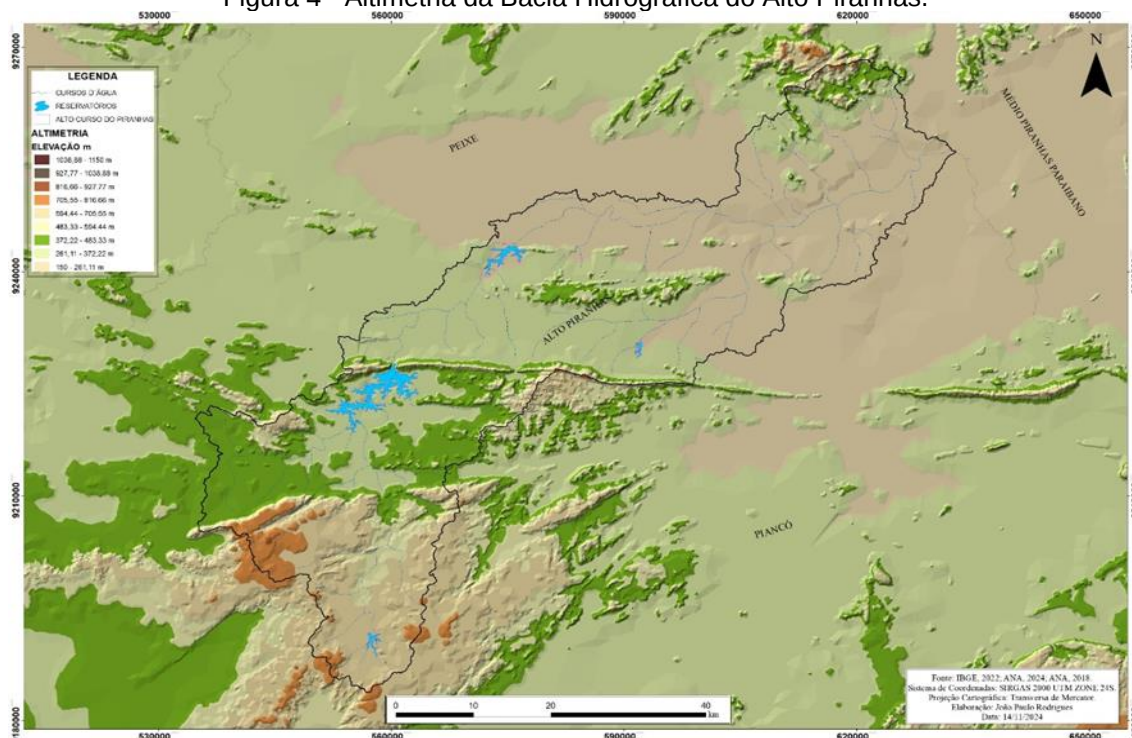
morfologia varia de ondulada a forte ondulada (Albuquerque, 2024). Essa vertente está localizada no Maciço do Pereiro, e pertence à região do embasamento pré-cambriano denominada de “Província Geológica da Borborema”.

Novos estudos sobre a geomorfologia, caracterizam o relevo cristalino cravado na superfície sertaneja, formado por granitóides neoproterozóico do magmatismo brasileiro (Magini; Hackspacher, 2008). Nesse contexto, podem ser indicados os maciços cristalinos que, em sua maioria, estão localizados na província Borborema, estando associados a granitóides cuja gênese está relacionada aos processos de erosão diferencial (Lima *et al.*, 2019).

A superfície Sertaneja é organizada em torno do Planalto da Borborema, e é resultado da morfologia herdada de processos morfoestruturais, sendo um importante dispersora da drenagem, pois sua intensa rede de drenagem é responsável pela intensa dissecação (Rodrigues, 2021).

A altimetria da bacia do alto piranhas varia de 150m a 1.150m, sendo que a maior área da bacia possui relevo em torno de 150m, onde a parte mais alta fica situada na serra do município de Monte Horebe (AESA, 2023).

Figura 4 - Altimetria da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.



Fonte: Autor, 2025.

Conforme a figura 04, a área de cabeceira do rio piranhas é caracterizada por áreas altas e planas em torno de 700 a 800 m, com baixa declividade, evidenciando as variações de altitude do canal dentro da bacia, a partir do distanciamento de sua cabeceira se observa que o canal passa a diminuir sua altimetria gradualmente, até alcançar os 170 m. Já as declividades se apresentam mais acentuadas nas áreas de ruptura de declive/regiões serranas, como também, acompanham as áreas mais elevadas da bacia (AESAs, 2023).

3.2.3 Clima

Segundo a classificação de Koppen, no sertão paraibano pode-se identificar o clima semiárido BSw_h, com estação chuvosa de verão/outono, com áreas de maior pluviosidade em relação as outras sub bacias da bacia do Piancó-Piranhas-Açu (ANA,2014). A temperatura média, na região da bacia hidrográfica do alto piranhas é de 23,4°C, com máxima de 35,7°C em dezembro, e mínimas entre julho e agosto de 19,3°C (Schmidt; Mattos, 2013, p. 70).

As variações mensais da umidade relativa do ar estão intimamente relacionadas às irregularidades temporais do regime pluviométrico na bacia. A umidade média anual na bacia está em torno de 66%. As precipitações na bacia são concentradas nos meses de fevereiro a maio e caracterizam-se pela alta variabilidade interanual, sendo a média anual de precipitação na bacia do alto piranhas de 937 mm (ANA, 2014).

A bacia do alto piranhas apresenta altas taxas de evaporação que acarreta perdas significativas das reservas de água, contribuindo assim para o déficit hídrico, a evaporação média Piché é de 2.338 mm/ano e a evapotranspiração, segundo os métodos de Hargreaves e Pernman Monteith são da ordem, respectivamente, de 1.620 mm/ano e 1.786 mm/ano (ANA, 2014).

Sua área situa-se na região semiárida do estado da Paraíba, na macrorregião do sertão paraibano, registrado de sete a oito meses de seca e precipitações médias que podem variar entre 730 mm a 998 mm em média anual, sendo o município de São José da Lagoa Tapada com a maior média pluviométrica de 998 mm e o município de Pombal com a menor média pluviométrica de 730 mm (AESAs, 2024).

3.2.4 Recursos hídricos

Os sistemas hidrogeológicos são em sua maioria, de caracterização fissural, conhecido pelos atributos das rochas cristalino, pouco alteradas encontradas em 87% da área da bacia. Os aquíferos existentes na bacia do alto piranhas estão associados às rochas ígneas e metamórficas, estes aquíferos apresentam baixo potencial hídrico, ou seja, a vazão dos poços é insuficiente para a exploração de água, sem contar com altos teores de salinidade (ANA, 2014).

Ocorrem no território paraibano, o aquífero cristalino, do rio do peixe, o Paraíba-Pernambuco, serra dos Martins, aluvial e elúvio-coluvial, sendo que no território da bacia são encontrados: o aquífero cristalino, o aquífero rio do peixe, o aluvial e o elúvio-coluvial (AESAs, 2023).

O sistema cristalino, ocupa uma área de cerca de 49.000 km², (87% do território paraibano), principalmente na macrorregião do sertão, na região semiárida, o sistema rio do peixe, ocupa uma área de 1.340 km², nos municípios de Sousa e São João do rio do Peixe, o aquífero aluvial ocorre de forma isolada, ocupando uma área de 4.100 km², descontinuamente distribuído sobre o embasamento cristalino, já o aquífero eluvial-coluvial, ocorre nas encostas das elevações festonadas, localizados nas bases das reentrâncias das elevações (AESAs, 2023).

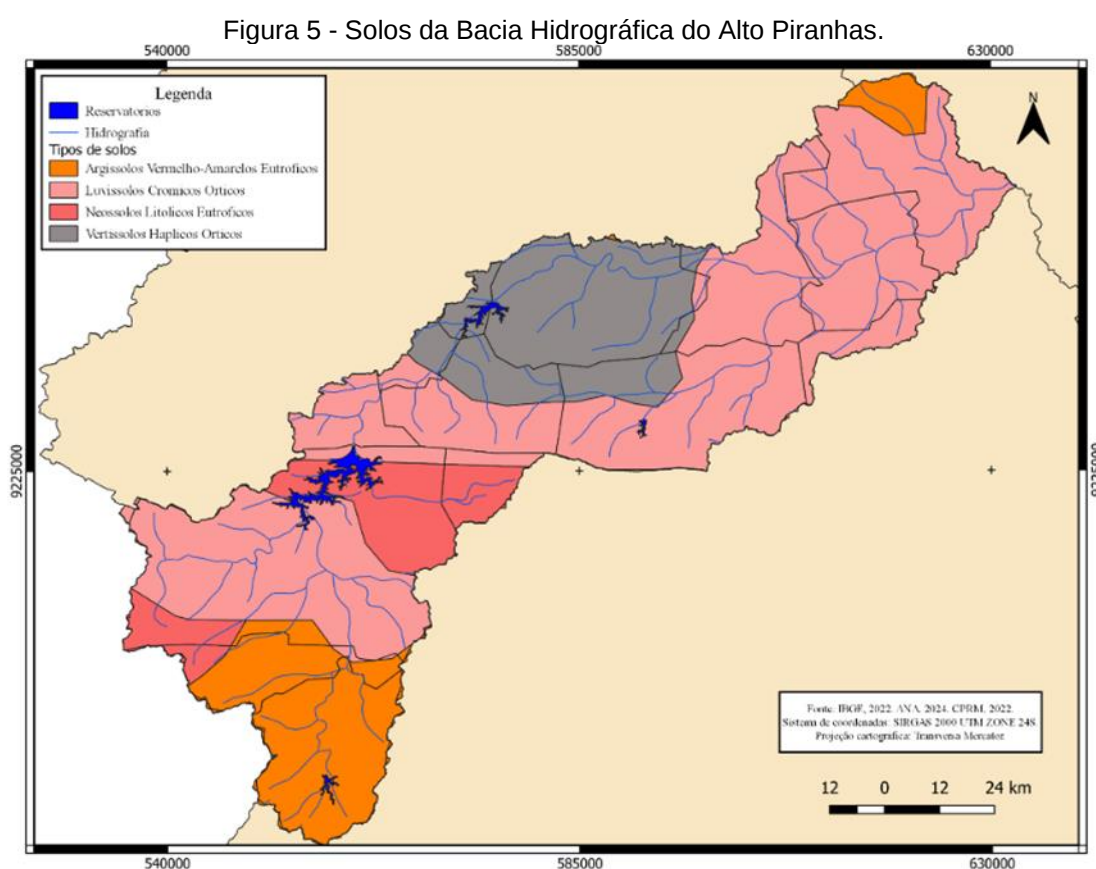
Foram catalogados cerca de 2.460 poços em uma região retangular contendo a bacia sedimentar do rio do peixe, as águas subterrâneas desta bacia são alcalinas, bicarbonatadas e ricas em sódio, mediantemente duras (ANA, 2014).

A área da bacia hidrográfica do alto piranhas é muito impactada por barragens, principalmente, barragens artesanais, construídas pelas comunidades. Contudo, as duas barragens mais importantes são a barragem Engenheiro Ávidos, localizada no município de Cajazeiras e a barragem de São Gonçalo no município de Sousa.

A barragem de engenheiro ávidos tem volume máximo de 255.000.000 m³, volume morto de 17.847.000 m³, com altura de 45 metros e comprimento de 359,40 metros, ocupando uma área de 1.124 km² na bacia hidrográfica, com largura no vertedouro de 160 metros e com vazão máxima de 1.610 m³/s, já a barragem de São Gonçalo, tem volume máximo de 44.600.000 m³, volume morto de 2.982.000 m³, altura de 25,30 metros e comprimento de 380 metros, ocupando uma área de 171 km² na bacia hidrográfica, a largura do vertedouro é de 230 metros e sua vazão máxima de 1.800 m³/s (AESAs, 2023).

3.2.5 Pedologia

Os principais tipos de solos que ocorrem na bacia são os luvisolos crômicos e os neossolos litólicos, conforme figura 05, sendo os solos tipo aluviais os mais utilizados pela agricultura irrigada pois possuem boa fertilidade, localizada no distrito de São Gonçalo, município de Sousa, grande produtor de banana e coco baia (AESAs, 2023).



Fonte: Autor, 2025.

A região apresenta solos rasos formados sobre um substrato cristalino, ocasionando uma baixa capacidade de armazenamento e resultando na intermitência dos seus rios, os solos mais explorados na agricultura irrigada são os solos aluviais, dispersos em toda bacia, e os vertissolos presentes na bacia do rio do Peixe, outras unidades de solo dignas de nota são os podzólicos vermelho-amarelos, os latossolos e os cambissolos (CBH-PPA, 2008).

Na bacia do alto piranhas são encontrados: os luvisolos que compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural que apresentam elevados

teores de minerais primários. De um modo geral são medianamente profundos a rasos e, em muitos casos, há indicadores de descontinuidade litológica entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. Observa-se, com frequência, presença de pedregosidade superficial constituída por calhaus e por vezes matacões, caracterizando o que se denomina pavimento desértico. Face ao seu pequeno desenvolvimento genético, observa-se a presença de teores médios a altos de minerais facilmente decomponíveis (EMBRAPA, 2011).

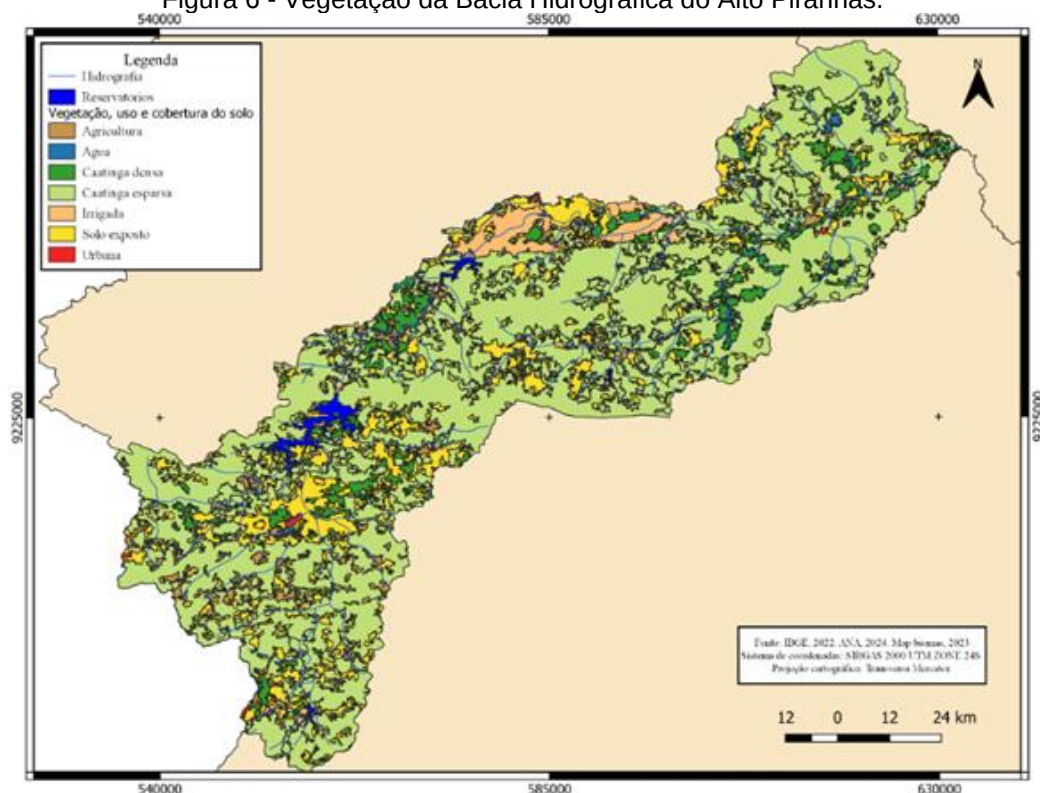
Outro tipo de solo encontrado na bacia do alto piranhas são os Neossolos Litólicos que são pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, pedregosos e rochosos. Os Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos são encontrados na bacia, sendo solos de alta fertilidade, já os vertissolos que também são encontrados na bacia, são aproveitados para a agricultura de subsistência decorrente da alta fertilidade (EMBRAPA, 2011).

Na bacia hidrográfica do alto piranhas, os solos mais explorados na agricultura irrigada são os solos aluviais, dispersos em toda bacia, e os vertissolos presentes na bacia do rio do Peixe. Outras unidades de solo dignas de nota são os podzólicos vermelho-amarelos, os latossolos e os cambissolos, as várzeas do município de Sousa apresentam solo do tipo vertissolo, que são extremamente férteis, propiciando a irrigação das terras e o plantio de banana e do coco, a uma grande preferência por estas culturas perenes devido a sua boa produtividade nos vertissolos (Chaves, *et al.* 2015).

3.2.6 Vegetação

Na bacia do alto piranhas é encontrado a vegetação de caatinga, que apresenta uma fisionomia muito diversificada, em decorrência do clima e dos solos (Sampaio, 2002).

Figura 6 - Vegetação da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.



Fonte: Autor, 2025.

Segundo Ab'Saber (2003), há uma diferença sazonal na caatinga, onde os meses de escassez hídrica as espécies caducifólias perdem as folhas e os ramos e galhos ficam acinzentados, e na estação chuvosa as folhas rebrotam verdes, modificando a paisagem, as espécies vegetais típicas da caatinga são: os cactos: mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F. A. C. Weber) Byles e G. D. Rowley) (2013)), as espécies arbóreas: pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan), e as espécies arbustivas: jurema (*Mimosa tenuiflora* (Willd) e o mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), etc.

É encontrado na bacia do alto piranhas a caatinga hiperxerófila, predominando as formações arbustivas arbórea aberta (12,34%), caatinga arbustiva fechada (5,14%), caatinga arbórea fechada (0,32%), onde as áreas com antropismo representam (81,49%). Em relação a cobertura vegetal é predominante a caatinga hiperxerófila, destacando as formações arbustivas arbórea aberta com maior predominância, sendo na parte sul da bacia no município de Monte Horebe nos pontos mais elevados, ocorre a formação da caatinga hiperxerófila com porte arbóreo (AESA, 2023).

A cobertura vegetal da bacia em sua maior parte se encontra bastante antropizada em decorrência da abertura de áreas para exploração agrícola e principalmente pela exploração de lenha como fonte energética para olarias, panificadoras e uso doméstico. Além da perda de biodiversidade, a remoção da vegetação sem critérios de manejo, expõe o solo à ação erosiva das chuvas, provocando o transporte de partículas para os corpos hídricos e causando o gradual assoreamento dos reservatórios da região (Chaves *et al.*, 2015).

3.3 Aspectos históricos, populacionais, econômicos e demográficos dos municípios

3.3.1 Aparecida

O município de Aparecida tem uma população de 7.960 habitantes, área territorial de 291,478 km² e densidade demográfica de 27,31 habitantes por quilômetro quadrado, sendo um dos municípios menos populosos do estado da Paraíba e o terceiro na microrregião de Sousa (IBGE, 2022).

De acordo com Filho e Oliveira (2002), o município de Aparecida começou a ser ocupado por volta de 1927. As primeiras casas situavam-se próximas ao Rio do Peixe, formando um pequeno vilarejo, tendo como ponto de comércio uma grande latada (cobertura feita de palhas de carnaúba ou coqueiro). A cidade de Aparecida recebeu esse nome tempos depois em homenagem a Nossa Senhora da Conceição Aparecida, padroeira do Brasil. O município está situado próximo à junção dos rios do Peixe com o Rio Piranhas. Suas terras foram doadas por herdeiros de João Batista da Silva ao Patrimônio da Igreja Nossa Senhora dos Remédios, localizada na então cidade de Sousa- PB (Prefeitura Municipal de Aparecida, 2025). O município foi criado pela lei nº 5.896 de 29 de abril de 1994, sendo realizada sua primeira eleição para prefeito no dia 3 de outubro de 1996 (IBGE, 2022).

Segundo o IBGE em 2021, o produto interno per capita do município era de R\$ 12.405,76, sendo a agropecuária a base econômica do município que possui 217 unidades agropecuárias, merece destaque econômico para a pecuária, que possui um rebanho bovino de 5 466 cabeças, desse total, tem-se 1.155 vacas, produzindo uma quantidade 1.764 litros de leite por dia, que abastece o próprio município e as indústrias de laticínios da cidade de Sousa. Na agricultura destacam-se as culturas

do milho, feijão, arroz e da fruticultura, como: banana; coco; goiaba; laranja; limão, dentre outros em menor proporção. A taxa de mortalidade infantil do município é de 30 para 1.000 nascidos vivos, tendo 3% de analfabetos funcionais.

3.3.2 Bonito de Santa Fé

Segundo o IBGE em 2022, a população do município de Bonito de Santa Fé era de 10.252 habitantes e sua densidade demográfica era de 45,2 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente à mesorregião do sertão paraibano, sendo um dos municípios menos populosos do estado da Paraíba, e o quarto mais populoso em sua microrregião (IBGE, 2022).

O município foi habitado por índios cariris, as terras onde está situado o município pertenciam, no século XVIII, a Arruda Câmara, que as vendeu a Manoel José e Francisco Soares. Iniciou-se a colonização e desenvolveu a agricultura. No final do século XIX, surgiam com frequência bandos de cangaceiros no lugar, sendo na época combatidos, especialmente, pela família Timóteo de Souza. Com o afastamento dos grupos de cangaceiros, os moradores construíram uma capela, em homenagem a Santo Antônio, em torno da qual cresceu o povoado, denominado de Santa Fé, mais tarde alterado para Bonito de Santa Fé. Com a denominação de Bonito, pela lei estadual nº 1164, de 15-11-1938, desmembrado de Jatobá, atual São José de Piranhas, foi criado o Município de Bonito de Santa Fé (Prefeitura Municipal de Bonito de Santa Fé, 2025).

Com uma área de 276 km², o município tem como base econômica a agropecuária, e seu produto interno bruto per capita é de R\$ 7.962,14 (2021), a taxa de mortalidade infantil do município é de 23,81 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.3 Cajazeiras

Cajazeiras é um município brasileiro, situado na extremidade ocidental do estado da Paraíba, pertencente à Mesorregião do Sertão Paraibano e à Microrregião de Cajazeiras, localiza-se a oeste da capital do estado, distante desta cerca de 476 km. Ocupa uma área de 586,275 km², dos quais 2,8193 km² estão em perímetro urbano, representando 1,0388% do território paraibano, sua população recenseada

pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2022 é de 63.239 habitantes, sendo sua densidade demográfica de 112,38 habitantes por quilômetro quadrado, sendo o oitavo município mais populoso do estado e o primeiro em sua microrregião (IBGE, 2022).

Cajazeiras foi desmembrada de Sousa na década de 1860, passando de distrito à vila na mesma época do desmembramento e de vila a município em 1876. A versão de sua etimologia refere-se a um antigo sítio de Cajazeiras, que tinha este nome devido à grande quantidade de cajazeiras, árvores que oferecem o cajá como fruto. Este sítio foi doado por Jerônimo José de Melo e Luís Gomes de Albuquerque, onde este teria doado o sítio à sua filha Ana de Albuquerque após um casamento (Prefeitura Municipal de Cajazeiras, 2015).

O município tem como base econômica a agropecuária, e seu produto interno bruto per capita é de R\$ 19.683,9 (2021), a taxa de mortalidade infantil do município é de 22,99 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.4 Carrapateira

Em 2022, a população do município de Carrapateira era de 2.312 habitantes, com densidade demográfica de 39,14 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, sendo um dos municípios menos populoso do estado (IBGE, 2022).

Por volta de 1770, um senhor proveniente da cidade de Sousa/PB, por nome de Francisco Vieira da Silva chega a estas terras. Ao chegar, vendo a fertilidade delas, começou a desbravá-la para construir sua casa, onde residiu com sua família. Com o desenvolvimento econômico do local, que surgiu através da construção da capela de Santo Afonso em 1919, pelo esforço do padre Nicolau Leite, na época o então vigário de São José de Piranhas, que queria homenagear o seu sobrinho Afonso (in memória), juntamente com a população local. O nome do município provém da quantidade de mamona encontrada na região, também conhecida como Carrapateira. Em 11 de dezembro de 1961, o distrito de Carrapateira é elevado à categoria de cidade pelo então governador Pedro Gondin (Prefeitura Municipal de Carrapateira, 2025).

Com uma área territorial de 59,07 km², o município de Carrapateira tem como base econômica a agropecuária, seu produto interno bruto per capita em 2021, era de R\$ 11.403,91 (IBGE, 2022).

3.3.5 Marizópolis

Em 2022, a população de Marizópolis era de 6.705 habitantes e a densidade demográfica era de 95,85 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, sendo um dos municípios menos populosos do estado da Paraíba, ocupando a sexta colocação em sua microrregião (IBGE, 2022).

Os primeiros conquistadores do município, foram os irmãos Ledo, no ano de 1723, logo após tais acontecimentos, houve o incentivo à lavoura, à criação de gado e ao povoamento. O povoado foi elevado à categoria de município com a denominação de Marizópolis, pela lei estadual nº 5915, de 29-04-1994, desmembrado de Sousa (Prefeitura Municipal de Marizópolis, 2025).

Com uma área territorial de 69,95 km², o município de Marizópolis tem como base econômica a agropecuária, seu produto interno bruto per capita em 2021, era de R\$ 12.250,49 (IBGE, 2022).

3.3.6 Monte Horebe

Segundo o IBGE a população total de Monte Horebe em 2022 era de 4.338 habitantes e a densidade demográfica era de 37,12 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, sendo um dos municípios menos populosos do estado da Paraíba e a oitava colocação em sua microrregião.

Monte Horebe teve sua origem no ano de 1925, elevado à categoria de município com a denominação de Monte Horebe, pela lei estadual nº 2608, de 05-12-1961, desmembrado de Bonito de Santa Fé. Sede no antigo distrito de Monte Herege. Instalado em 28-12-1961 (IBGE, 2022).

Com uma área territorial de 116,854 km², o município de Monte Horebe tem como base econômica a agropecuária, seu produto interno bruto per capita em 2021, era de R\$ 9.877,56), a taxa de mortalidade infantil do município é de 15,38 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.7 Nazarezinho

Segundo o IBGE, em 2022 a população do município de Nazarezinho era de 7.203 habitantes, com uma área territorial de 193,203 km², e densidade demográfica era de 37,28 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, ocupando a centésima nona posição em população no estado da Paraíba e a quarta posição na microrregião (IBGE, 2022).

A cidade teve origem na Fazenda Picos do Sr. Francisco Lins de Albuquerque, considerado o seu fundador por ter loteado suas terras para construção de casas, nascendo assim um povoado ao Serrote que recebera o nome de Nazareth do Pico. A denominação “do Pico” deve-se a proximidade do povoado ao Serrote do Pico. Elevado à categoria de município com a denominação de Nazarezinho, pela lei estadual nº 2659, de 22-12-1961, desmembrado de Souza. Sede no antigo distrito de Nazarezinho (IBGE, 2022).

O município de Nazarezinho tem como base econômica a agropecuária, seu produto interno bruto per capita em 2021, era de R\$ 9.072,36, a taxa de mortalidade infantil do município é de 14,49 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.8 Pombal

Em 2022, a população do município de Pombal era de 32.473 habitantes, com uma área territorial de 894,098 km², tendo uma densidade demográfica era de 36,32 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, ocupando a posição de décima terceira maior população do estado da Paraíba e a primeira em sua microrregião (IBGE, 2022).

Em 1695, o capitão-mor Teodósio de Oliveira Ledo, se encontrava no sertão das Piranhas, no lugar conhecido como Arraial do Pinhancó, na tentativa de fundar uma povoação, sendo o grande impedimento os indígenas que habitavam a região. Teodósio, em 1697, viajou a capital da Província e solicitou ao governador Manoel Soares de Albergaria, soldados, mantimentos, armas e munições para expulsar os indígenas do lugar. Atendido, Oliveira Ledo retornou e consegue “bom sucesso” frente aos indígenas, e funda em 27 de julho de 1698, a povoação de nossa senhora do bom sucesso do pinhancó (Pombal). Distrito criado com a denominação de Pombal, em 15-10-1827, e elevado à condição de cidade e sede municipal com a denominação de

Pombal, pela Lei Provincial n.º 68, de 21-07-1862 (IBGE, 2022) (Prefeitura municipal de Pombal, 2025).

O município de Pombal tem como base econômica a agropecuária, seu produto interno bruto per capita em 2021, era de R\$ 14.177,59, a taxa de mortalidade infantil do município é de 16,53 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.9 São Domingos

Segundo o censo de 2022, a população de São Domingos era de 2.595 habitantes e a densidade demográfica era de 15,23 habitantes por quilômetro quadrado, o município faz parte da macrorregião do sertão paraibano, sendo um dos municípios menos populosos do estado da Paraíba, na microrregião ocupa a sétima colocação (IBGE, 2022).

Em 1863, um filho do Capitão-Mor, Manoel Ferreira de Sousa (provavelmente Manoel Ferreira Nobre ou José Ferreira Nobre, comprou o Sítio São Domingos, pertencentes à Família Formiga, em que figuravam terras, casas, açudes, cercados, cana de açúcar e outros bens, em 1979 foi criado o Distrito, com a denominação de São Domingos, pela Lei Estadual nº 4.111, de 22-11-1979, subordinado ao município de Pombal. Elevado à categoria de município, com a denominação de São Domingos de Pombal, pela Lei Estadual n.º 5.902, de 29-04-1994, alterado pela Lei Estadual nº 6.422, de 27-12-1996, desmembrado de Pombal (Prefeitura Municipal de São Domingos, 2025).

O município de São Domingos tem uma área territorial de 170,361 km², tendo como base econômica a agropecuária, seu produto interno bruto per capita em 2021, era de R\$ 11.595,69 (IBGE, 2022).

3.3.10 São José da Lagoa Tapada

Em 2022, a população de São José da Lagoa Tapada era de 7.126 habitantes e sua densidade demográfica era de 21,35 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, sendo o um dos municípios menos populosos do estado da Paraíba, e o quinto em população na microrregião de Sousa (IBGE, 2022).

O município de São José da Lagoa Tapada, foi desmembrado do município de Sousa e emancipado em 28 de julho de 1959 através da Lei nº 2.149 de 28-07-59. O nome Lagoa Tapada, foi em virtude a um aterro feito em uma lagoa, hoje localizado no Sítio Lagoa Tapada de onde originou-se o nome da cidade de São José da Lagoa Tapada. O município possui 339,8 km², distante a 478 km da Capital do Estado (Prefeitura Municipal de São José da Lagoa Tapada, 2025).

Com uma área territorial de 333,724km², tendo como base econômica a agropecuária, o produto interno bruto per capita em 2021 do município era de R\$ 9.440,27, e sua taxa de mortalidade infantil é de 37,04 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.11 São José de Piranhas

O município de São José de Piranhas contava em 2022 com uma população de 19.067 habitantes e sua densidade demográfica era de 27,76 habitantes por quilômetro quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, sendo o trigésimo quarto município com maior população no estado da Paraíba, e o segundo na sua microrregião (IBGE, 2022).

Supõe-se que o território tenha sido constituído pelas antigas sesmarias pertencentes à casa da Torre e a fazendeiros de Piancó que ali se estabeleceram, por volta do século XVIII. Iniciadas as construções de casas residências formou-se a povoação, denominada “São José de Piranhas”, às margens do rio de mesma denominação. Elevado à categoria de vila com a denominação de São José de Piranhas, pela lei provincial nº 791, de 24-09-1885, desmembrado do município de Cajazeiras (IBGE, 2022).

O município de São José de Piranhas tem uma área territorial de 686,918km², sua economia é baseada na agropecuária, o produto interno bruto per capita em 2021 do município era de R\$ 11.289,98, e sua taxa de mortalidade infantil é de 24,39 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.12 São João do Rio do Peixe

Em 2022, a população do município de São João do Rio do Peixe era de 17.964 habitantes e sua densidade demográfica era de 37,72 habitantes por quilômetro

quadrado, pertencente a macrorregião do sertão paraibano, é o trigésimo nono município em população no estado da Paraíba e o terceiro na microrregião de Cajazeiras (IBGE, 2022).

No começo do século XVII, Luís Quaresma Dourado da Paraíba e a casa da Torre da Bahia, adquiriram várias sesmarias na ribeira do rio do Peixe. Em 1691, o capitão Mor Antônio José da Cunha, da Capitania de Pernambuco, conseguindo a amizade dos indígenas, estabeleceu-se às margens do rio do peixe, com uma fazenda de criação a qual segundo documento da época reunia mais de 1500 cabeças de gado. Até 1765, porém no local onde se ergue a cidade, era uma fazenda de criação, pertencente ao capitão João Dantas Rothea, morador do distrito de Piancó. Elevado à categoria de vila com a denominação de São João do Rio do Peixe, pela lei provincial nº 727, de 08-10-1881, desmembrado de Sousa (Prefeitura Municipal de São João do Rio do Peixe, 2025).

O município de São João do Rio do Peixe tem uma área territorial de 476,23km², sua economia é baseada na agropecuária, o produto interno bruto per capita em 2021 do município era de R\$ 12.515, e sua taxa de mortalidade infantil é de 5,95 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

3.3.13 Sousa

O município de Sousa, segundo o IBGE, em 2022 tinha uma população de 67.259 habitantes e sua densidade demográfica era de 92,33 habitantes por quilômetro quadrado, sendo o oitavo município com o maior número de habitantes do estado da Paraíba e o segundo na macrorregião do sertão paraibano (IBGE, 2022).

Em 1723, chegaram os sacerdotes Francisco e Teodósio de Oliveira Ledo passando o território para a Casa da Torre da Bahia, tornando-se senhores dos vales constituídos pelos rios do Peixe e Piranhas. O processo de habitação aconteceu vagarosamente com os moradores das ribeiras dos rios do peixe e Piranhas e dos paulistas que iam chegando para situarem suas fazendas com rebanhos e agricultura. No dia 04 de junho de 1800 o Ouvidor Geral José da Silva Coutinho instala, oficialmente, a Vila Nova de Sousa através de Resolução do então Governador de Pernambuco, datada de 26 de março de 1800, após pleito da comunidade através de requerimento encabeçado por Patrício José de Almeida, Matias de Figueiredo Rocha e padre Manoel Vieira da Silva. Um dia antes, o Capitão

Alexandre Pereira de Sousa fez uma doação de terras para o patrimônio do crescente povoado. Foi através da Lei Provincial de nº 28, de 10 de julho de 1854, que a Vila de Sousa foi elevada à categoria de cidade passando, na oportunidade, a denominar-se Sousa (Prefeitura Municipal de Sousa, 2025).

O município de Sousa tem uma área territorial de 728,492km², sua economia é baseada na agropecuária, o produto interno bruto per capita em 2021 do município era de R\$ 18.836,93 e sua taxa de mortalidade infantil é de 22, 25 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2022).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada compreende em uma análise e diagnóstico operacional, quantitativo e qualitativo da bacia do curso do alto piranhas. O trabalho desenvolvido buscou identificar indicadores disponíveis no território da bacia hidrográfica. Foi apresentada uma discussão teórica sobre os indicadores, envolvendo definições, tipologias e principais aplicações e funções dos indicadores sobre recursos hídricos, desde seus desafios de seletividade à tomada de decisão.

A partir do alinhamento da pesquisa com as etapas metodológicas, foram divididas as seguintes etapas: Etapa 1- Revisão bibliográfica, levantamento de dados e de bases cartográfica; Etapa 2- Tratamento e organização dos dados coletados, organização e seleção dos indicadores para a área de estudo; Etapa 3- Tratamento e integração dos dados; Etapa 4- Produção das representações gráficas e análise dos dados.

4.1 Etapa 1 – Revisão bibliográfica, levantamento de dados e de bases cartográficas

Foi efetuado inicialmente o levantamento de teses, dissertações, artigos científicos e dos livros publicados, nas bibliotecas digitais de pesquisa, portal de periódicos da Capes, o Scielo, o Google acadêmico, dentre outros, a fim de entender, a construção de indicadores e atributos que possibilitam análises mais completas da realidade social e ambiental da área de estudo, como também o levantamento das bases cartográficas. Foi realizada uma revisão bibliográfica onde os temas indicadores, índices ambientais e gestão dos recursos hídricos foram analisados.

Os principais autores e instituições que nortearam a pesquisa sobre os indicadores ambientais foram:

- Aspectos legais da gestão dos recursos hídricos: Machado (2002), Vieira (2003); Whately (2017); Montenegro, 2018.
- A bacia hidrográfica o território de gestão das águas: Santos (1978), Davidovich (1989), Rasffetin (1993), Tucci (1993), Carvalho (2000), Carvalho (2024), Santos (2004), Porto e Porto (2008), Vilaça *et.al.*

(2009), Cunha (2011), Lima (2012), Sousa (2013), Peixoto e Silveira (2017), Carvalho (2020), Peixoto (2020 e 2023);

- Recursos hídricos e a sua gestão no Brasil: Barth (1987), Lanna (1994), Benjamin (1999);
- A importância da segurança hídrica e o uso dos indicadores ambientais para a PNRH: Mitchell (1996), Alegre *et al.* (2000), Cosgrove e Rijeberman (2000), Hulbert; Pereira e Lanna (2002), Magalhães Júnior *et al.* (2003), Bellen (2002), Malheiros *et al.* (2004), Castro (2004), Bellen (2005), Guimarães e Magrini (2008), Magalhães Júnior (2010), Gomes e Malheiros (2012), Carvalho e Curi (2013), Magalhães Júnior (2014), Gain *et al.* (2016), Pires *et al.* (2017), Silva (2017), Van Ginkel *et al.* (2018), Makaregakis *et al.* (2019), Empinotti e Ferrara (2020);
- Os atores sociais no processo decisório da gestão hídrica: Pereira e Fonseca (1997), Chiavenato (1999), Almeida e Brito (2002), Mota e Vasconcelos (2002), Gomes, Gomes e Almeida (2002), Lachtermacher (2002), Cunha (2005), Quiroga (2005), Daft (2005) Silva *et al.* (2009), Gomes *et al.* (2009), Francalanza *et al.* (2013), Carvalho (2013).

Além dos órgãos de gestão e gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do Piancó-piranhas-açu: AESA e o Comitê da bacia hidrográfica, onde foram consultados nos seus respectivos sites, os relatórios técnicos e executivos de gestão e operacionalização dos recursos hídricos da bacia analisada.

No Quadro 02 em destaque, foram indicadas as bases cartográficas para a elaboração dos mapas da área de estudo.

Quadro 2 – Bases cartográficas

Base cartográfica	Fonte	Utilização
Malha de territórios municipais	IBGE, 2022	Integração dos dados de indicadores e apresentação dos resultados
Bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu.	ANA, 2018;2024	Recorte e análise da área de estudo

Sub-bacias hidrográficas do Rio Piancó-Piranhas-Açu.	ANA, 2018;2024	Seleção da área de estudo e recortes de áreas para apresentação dos resultados
BDO e Fosforo por tonelada/dia.	ANA, 2018;2024	Amostras da qualidade da água.
Açudes e reservatórios	SNIS, 2022 e ANA 2024	Perdas de distribuição de água.
Distribuição e tratamento de água	CAGEPA, 2021	Atendimento total de água.

Fonte: Autor, 2025.

4.2 Etapa 2 – Tratamento e organização dos dados coletados, organização e seleção dos indicadores para a área de estudo

Foram identificados os possíveis indicadores ambientais a serem analisados para os 13 municípios que compõem a área de estudo. Essa escolha foi fundamentada a partir das dimensões dos indicadores ambientais propostos por Magalhães Júnior (2014), conforme quadro 3.

Quadro 3 – Indicadores e sub indicadores

DIMENSÕES	INDICADORES	SUB INDICADORES
Pressões sobre os estoques e a qualidade hídrica	Densidade populacional total, urbana e rural (hab/km²)	IDH-M
Pressões relativas às demandas hídricas, pressões relativas à poluição	- Índice de captação de água para abastecimento público urbano (m³/hab.) - Índice de captação de água para irrigação(m³/hab.) - Índice de lançamento de matéria orgânica nas águas (dbo/hab./dia)	Estações de tratamento de água.
Estado quantitativo dos estoques hídricos	Índice de toxicidade de águas superficiais (média anual e regra dos 90%)	

Coleta, tratamento e disposição de efluentes líquidos e sólidos.	• Índice de tratamento de esgoto coletadas (%) • Índice de tratamento de esgotos em relação à água consumida (%) • Índice de coleta de esgotos em relação à água consumida (%) • Índice de atendimento urbano de coleta de esgotos (% da pop.) • Índice de lixo corretamente disposto (% do volume coletado disposto em aterros sanitários)	Estações de tratamento de esgotos. Aterros sanitários.
Qualidade da água	• Índice de incidência de doenças de transmissão hídrica (% hab./ ano) por município. • Índice de incidência de diarreia infantil (n° de crianças até 5 anos e %) por município	
Quantidade de água	• Índice de água superficial (bruta) • Índice de água subterrânea. (bruta)	Volume de água dos açudes. Volume de água subterrâneo.
Gestão das águas	• Índice de ocorrência de conflitos de usos da água • Índice de políticas relacionadas aos recursos hídricos do município. • Índice de outorga pelo uso da água • Participação do município no comitê da bacia hidrográfica.	
Gestão integrada solos/águas	• Índice de suscetibilidade do solo à erosão acelerada (% de área atingida)	Assoreamento e turbidez da água.

Gestão das águas subterrâneas.	Índice de captação de água subterrânea (% do volume médio anual de recarga dos aquíferos)	Bombeamento das águas subterrâneas.
Estado dos meios aquáticos.	Índice de perda da cobertura vegetal (%/ano)	Unidades de conservação.

Fonte: Magalhães Júnior (2014).

Os citados indicadores, os especialistas em recursos hídricos selecionaram dentre 64 indicadores, 15 indicadores prioritários para se construir um painel, com indicadores ambientais prioritários, baseado na técnica Delphi. No entanto, na bacia do alto piranhas, devido à escassez de dados dos órgãos gestores, como a agência executiva de águas da Paraíba, AESA, não foram disponíveis todos considerados prioritários pelos especialistas em recursos hídricos, indicadores esses prioritários para um diagnóstico preciso da realidade atual da bacia analisada, e com importância para a gestão eficiente da água.

Os indicadores considerados prioritários pelos especialistas e com maiores índices de aprovação segundo os especialistas e que não foram disponíveis os dados, foram: índice de cobertura vegetal(%), Taxa de conformidade da água segundo o oxigênio dissolvido OD (% de amostra), índice de lixo corretamente disposto (% do volume coletado que é disposto em aterros sanitários); índice de qualidade da água IQA para águas superficiais(média anual regra dos 90%); índice de toxicidade da água superficial (média anual e regra dos 90%); Vazões mínimas de x dias consecutivas e x anos de recorrência (l/s km² ou m³/hab./ano); Coeficiente de escoamento superficial(%); IQA para águas subterrâneas (média anual e regra dos 90%); índice de área agrícolas (%de área ocupada por cada tipo de uso, índice de ocorrência de conflitos de usos da água.

Esses indicadores refletem, segundo os especialistas os temas prioritários de gestão de água no país, como: Pressões humanas sobre a disponibilidade e qualidade da água; gestão integrada solos/água/vegetação; conformidade da qualidade da água de consumo humano e principalmente a coleta, tratamento e disposição de efluentes líquidos.

Com a falta dos indicadores locais, é o caso do índice de tratamento de esgotos e o índice de lixo corretamente disposto (% do volume que é disposto em aterros sanitários, comprometeu o diagnóstico de algumas dimensões da área estudada,

sendo o oxigênio dissolvido (OD) um parâmetro de qualidade da água mais utilizado pelos especialistas, e que não existem dados atualizados na área da bacia, além da falta de aterros sanitários na grande maioria dos 13 municípios analisados. É importante frisar que muitos indicadores utilizados na proposta de Magalhães Júnior, são de realidade diferentes do semiárido nordestino, isso indica a necessidade de um planejamento estratégico dos órgãos gestores.

Desse modo, os indicadores apresentados foram buscados para os municípios localizados na área de estudo, e em seguida foram consultados os bancos de dados das seguintes instituições, como companhia de águas e esgotos da Paraíba- CAGEPA, Agência executiva de águas e esgotos da Paraíba -AESA, Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS, Fundação Nacional da Saúde - FUNASA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Comitê da bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu-CBHPPA e prefeituras municipais. O levantamento desses dados teve por objetivo inserir-se à estrutura da malha municipal, base cartográfica para o SIG.

Assim, após triagem foram selecionadas as dimensões, conforme dados disponíveis, da qual foi possível realizar o diagnóstico situacional da área de estudo, foram selecionados no mínimo um indicador ambiental, dentro de cada dimensão, foram analisadas as seguintes dimensões: pressão sobre os estoques e a qualidade hídrica, pressão relativas às demandas hídricas; pressão relativas à poluição; coleta, tratamento e disposição de efluentes líquidos e sólidos; qualidade dos estoques hídricos e gestão das águas, conforme o quadro 04.

Quadro 4 - Dimensões e indicadores disponíveis na bacia do alto piranhas, baseados nos indicadores ambientais e recursos hídricos propostos por Magalhães Júnior (2014)

Dimensão	Indicadores e recursos hídricos	Disponibilidade de indicadores na bacia	Indicadores considerados para análise	Fonte dos dados coletados
Pressão sobre os estoques e qualidade hídrico	Índice de densidade populacional; Índice de desenvolvimento humano municipal	sim	Densidade demográfica e IDH-M	IBGE. (2023)
Pressão relativa às demandas hídricas	Índice de captação de água para abastecimento público urbano(m³/hab);	sim	Abastecimento Público urbano e Captação de água para irrigação	AESA(2022)

	Índice de captação de água para irrigação (m ³ /hab)			
Pressão relativas à poluição	Índice de lançamento de matéria orgânica nas águas (dbo/hab/dia)	sim	DBO Ton/dia; P Total.	ANA (2018)
Coleta, tratamento e disposição de efluentes líquidos e sólidos.	Índice de tratamento de esgotos coletados (%)	sim	Volume de esgotos coletados e tratados	SNIS (2023)
Qualidade dos estoques hídricos	Índice de incidência de doenças de transmissão hídrica (% hab./ ano) por município	sim	Total de doenças diarreicas aguda de transmissão pela água; índice de doenças diarreicas aguda DDA/POP	Datasus (2023)
Gestão das águas	Número de outorgas pelo uso da água; Participação dos municípios no comitê da bacia hidrográfica	sim	Outorgas pelo uso da água; Participação dos municípios no comitê da bacia	AESA; CBHPPA (2024)

Fonte: Autor, 2025.

Destaca-se que durante a pesquisa foram solicitados através de requerimento, dados operacionais da CAGEPA, AESA-PB, onde essas instituições não forneceram os dados requisitados, alguns indicadores ambientais foram encontrados com dados desatualizados, havendo inclusive, a falta de dados do município de Sousa no SNIS, irregular perante os órgãos reguladores, dificultando com isso um diagnóstico mais preciso da realidade total.

4.3 Etapa 3 – Tratamento e integração dos dados

Nessa etapa foi feita a análise e integração dos dados disponíveis, para isso, foram construídas tabelas em planilhas no programa Excel 360, correspondente aos indicadores selecionados e suas respectivas dimensões (Apêndice A). Os dados

tabelados foram organizados em linhas e colunas de maneira compatível com os atributos alfanuméricos do sistema de informação geográfica – SIG. Este foi estruturado por meio da indexação das tabelas construídas a partir dos indicadores na base cartográfica dos municípios.

Dessa maneira, foi composto um banco de dados, necessário para geração da informação geográfica para diagnóstico e tomada de decisão sobre os recursos hídricos da bacia estudada. Para isso foram utilizados computadores do laboratório de Geoprocessamento e Cartografia DGE/FAFIC/UERN, e por meio do software Qgis 3.38 - *Grenoble*, foi construído o banco de dados geográfico para produção das informações em forma de mapas.

Um sistema de informação geográfico (SIG) possui o objetivo de produzir informação para tomadas de decisão, essas informações são baseadas em dados que são analisados segundo sua relação espacial. Os dados geográficos, ou dados espaciais são essenciais para as políticas de desenvolvimento territorial, implementado a inteligência geográfica no processo de gerenciamento e planejamento de políticas públicas visando melhor e mais eficaz alocação de recursos, diminuição de gastos ineficientes através das melhorias das condições logísticas e aplicação, produção e divulgação de informações para sociedade, tornando o processo de gestão mais transparente.

Para isso, deve haver um suporte de dados e informações seguras acerca dos problemas. Desse modo, o sistema de informação geográfica é essencial para tomada de decisão, envolvendo os componentes espacial, que é fundamental para o planejamento e gerenciamento do território.

Peixoto *et al.* (2017) ressalta importância da ferramenta SIG, no que tange a inserção dos dados em ambiente espacial que permite a associação de dados, gerando informações relevantes para a gestão dos recursos hídricos. A ferramenta SIG tem sido utilizada na gestão dos recursos hídricos, conforme Chowdary *et al.* (2009), Jha, Chowdhury e Chowdary (2007), sendo importante na identificação de atributos locais e por isso estratégicos para maior eficácia e eficiência na tomada de decisão.

Desse modo, o SIG construído tem como objetivo o diagnóstico dos indicadores levantados e atender tanto a nível gerencial para tomada de decisão, quanto para os usuários técnicos e pesquisadores.

4.4 Etapa 4 – Produção das representações gráficas e análise dos dados

Por fim, na etapa final da pesquisa, foi realizada um diagnóstico situacional dos treze municípios que compõem a bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas por meio da interpretação dos mapas, quadros, tabelas e figuras. Através de dados disponíveis nos sites dos órgãos gestores e da análise dos relatórios técnicos e executivos da agência executiva de águas do estado da Paraíba- AESA, e dos relatórios do Sistema Nacional de informações sobre saneamento- SNIS, foram feitas e analisadas as representações gráficas.

Nessa etapa foram feitos os mapas com os principais indicadores ambientais disponíveis na área de estudo. Com base nos dados disponíveis das instituições gestores da referida bacia. Com base na tabela do Excel (apêndice 1) foi realizado o diagnóstico dos principais problemas apontados pelos dados, que estão a impactar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos da área estudada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseada nas dimensões dos indicadores da pesquisa de Magalhães Júnior (2014), adaptando aos dados disponíveis nos municípios que compõem a bacia, sendo contemplados todas as dimensões, servindo de ferramenta para o planejamento estratégico de gestão dos recursos hídricos da bacia, porém a maior parte dos indicadores e sub-indicadores disponíveis não foram contemplados, por se tratar de realidades locais diferentes da proposta indicada original.

Foram analisados na pesquisa, as seguintes dimensões: Pressão sobre os estoques e qualidade hídricas, indicadores: Densidade demográfica e índice de desenvolvimento humano municipal-IDH; Dimensão pressão relativa às demandas hídricas, Indicadores: abastecimento urbano e captação de água para irrigação; Dimensão pressão relativa à poluição, indicadores: demanda bioquímica de oxigênio-DBO/ ton/dia, fósforo- (P) total; Dimensão coleta, tratamento e disposição de efluentes líquidos e sólidos, indicadores: volume de esgotos coletados e tratados; dimensão qualidade dos estoques hídricos, indicadores: total de doenças diarreicas aguda de transmissão pela água e índice de doenças diarreicas aguda- DDA/pop; Dimensão gestão das águas, indicadores: outorgas pelo uso da água e participação dos municípios no comitê da bacia hidrográfica.

5.1 Pressão sobre os estoques e a qualidade hídrica

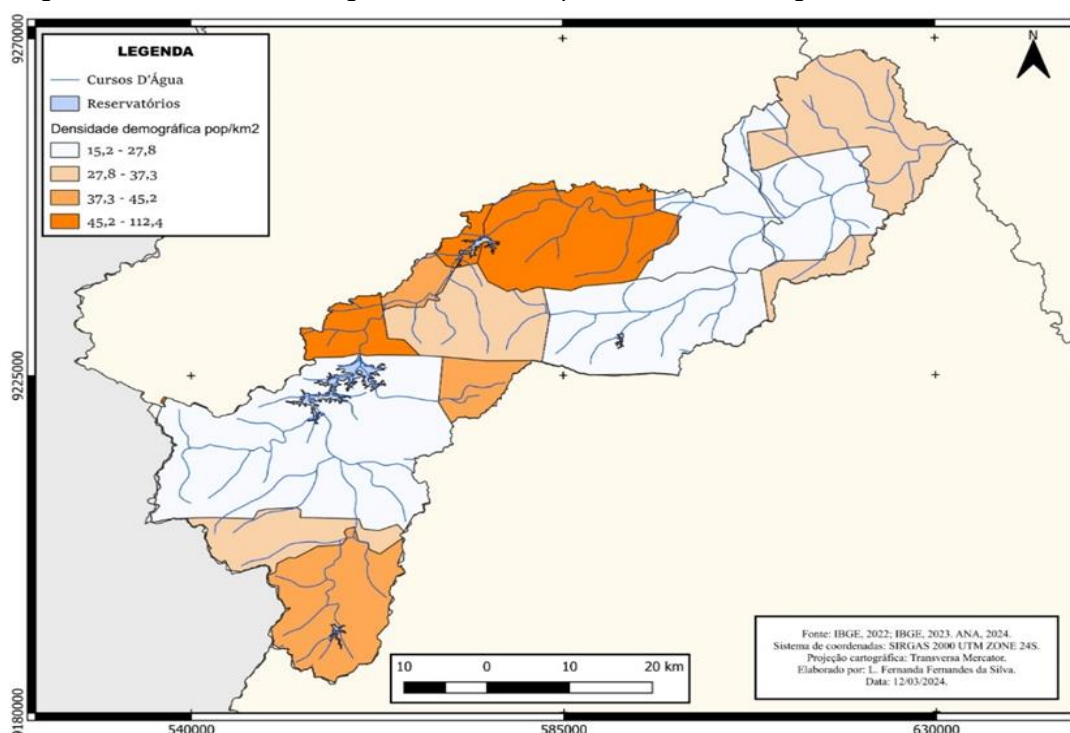
Uma condição natural característica da região da bacia é a irregularidade das chuvas que produz secas prolongadas, tendo a escassez hídrica como efeito imediato, que tem sido agravada pela poluição da água por tratamento insuficiente de esgoto e uso de fertilizantes agrícolas. Além disso, possui área escassamente povoada, onde a maioria dos municípios possuem menos de 10.000 habitantes, e vocação agrícola, onde a demanda de água excede a oferta (OECD, 2017).

Os indicadores de pressão antrópica não demonstram, geralmente, a vulnerabilidade ou a sensibilidade dos meios aquáticos. Esses aspectos são relacionados à capacidade de suporte dos sistemas hídricos, o que condiciona a intensidade de cada impacto (Magalhães, 2014). Desse modo, foram selecionados os seguintes indicadores de pressão antrópica que mais impactam na quantidade e qualidade dos recursos hídricos da bacia do alto piranhas: densidade demográfica e

índice de desenvolvimento urbano municipal-IDH-M (conforme tabelas do apêndice 1).

Os municípios de Sousa, Cajazeiras e Pombal são os que mais exercem pressão nos recursos hídricos na bacia hidrográfica, pois esses municípios, segundo o IBGE (2022), são os mais populosos da macrorregião do sertão paraibano, tendo na agricultura irrigada a sua base econômica. O indicador da densidade demográfica está relacionado aos impactos das atividades antrópicas (Figura 07). Com base nos dados do IBGE (2010, 2022), os municípios com maior crescimento populacional na última década foram: Cajazeiras 8%, Pombal 5% e Sousa 2%, percebe-se também grandes disparidades populacionais na densidade demográfica entre os municípios da área de estudo.

Figura 7 - Densidade Demográfica dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.



Fonte: Autor, 2025.

As áreas densamente povoadas resultam em impactos sociais, ambientais e econômicos, especialmente com maiores riscos de degradação ambiental. (Santos *et al.*, 2018). O crescimento urbano no território da bacia tem contribuído significativamente para uma maior utilização de recursos hídricos nos municípios com maiores densidades demográficas. Conforme apresentado na tabela 01, verifica-se o espalhamento do adensamento populacional nos municípios que compreendem os principais mananciais de água como o açude Engenheiro Ávidos no município de

Cajazeiras e o açude São Gonçalo no município de Sousa, além do município de Marizópolis, que possui muitas áreas irrigadas.

Tabela 1 - Indicadores para o diagnóstico da bacia hidrográfica do alto curso do rio piranhas

MUNICÍPIOS	TOTAL DE HABITANTES	INDICADORES DE DENSIDADE DE POPULACIONAL (HAB/KM²)	SUBINDICADOR (IDH-M)	ÍNDICE DE ATENDIMENTO TOTAL DE ÁGUA (%)	PERDAS DE ÁGUA - PERDAS LINEARES M³/DIA /KM	PERDAS DE ÁGUA - PERDAS LIGAÇÃO L/LIG/DIA	ÁREAS IRRIGADAS (l/s) 2022	ÁREAS IRRIGADAS (l/s) - PROJEÇÃO DA DEMANDA 2032	ÍNDICE DE DOENÇAS DIARRÉICAS AGUDAS DDA/POP	Volume de água tratada em ETAS	NÚMERO DE OUTORGAS
Aparecida	7.960	27,31	0,578	61,46	18,37	215,21	1.041,85	1744,49	0,048869347	334,22	26
Cajazeiras	63.239	112,38	0,679	100	13,94	186,09	404,29	671,34	0,010373346	4137,8	15
Pombal	32.473	36,32	0,634	100	30,91	227,47	1.434,50	2020,7	0,048902165	2380,8	17
São Domingos	2.595	15,23	0,548	0,00	0,05	0,47	14,24	19,9	0,048554913	0,00	13
Sousa	67.259	92,33	0,668	0,00	0,00	0,00	4.761,11	6994,9	0,036024919	0,00	189
São José L. Tapada	7.126	21,35	0,530	45,47	15,25	190,53	163,62	228,58	0,000982318	202,28	27
São José de Piranhas	19.067	27,76	0,591	79,59	28,28	187,69	96,49	134,81	0,003199245	113,05	18

Marizópolis	6.705	95,85	0,608	98,46	58,32	552,74	215,77	355,94	0,001491424	5688,24	16
Nazareinho	7.203	37,28	0,562	64,94	15,1	209,64	498,45	696,35	0,006802721	286,82	89
Carrapateira	2.312	39,14	0,603	86,48	11,36	153,18	45,50	63,57	0,051038062	100,91	00
Monte Horebe	4.338	37,12	0,587	70,89	10,47	139,35	0,00	0,00	0,018672199	157,46	07
Bonito de Santa Fé	10.252	45,2	0,574	69,03	9,17	120,88	309,94	433,00	0,020678892	353,11	16
São João do R. do Peixe	17.964	37,72	0,608	55,62	15,65	248,24	815,55	1181,84	0,038354487	663,65	13

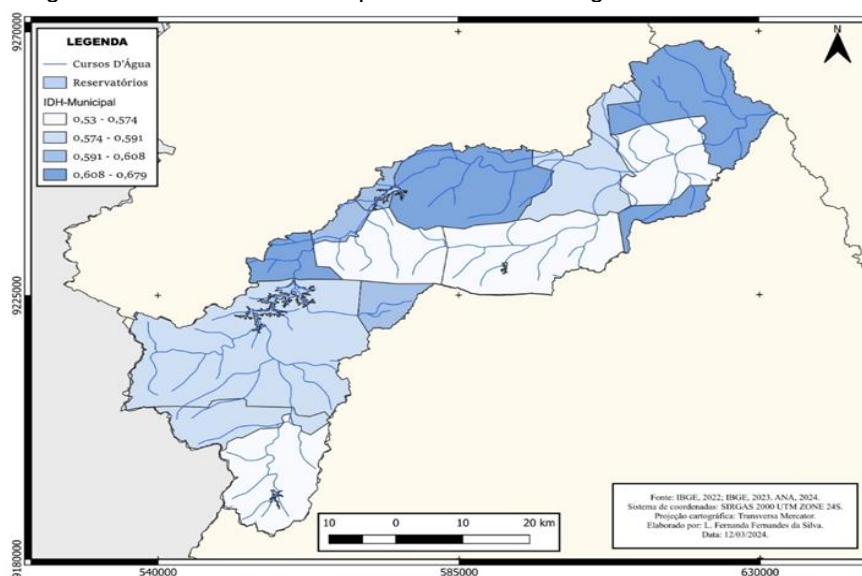
Fonte: Autor, 2025.

A agropecuária é a principal atividade econômica do território da bacia, e com a construção dos açudes Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, propiciaram o estímulo à criação de um centro de irrigação nos municípios de Sousa, Marizópolis e Aparecida. Logo, dentre os usos, a agricultura irrigada, é a atividade econômica que responde pela maior demanda hídrica total, nesse contexto, a unidade de planejamento hidrológico, UPH do alto Piranhas, destaca-se pela presença dos perímetros irrigados das várzeas de Sousa e do perímetro irrigado de São Gonçalo (ANA, 2016).

No município de Sousa, a irrigação do projeto do perímetro irrigado várzeas de Sousa (PIVAS), possui uma área total em torno de 5000 ha de terras irrigáveis e 1200 ha de reserva legal. Sua fonte hídrica é conduzida por canal aberto de 37 km até uma barragem de compensação, onde é bombeada para uma de distribuição, sendo distribuída por diferença de nível aos lotes empresariais e dos pequenos irrigantes, estas áreas irrigadas contribuem para o desenvolvimento da região, principalmente para os municípios de Sousa e Aparecida, gerando renda e oportunidades de emprego, demonstrando a importância dos recursos hídricos para uma região árida.

A presença de um perímetro irrigado em uma região impacta diretamente em diversos indicadores sociais, ambientais e econômicos. Isso decorre, porque a água permite o desenvolvimento de atividades agropecuárias, industriais, recreativas e consumo humano. (Barros e Amim, 2008). Com essas atividades econômicas irrigadas, especialmente na produção de coco e banana que gerou aumento das oportunidades de trabalho e consequentemente aumento da renda per capita, vivenciado nos municípios de Sousa, Cajazeiras e Pombal, ocorreu um maior crescimento populacional e aumento da renda nestes municípios, conforme o IDH-M (figura 08), não se observando nos outros 10 municípios.

Figura 8 - IDH-M dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas



Fonte: Autor, 2025.

O IDH-M é aplicado em diferentes contextos, como a simples caracterização do desenvolvimento, mas também fornece informações importantes que podem constituir diagnósticos, subsidiar a aplicações de recursos públicos e orientar ações políticas. (Holanda *et al.*, 2024). Com base na tabela 01, observa-se que os municípios de Cajazeiras, Sousa e Pombal tem os maiores índices de desenvolvimento humano municipal- IDH-M, dentre os municípios do território da bacia hidrográfica, enquanto os municípios de São José da Lagoa Tapada e São Domingos tem os menores percentuais do IDH-M.

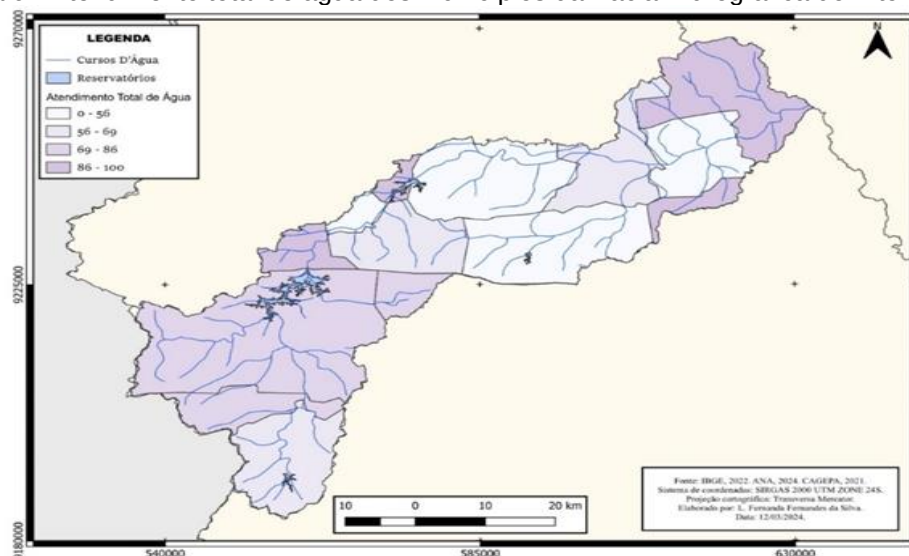
Verifica-se, portanto, que o IDH-M um sub indicador (Tabela 01) dos municípios da Bacia Hidrográfica encontram-se bastante desiguais, onde apenas os municípios de Cajazeiras, Sousa, Pombal, Marizópolis e São João do Rio do Peixe, estão com valores superiores a 0,6. Porém o IDH não é capaz de medir a qualidade ambiental de uma bacia, pois a elevação do desenvolvimento humano não implica, melhorias de condições ambientais já que pode trazer aumento do consumo e do desperdício de recursos naturais. O crescimento populacional e as atividades econômicas representam fatores de pressão sobre a demanda de água e sua qualidade (Branchi, 2022).

5.2 Pressão relativa à demanda hídrica

Por ser considerada um recurso essencial à vida, porém limitada, a água, possui potencial, por seus múltiplos usos, que exige necessidade de mecanismos que conduzam a uma utilização eficiente e racional deste bem (Sousa *et al.*, 2015). Apesar da água ser considerada um recurso renovável, a degradação ambiental, principalmente os ecossistemas aquáticos, têm reduzido a capacidade de resiliência da água. Sendo necessária a utilização racional dos recursos hídricos, de forma tal que os mecanismos de gestão possibilitem à sustentabilidade (Assis *et al.*, 2017).

Segundo a ANA (2019), as dimensões de pressão exercidas pela necessidade de abastecimento de água das cidades, e atividades econômicas servem para quantificar o nível de atendimento, e riscos associados, das demandas efetivas (abastecimento humano e setor produtivo).

Figura 9 - Atendimento total de água dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas



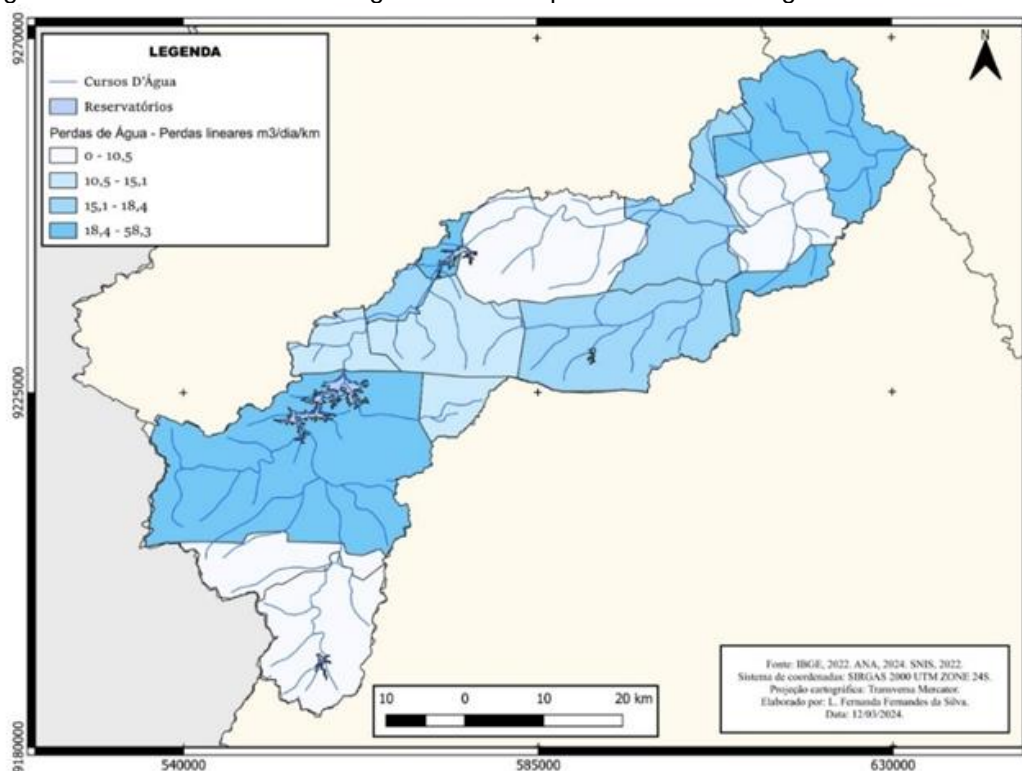
Fonte: Autor, 2025.

No mapa da figura 09, verifica-se que os municípios com maior oferta de atendimento de água são Cajazeiras, população total de 63.239 (IBGE, 2022) e Pombal com população de 32.473 (IBGE, 2022), possuindo 100% de atendimento de água, além do município de Marizópolis, com população total de 6.705 pessoas (IBGE, 2022) 98% de atendimento. Já os que apresentam os menores percentuais de cobertura são os municípios de São José da Lagoa Tapada, cuja população total é de 7.270 pessoas (IBGE, 2022), apresenta 45% e São João do Rio do Peixe, cuja população total é de 18.468 pessoas (IBGE, 2022), com 50%, são os municípios com menor oferta de água tratada da bacia.

Na tabela 01, verifica-se que os municípios de Sousa e São Domingos, estão com os percentuais zerados, isso, no entanto, não significa falta de atendimento total de abastecimento de água, pois estes municípios municipalizaram o atendimento de água e esgotos e se encontram no SNIS inadimplentes, por isso não são disponibilizados os seus respectivos dados.

Com base no mapa da figura 10 sobre perdas lineares de água, verifica-se que o município de Pombal tem a maior perda de água. Volume acima de 30% da água são desperdiçados neste município, enquanto o município de São Domingos, verifica-se menos de 10% do volume de água desperdiçado.

Figura 10 - Perdas lineares de água dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas



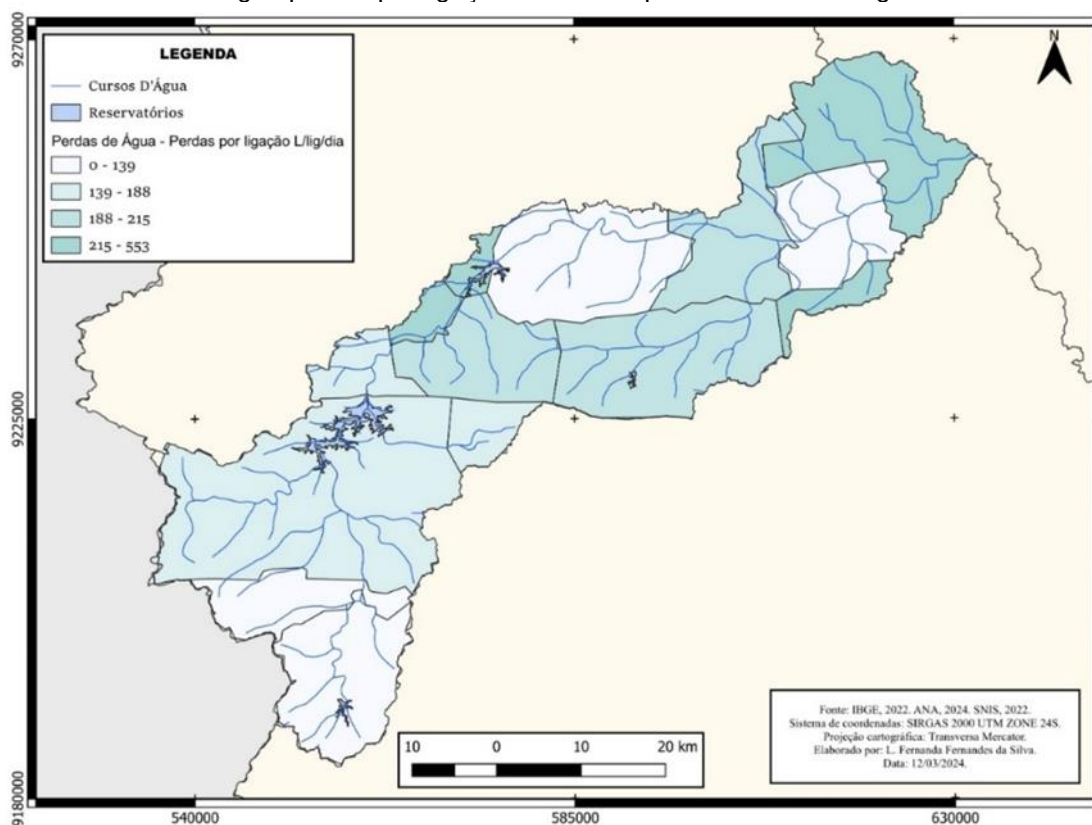
Fonte: Autor, 2025.

A *International Water Association* (IWA) classifica as perdas entre reais e aparentes, em que as perdas reais são perdas físicas de água – aquilo que foi distribuído pela prestadora de serviços, mas não chegou aos consumidores, ou seja, foi desperdiçado -, e as perdas aparentes são perdas comerciais – aquelas que chegaram aos consumidores, mas não foram autorizadas nem faturadas (Alegre et al., 2000; ABES, 2013).

Em relação às perdas, destaque-se que os indicadores calculados pelo SNIS não diferem o valor das perdas reais e aparentes, ou seja, não se pode afirmar que os valores divulgados se caracterizam como desperdício de água, necessariamente (Carvalho, 2024).

Conforme a figura 11, os municípios de Marizópolis, população de 6.705 habitantes (IBGE, 2022), São João do Rio do Peixe, população de 17.964 habitantes (IBGE, 2022), e o município de Pombal, população de 32.473 (IBGE, 2022) registra-se as maiores perdas de água.

Figura 11 - Perdas de água/perdas por ligação dos Municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas



Fonte: Autor, 2025.

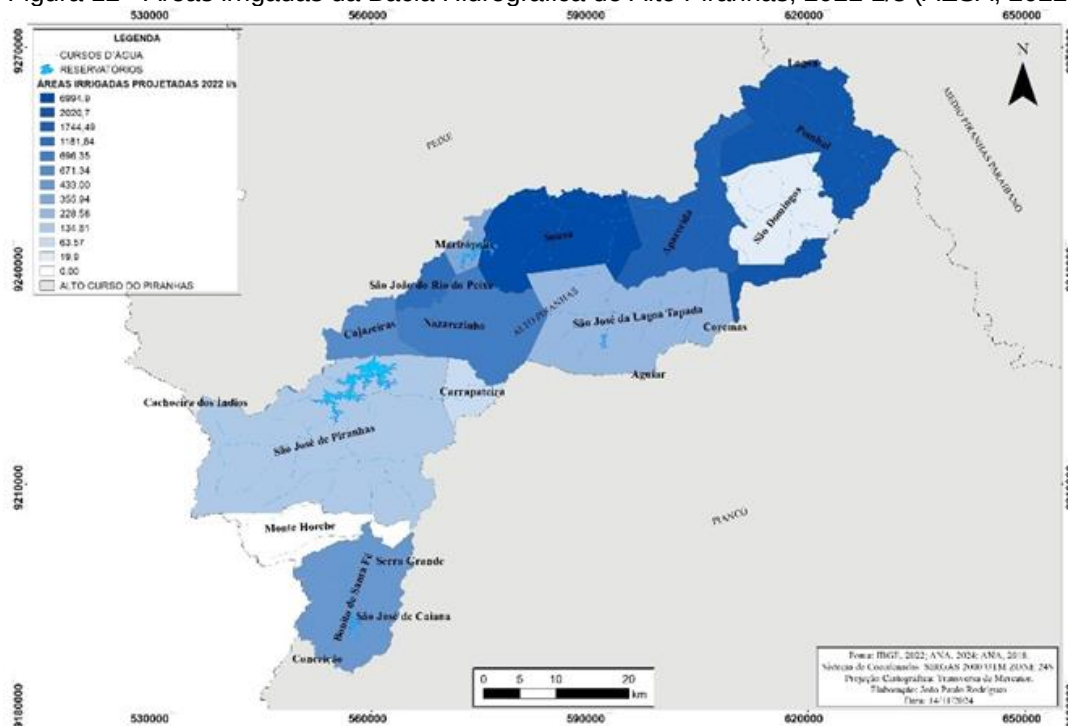
O indicador perdas de água/perdas por ligação l/lig/dia (Tabela 05) é possível avaliar o nível de água não consumida em um sistema de distribuição em termos percentuais, esse indicador fornece uma aproximação útil para a análise do impacto das perdas na distribuição (física e aparente), em relação ao volume produzido. Segundo Manzi (2020) definem que o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) é a fonte de informações para perdas nos sistemas de abastecimento de água, destacando-se os seguintes indicadores: índice de perdas na

distribuição (%), índice bruto de perdas lineares (m^3/km por dia) e índice de perdas por ligação (litros/ligação por dia).

O uso da água em agricultura irrigada tem ocorrido desde a pequena propriedade agrícola, com alguns poucos hectares, até a propriedade agrícola empresarial, com áreas superiores a 100 ha. Em áreas para produção agrícola de maior extensão, principalmente as inseridas nos perímetros irrigados tem causado, a partir do final da década de 1960, grandes mudanças no uso da terra, as áreas com culturas irrigadas estão expandindo rapidamente sobre a vegetação natural e o consumo hídrico das culturas é elevado, devido a uma grande disponibilidade térmica ao longo do ano (Basso *et.al.*, 2010).

Os municípios de Sousa e Pombal são os de maiores demanda hídrica irrigada, conforme figura 12. No município de Sousa são encontradas algumas indústrias de laticínios que utilizam das frutas produzidas nas várzeas do município e do perímetro irrigado do açude de São Gonçalo, sendo a atividade industrial voltada para o estado da Paraíba e Rio Grande do Norte, e a produção de frutas, banana e coco baia, para a comercialização em toda a região nordeste e exportação (AESA, 2024).

Figura 12 - Áreas irrigadas da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, 2022 L/s (AESA, 2022)



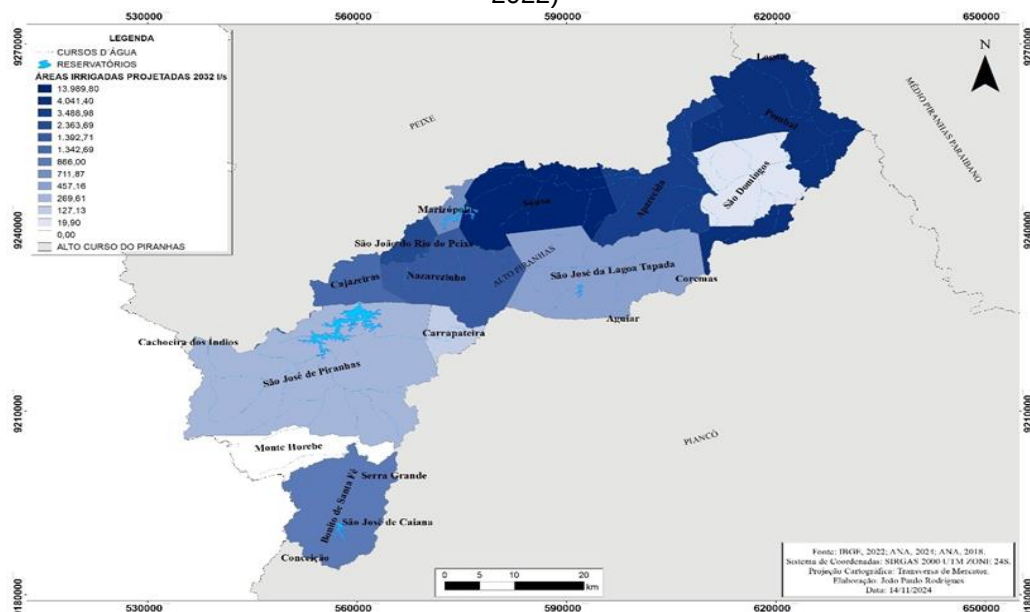
Fonte: Autor, 2025.

O desperdício de água na irrigação, além de aumentar os custos de produção, acarreta custos ambientais pelo comprometimento da disponibilidade e da qualidade da água. Essa situação tem levado muitos projetos de irrigação a uma condição de baixa sustentabilidade econômica e socioambiental (Oster; Wichelns, 2003, Cullen, 2004; Oliveira *et al.*, 2006). Com isso, para aumentar a eficiência do uso de água, além de sistemas de irrigação mais eficientes se faz necessário investir em novas tecnologias poupadoras de água, como aquelas relacionadas ao manejo racional de água, à redução das perdas de água por evaporação e à irrigação com deficit hídrico controlado. A adoção de tais tecnologias geralmente permite, segundo Lima *et al.* (1999) Kongyan (2005) e, reduzir o gasto de água entre 10% e 50%, inclusive com incremento de produtividade.

No cenário futuro, a tendência é de aumento da demanda dos recursos hídricos para a irrigação, conforme a figura 13, sendo os municípios de Pombal e principalmente Sousa, dois dos três maiores em população da bacia do alto piranhas, que irão continuar com a maior demanda hídrica irrigada (AESAs, 2022).

Segundo a AESA, em 2022 a demanda de água para a irrigação era de 3.972,83 l/s, sendo que a projeção dessa demanda para 2032 é de 5.892,51 l/s, um aumento de 69%, de acordo com a área planejada para irrigação.

Figura 13 - Áreas irrigadas projetadas para a Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, 2032 L/s (AESAs, 2022)



Fonte: Autor, 2025.

O maior desafio na agricultura irrigada, no semiárido brasileiro, consiste em garantir outorgas de água compatíveis com as demandas de solos potencialmente aptos à irrigação de forma a compatibilizar a segurança de oferta hídrica à produção de alimentos reduzindo as perdas de água nos sistemas de irrigação, seja na sua condução e distribuição hídrica ou na aplicação da água nos cultivos (Silva *et al.*, 2015).

Os municípios de Sousa e Pombal, segundo projeções da AESA, em 2032 terão um aumento expressivo de áreas irrigadas, conforme tabela 07, e os municípios de Monte Horebe e São Domingos os de menor área irrigada projetada.

A crescente demanda hídrica como resultado do crescimento econômico e das mudanças nas preferências dos usuários, aliado à alocação inadequada de recursos e serviços hídricos e à crescente demanda por água pela indústria, agricultura e famílias, correm o risco de tornar as sociedades mais instáveis e propensas a tensões e conflitos (WWAP, 2015).

Os principais sistemas de irrigação utilizados pelos pequenos irrigantes da bacia são a microaspersão e gotejamento e aspersão de pequeno a médio porte, as empresas de laticínios instaladas principalmente no município de Sousa, utilizam a irrigação por aspersão e pivôs centrais. Uma limitação na gestão hídrica do semiárido está ligado aos irrigantes, utilizados nos projetos públicos, que não são eficientes com relação ao consumo de água como por exemplo métodos de aspersão ou por sulcos se comparados com alternativas existente no mercado como o gotejamento (Castro, 2018).

5.3 Pressão relativa à poluição

Os indicadores relativos ao tratamento de esgotos devem focar o desempenho do tratamento em termos de conformidade com os parâmetros de qualidade dos efluentes após (percentual de poluição eliminado). Esse aspecto é mais importante do que o monitoramento dos volumes de esgotos produzidos e tratados (Magalhães, 2014).

Assim, a partir da dimensão pressão relativa à poluição, diagnosticada através dos indicadores ambientais fósforo total e DBO/tonelada, foi possível verificar a contaminação dos principais reservatórios que estão inseridos na sub bacia do alto piranhas, (figura 14 e 15).

No mapa da figura 14, a quantidade de fósforo total, é um dos principais parâmetros utilizados na determinação de graus tróficos por contaminações, oriundos de efluentes domésticos. Assim, considerando que o esgoto doméstico lançado sem tratamento nos reservatórios da bacia hidrográfica é um dos vários fatores responsáveis pela poluição das águas, o município de Cajazeiras, localizado próximo ao maior reservatório da bacia hidrográfica, o açude engenheiros ávidos, trata apenas 15,76% de seus esgotos, outro fator que agrava a poluição é o fato que na maior parte dos municípios não existem estações de tratamento de esgoto.

A presença em excesso de fósforo nos corpos hídricos, devido ao descarte de efluentes sanitários não tratados ou tratados de maneira insatisfatória, causam sérios danos ambientais, segundo as resoluções da CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, parâmetros de qualidade de água que definem os parâmetros de qualidade para efluentes lançados em corpos d'água, conforme tabela 01.

Tabela 2 – Parâmetros de qualidade de água (CONAMA, 2011)

Classe	Coliformes termotolerantes (NMP/100m²) ≤	DBO (mg/l) ≤	Fósforo total ambiente lótico (mg/l) ≤	Fósforo total ambiente lântico (mg/l) ≤
1	200	3	0,10	0,02
2	1.000	5	0,10	0,03
3	4.000	10	0,15	0,05
4	-	-	-	-

Fonte: Resolução CONAMA nº 357/2009.

O excesso de fósforo nas águas, causam a eutrofização, esse processo ocorre quando há uma elevada concentração de nutrientes, como o fósforo (P), em corpos de água, sendo que seus maiores causadores são as descargas de esgotos domésticos e industriais não tratados em reservatórios e rios. Dentre as consequências do processo de eutrofização, encontra-se o surgimento de sabor e odor na água, além da possibilidade de inviabilização de seu uso por conta da presença de cianobactérias.

A evolução da eutrofização gera uma gama variada de modificações ambientais, que se inicia pela diminuição da qualidade da água, determinando alterações significativas na estrutura das comunidades aquáticas, onde normalmente

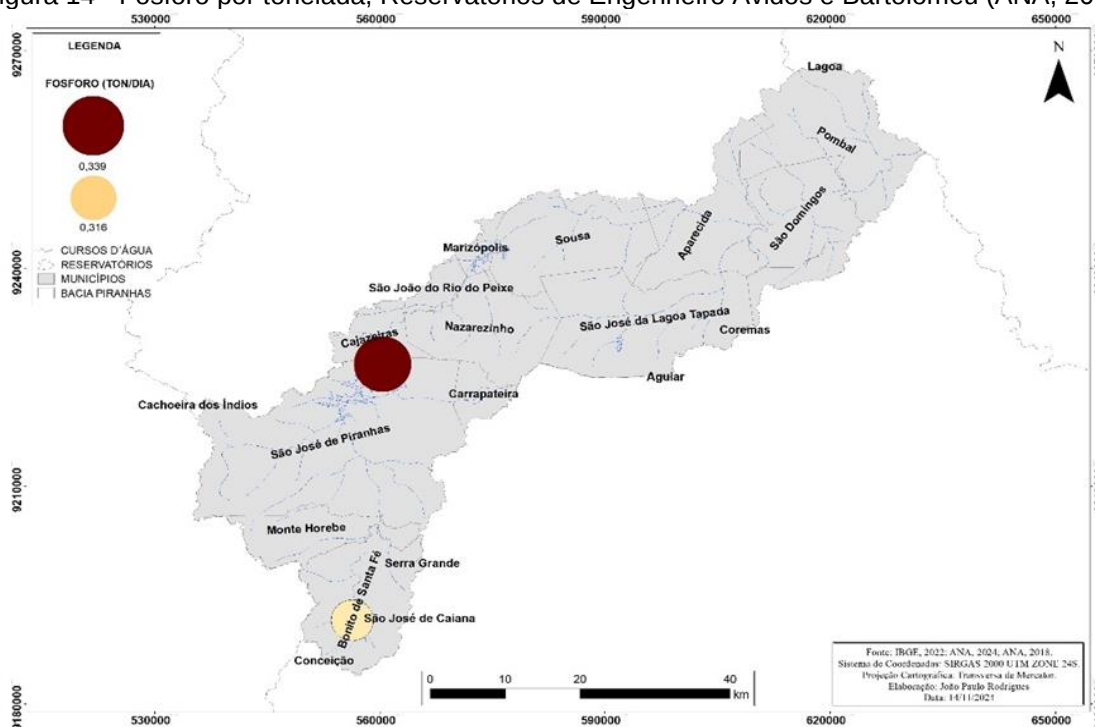
se observa uma redução brusca na sua biodiversidade e a dominância do ambiente por organismos adaptados a ambientes inóspitos (Wetzel, 2001).

O processo de eutrofização ocorre em rios, embora seja menos frequente, devido às condições ambientais serem mais desfavoráveis para o crescimento de algas e outras plantas, como turbidez e velocidades elevadas. As condições climáticas ambientais e a poluição hídrica podem levar ao processo de eutrofização (Moal *et al.*, 2019). Em um sistema eutrofizado é comum o surgimento de plantas e microalgas oportunistas, organismos adaptados a ambientes em estresse ambientais. (Mendonça, 2023).

Segundo a AESA (2023), o reservatório de Engenheiro Ávidos, maior reservatório da bacia do alto piranhas, localizado no município de Cajazeiras, o parâmetro fósforo total, apresentou valor mínimo e máximo igual a 0,001 e 0,0023 mg L⁻¹, respectivamente, que estão abaixo do limite para classe 2. O limite máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 357 para rios de classe 2, que é de 0,1 mg P L⁻¹; a pouca presença de fósforo total verificada indica um adequado manejo do solo nas lavouras e pastagens, os valores encontrados para o parâmetro fósforo total se aproximam dos valores estimados pela Embrapa (1999) para águas naturais que não foram submetidas a processos de poluição, onde se indica que a quantidade de fósforo total varia de 0,005 a 0,020 mg L⁻¹.

Uma das alternativas viáveis para redução do fósforo nos principais reservatórios da bacia do alto piranhas seria a implantação de medidas mais técnicas e efetivas, como a construção de estações de tratamento de esgotos em todos os municípios (ANA, 2018).

Figura 14 - Fósforo por tonelada, Reservatórios de Engenheiro Ávidos e Bartolomeu (ANA, 2018)



Fonte: Autor, 2025.

A demanda bioquímica de oxigênio-DBO é um importante sinalizador dos riscos potenciais de deterioração da qualidade da água e da eutrofização, havendo um aumento significativo de nutrientes na água (como os componentes orgânicos), o que provoca um decréscimo da quantidade de oxigênio dissolvido em função do seu consumo no processo de decomposição bioquímica da matéria orgânica. Elevados valores de DBO indicam a presença de esgotos (Magalhães, 2014).

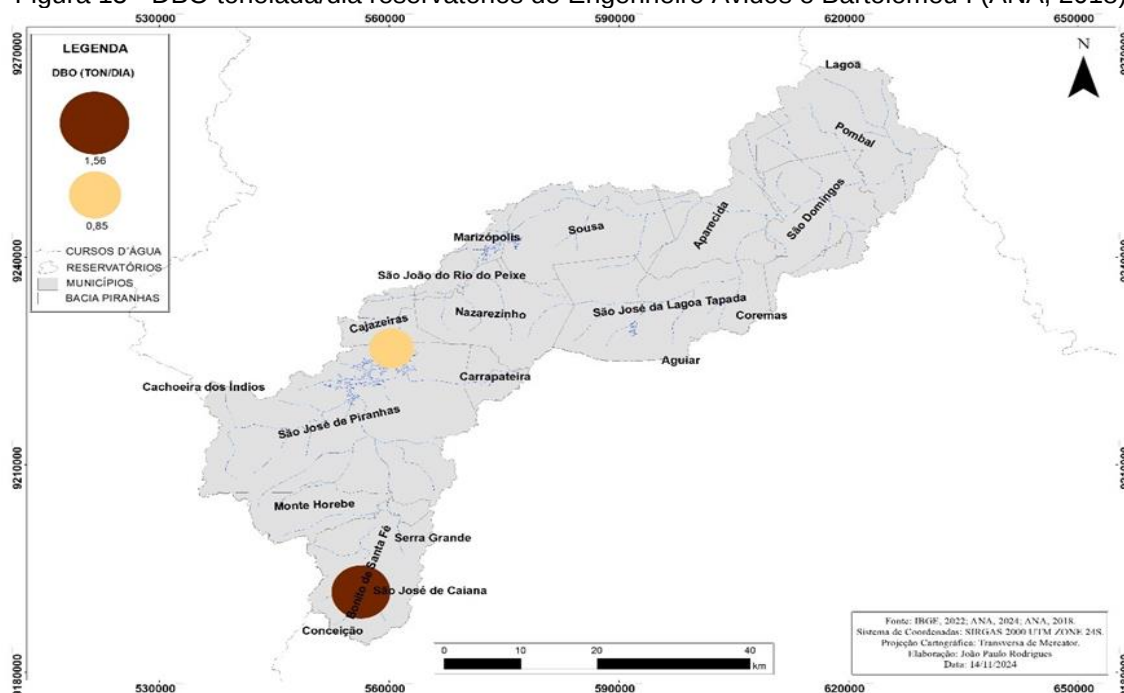
Com base no mapa que retrata os valores de DBO para os reservatórios de Engenheiros Ávidos, localizado no município de Cajazeiras, Bartolomeu I localizado no município de Bonito de Santa Fé (figura 15), além dos municípios de Monte Horebe e São José de Piranhas, que estão a montante desses reservatórios nas cabeceiras do rio Piranhas, comprometem a qualidade da água, pois estes municípios não possuem estações de tratamento de esgotos, o que compromete a qualidade da água.

A aplicação do indicador DBO identificou com bases nos dados disponíveis que o município de São José de Piranhas, com 213 toneladas/dia de DBO (apêndice I), localizado nas cabeceiras do rio Piranhas, tem o maior potencial de poluição das águas.

A falta de informações atualizadas, além da fragilidade da fiscalização, formam um conjunto de fatores favoráveis para o aumento do processo de contaminação. A

diferença da quantidade de DBO, nos reservatórios de Engenheiros Ávidos e Bartolomeu I, está relacionada aos despejos de origem predominantemente orgânica, devido o açude Engenheiro Ávidos está inserido no território do município de Cajazeiras, o segundo município mais populoso da bacia hidrográfica, que trata menos de 20% dos seus efluentes, recebendo toda a carga de efluentes, enquanto o açude Bartolomeu I localizado no município de Bonito de Santa Fé, recebe pouca carga de efluentes, devido ser uma região com pouca densidade demográfica, cujos municípios são os menores do estado da Paraíba em população.

Figura 15 - DBO toneladas/dia reservatórios de Engenheiro Ávidos e Bartolomeu I (ANA, 2018)



Segundo a resolução da ANA nº 903/2013, que criou a rede nacional de monitoramento de qualidade das águas (RNQA), compete aos estados em parceria com a ANA, realizarem o monitoramento de qualidade da água, no estado da Paraíba, a SUDEMA é responsável por fazer a análise das amostras de água dos principais reservatórios. A frequência de duas vezes ao ano em média das coletas para análise de qualidade da água feitas nos açudes Bartolomeu I e Engenheiro Ávidos, deixa lacunas no monitoramento qualitativos desses mananciais (ANA, 2018).

A falta de monitoramento e a lacuna de dados, dificulta a avaliação da qualidade dos resíduos líquidos antes de seu lançamento nos corpos d'água, dificultando o diagnóstico da eutrofização dos reservatórios da bacia hidrográfica. O

monitoramento é, portanto, um dos pilares do processo de gerenciamento, assegurando o acompanhamento das pressões antrópica, do estado da água, possibilitando com isso, que o gestor possa tomar decisões.

5.4 Coleta e tratamento de efluentes líquidos e sólidos

De acordo com o art. 3º, I, da Lei nº 11.445/2007, modificada pela Lei nº 14.026/2020, saneamento básico correspondente a um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2020). O saneamento básico é um dos indicativos de desenvolvimento de cidades e regiões e age como um instrumento de controle dos impactos decorrentes da ação humana, visando à promoção da saúde, à diminuição do contato da população com os resíduos gerados e ao controle dos efeitos nocivos ao bem estar (Miranda, 2022).

O novo marco do saneamento básico, tem como princípios fundamentais a prestação dos serviços públicos de saneamento, que visem à melhoria da qualidade de vida da população (Brasil, 2020). Segundo a lei nº 11.445/2007, todos os municípios devem formular as suas políticas públicas visando à universalização de coleta e tratamento de esgotos, sendo os planos municipais de saneamento básico (PMSB) o instrumento de definição de estratégias e diretrizes.

Segundo o artigo 19, os planos de saneamento básico deverão ser compatíveis com os planos das bacias hidrográficas em que estiverem inseridos. Apenas os municípios de Cajazeiras e Aparecida, de um total de treze municípios analisados possuem estações de tratamento e coleta de esgotos, sendo tratado 100% do volume coletado, desses dois municípios. Os municípios de Pombal, São Domingos, Sousa, São José da Lagoa Tapada, São José de Piranhas, Marizópolis, Nazarezinho, Carrapateira, Monte Horebe, Bonito de Santa Fé e São João do Rio do Peixe, não coletam e não tratam seus efluentes, conforme dados do SNIS, apêndice I.

Conforme o Art. 8º, exercem a titularidade dos serviços públicos de saneamento básico: I- Os municípios e o Distrito Federal, no caso de interesse local; II- O estado, em conjunto com os municípios que compartilham efetivamente instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações

urbanas e microrregiões, instituídas por lei complementar estadual, no caso de interesses comum (Brasil, 2020).

Conforme a Lei nº 11.445/2007, os municípios são titulares dos serviços de saneamento básico. Lançamentos de resíduos sólidos urbanos e de esgoto sem tratamento nos corpos de água; assim como as mudanças climáticas que causam enchentes, cada vez mais frequentes, que anualmente causam sérios prejuízos, e escassez hídrica. São os gestores municipais, os responsáveis pela tomada de decisão que impactam fortemente os recursos hídricos (Neves, 2012).

É fundamental a participação dos Municípios nas decisões sobre a utilização dos recursos hídricos e outros temas relacionados com o planejamento das bacias hidrográficas. Na área de estudo, o reflexo dessa falta de integração é a situação da bacia em relação ao esgotamento sanitário, é bastante crítica. Apenas 29% dos municípios que compõem a bacia possuem cobertura de tratamento dos efluentes produzidos, ou seja, 2 municípios, Cajazeiras e Aparecida. O processo de tratamento predominante é o de lagoas de estabilização, as estações de tratamento de esgoto, quando existentes, possuem eficiência muito baixas na remoção do Fósforo, há também a ocorrência de práticas agrícolas nas áreas no entorno dos reservatórios, o que agrava a poluição das águas (ANA, 2018).

Na área de estudo, existem vários tipos de carga contaminante, em geral de média a baixa intensidade correspondendo a rejeitos sólidos e líquidos das indústrias, dos postos de combustíveis, dos lixões sobre camadas sedimentares, dos esgotos e fossas, dos cemitérios, e dos defensivos agrícolas utilizados nos diversos projetos de irrigação existentes na área, sendo os principais contaminantes envolvidos em áreas sem esgotamento sanitário adequado, os nutrientes e sais (nitrato e cloro) as bactérias patogênicas e os compostos orgânicos solúveis (ANA, 2018).

Segundo a AESA (2023), o estado da Paraíba, apresenta um atendimento total de abastecimento de 82,98%, e um índice de atendimento total da coleta de esgoto de 38,21%. Nos treze municípios analisados da bacia do alto piranhas, verificou-se um completo descaso com o saneamento básico, sendo possível apenas os dados de coleta e tratamento de esgoto dos municípios de Aparecida e Cajazeiras, sendo o volume de esgotos coletados e tratados no município de Aparecida de 550,00 e no município de Cajazeiras de 347,17, conforme dados do SNIS, apêndice I.

O processo de descentralização na gestão pública no Brasil, a partir dos anos 90, trouxe a valorização do papel dos municípios como os responsáveis pelos serviços

de esgoto, o que fez com que muitos municípios constituíssem suas redes municipais de coleta e tratamento, foi o caso do município de Sousa. O monitoramento da coleta e tratamento dos efluentes líquidos é determinante da boa qualidade ambiental da bacia hidrográfica, o município de Sousa que é o maior em população da bacia hidrográfica, não tem ou não disponibiliza os dados de tratamento de esgotos.

Os municípios de Pombal, São Domingos, São José da Lagoa Tapada, São José de Piranhas, Marizópolis, Nazarezinho, Carrapateira, Monte Horebe, Bonito de Santa Fé e São João do Rio do Peixe, segundo dados do Sistema nacional de informações sobre saneamento – SNIS, não possuem estações de tratamento e coleta de esgotos, a carência de dados resulta em deficiência técnica dificultando com isso, o diagnóstico da área estudada.

5.5 Qualidade dos estoques hídricos

A falta de saneamento ambiental adequado é tida como uma das principais causas da poluição e da contaminação das águas para o abastecimento humano e está, portanto, contribuindo para o aumento dos casos de doenças de veiculação hídrica.

Segundo Almeida (2016), não é só a água de abastecimento é a responsável pela transmissão de doenças diarreicas agudas (DDA), mas também o esgotamento sanitário e a drenagem também são formas de disseminação dos agentes patogênicos responsáveis por esse agravo. Portanto, mesmo com a garantia de um sistema de distribuição de água satisfatório, os índices de DDA somente poderão ser reduzidos a um limiar satisfatório quando outros problemas intrínsecos as suas transmissões forem resolvidas.

Os processos de poluição hídrica geram consequências sistêmicas, a saber: econômica (desvalorização dos recursos hídricos e maior necessidade de capital financeiro para controle ambiental); social (vulnerabilidade de populações e atividades tradicionais); ambiental (alteração da sua qualidade e quantidade); de saúde pública (surgimento de vetores de doenças) e, de modo mais geral, a deterioração dos recursos (alteração ecológica) (Derísio, 2017).

As Doenças Diarreicas Agudas (DDA) são um grupo de doenças infecciosas gastrointestinais caracterizadas por diarreia aguda, ou seja, aumento do número de evacuações com fezes aquosas ou de pouca consistência. Essas doenças são

frequentemente causadas por bactérias, vírus ou parasitas e podem ser acompanhadas de outros sintomas como náusea, vômito, febre e dor abdominal (Castro *et al.*, 2019).

A portaria Ministério da saúde, nº 2.914 de 2011, define parâmetros e critérios de aceitação da qualidade da água nos seus diversos níveis, que são: após o tratamento, reservatórios e rede de distribuição, o monitoramento da qualidade da água para consumo humano deve ser realizado por dois diferentes atores, que são a vigilância em saúde ambiental e a concessionária responsável pelo abastecimento.

A quantidade mínima de amostras que devem ser coletadas para o monitoramento depende da população atendida pelo sistema de abastecimento. Enquanto a vigilância busca associar e/ou prevenir agravos que podem ser transmitidos pela água, a concessionária tem o objetivo de controlar a qualidade do seu produto ofertado (Castro *et al.*, 2019).

A norma diz que a água da rede de distribuição deve ter entre 0,5 e 5,0 mg.L⁻¹ de cloro residual livre e uma turbidez abaixo de 5 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), além de estar livre de contaminação microbiológica.

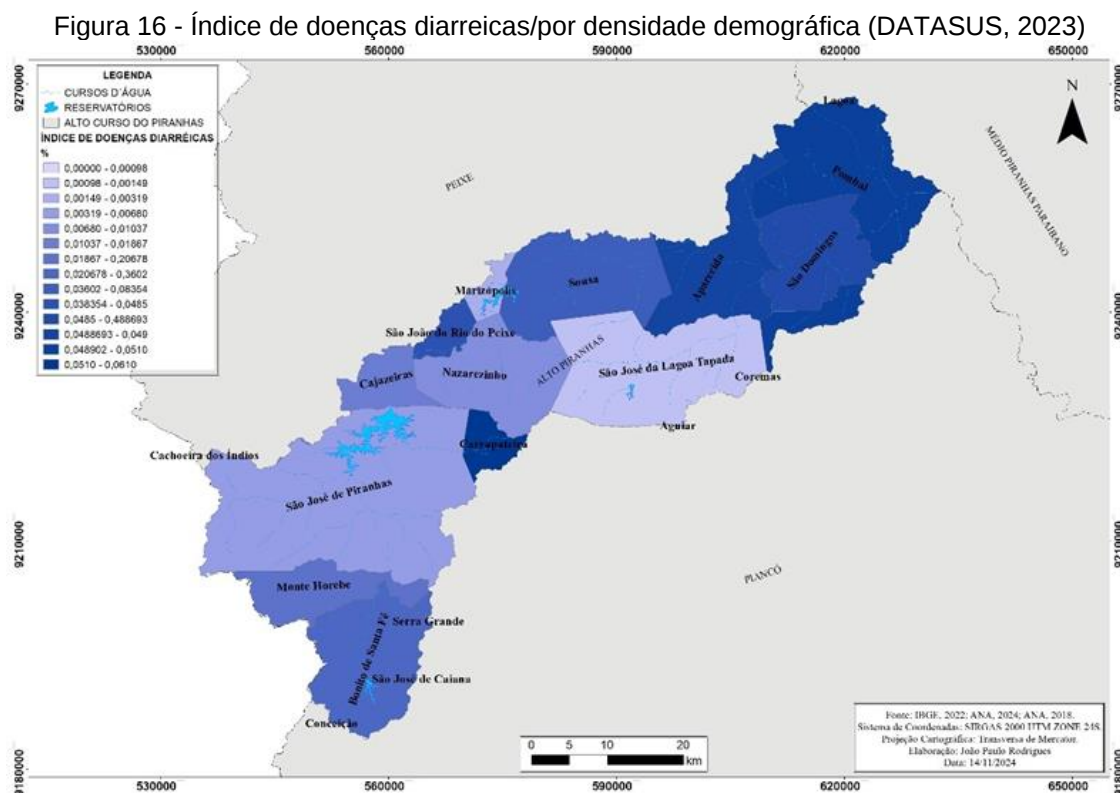
Dentre os parâmetros prioritários utilizados no monitoramento da qualidade da água, destacam-se a turbidez, o cloro residual livre e a contaminação microbiológica (Coliformes Totais e *Escherichia Coli*). Esses parâmetros podem sinalizar irregularidades no sistema de abastecimento, assim como os vazamentos nas tubulações e a intermitência do sistema podem comprometer a qualidade da água que chega à população e assim carrear agentes etiológicos causadores de doenças, sendo um dos sintomas mais comuns a diarreia aguda (Castro *et al.*, 2019).

A redução da disponibilidade hídrica associada às intervenções antrópicas resulta em problemas de qualidade da água, podendo servir de veículo para várias doenças (Alencar; Almeida, 2019).

A baixa eficácia e eficiência de serviços de saneamento básico constitui-se como o principal fator de propagação de doenças de veiculação hídrica, sendo o despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento os principais responsáveis pela contaminação da água. A contaminação da água, decorrentes da emissão de esgotos domésticos, e de atividades agropecuárias na bacia do alto piranhas, é uma questão que desperta preocupação, pois se verifica, conforme a figura 16, muitos casos de notificações de doenças de transmissão hídrica.

Segundo o DATASUS 2023, foram notificados nos treze municípios da bacia do alto piranhas, 6.409 casos de doenças diarreica aguda (DDA), onde em termos quantitativos os municípios de Sousa e Pombal registraram o maior número de casos, devido à ausência de saneamento básico adequado, decorrentes da deficiência na prestação de serviços da CAGEPA (Companhia de águas e esgotos da Paraíba).

Através dos dados do DATASUS 2023, (figura 16), verifica-se que proporcionalmente ao número de habitantes, conforme tabela 03, DDA/pop, os municípios de Pombal, Aparecida, Carrapateira e São João do Rio do Peixe, são os que tem o maior índice de doenças de transmissão hídrica, enquanto o menor índice de doenças de transmissão hídrica é encontrado no município de São José da Lagoa Tapada.



Fonte: Autor, 2025.

A análise dos indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento- SNIS, (conforme apêndice I) especificamente sobre a cobertura e a continuidade dos serviços de água e esgoto, demonstrou índices preocupantes, passíveis de trazer riscos à saúde dos usuários dos municípios avaliados. A degradação dos mananciais como a poluição das águas, pode acarretar em doenças como cólera, diarreia infecciosa, hepatites, esquistossomose, leptospirose, dengue,

entre outras, com efeitos diretos na qualidade de vida e saúde da população. (Vila, 2019).

Com base nos dados das doenças diarreicas agudas dos municípios da bacia, verifica-se que os municípios de Aparecida, Pombal e Carrapateira, localizados abaixo dos principais reservatórios, são os que tem a maior incidência de DDAs, sendo as principais causas o despejo sem tratamento de efluentes líquidos e a falta de estações de tratamento de esgotos. Melhorias na qualidade da água, no saneamento básico poderiam reduzir os casos de doenças de DDA, sobretudo em grupos etários mais vulneráveis, como crianças e idosos, além de análises de amostras de água mais regulares por parte da Companhia de águas e esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Os municípios de Cajazeiras, São José da Lagoa Tapada, Marizópolis e Nazarezinho, conforme tabela 10, tem os menores índices de Doença Diarreicas Agudas- DDA, estes municípios têm estações de tratamento de água, o que aumenta a qualidade da água fornecida à população.

5.6 Gestão dos recursos hídricos no semiárido nordestino

Segundo Setti *et al.* (2001), a gestão adequada dos recursos hídricos pode otimizar e resolver as questões de escassez relativa da água, além disso, seu uso adequado e bem direcionado deve acompanhar o desenvolvimento da sociedade.

No semiárido brasileiro, os reservatórios artificiais apresentam importância tanto de ordem social como econômica, entretanto, o processo de degradação tem comprometido seus múltiplos usos, tornando-se um entrave no âmbito da gestão ambiental (Lima *et al.*, 2017). Neste contexto, a construção dos reservatórios hídricos no semiárido brasileiro surge como sendo uma das primeiras alternativas políticas. Sendo, portanto, um dos sistemas de engenharia mais antigos implantados no semiárido (Pereira, 2017).

A bacia do alto piranhas é uma unidade de planejamento hidrológico (UPH), inserida na bacia do rio Piancó-piranhas-açu, esta bacia teve seu plano de recursos hídricos (PRH) aprovado durante a 14ª Reunião Ordinária do Comitê, em 02 de junho de 2016, com horizonte de 20 anos. A elaboração do PRH Piancó-Piranhas-Açu envolveu as etapas de diagnóstico (caracterização da área de estudo), prognóstico (avaliação de cenários e demandas), e de plano de ações e estratégia para implementação (ANA, 2016).

O Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas – Procomitês, instituído pela resolução ANA nº 1.190/2016, foi criado para promover o aprimoramento dos comitês de bacia hidrográfica dos estados e do Distrito Federal. Esses comitês integram o sistema nacional de recursos hídricos-SINGREH, e constituem o espaço de representação das comunidades das bacias hidrográficas, com prerrogativas de deliberar acerca dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos-PNRH, em consonância com os fundamentos da descentralização e da participação estabelecidos na lei nº 9.433/1997. A partir da adesão voluntária dos comitês de bacia hidrográfica, o procomitês tem como objetivo primordial contribuir para a consolidação desses colegiados como espaços efetivos de implementação da política de recursos hídricos.

Os comitês de bacias, são espaços colegiados locais de gestão das águas que visam, dentre outros aspectos, instituir normas para a proteção da qualidade das águas territoriais, buscando garantir o acesso à água e a segurança hídrica (Brasil, 1997). As funções dos comitês de bacia hidrográfica são elencadas na Lei nº 9.433/1997. Art. 38. Compete aos Comitês de Bacia Hidrográfica, no âmbito de sua área de atuação:

- I - Promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;
- II - Arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;
- III - Aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;
- IV - Acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;
- V - Propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes;
- VI - Estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;
- IX - Estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo (Brasil, 1997).

De acordo com o disposto no artigo 39 da Lei Federal nº 9.433/1997, os Comitês são formados por representantes da União, dos Estados e do Distrito Federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação, dos Municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação, dos usuários das águas e das entidades civis de recursos hídricos com atividade comprovada na bacia.

Esses comitês integram o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos - SINGREH, e constituem o espaço de representação das comunidades das bacias hidrográficas, com prerrogativas de deliberar acerca dos instrumentos da Política nacional de recursos hídricos - PNRH, em consonância com os fundamentos da descentralização e da participação estabelecidos pela lei nº 9.433/1997.

O Comitê da bacia hidrográfica (CBH) do Piancó-piranha-açu foi instituído no ano de 2006, tendo seu plano de recursos hídricos elaborado e concluído. Porém a cobrança pelo uso da água ainda não foi totalmente implementada na bacia hidrográfica.

No Estado da Paraíba, o órgão gestor dos recursos hídricos é a agência executiva de águas da Paraíba (AESA), uma autarquia criada em 2005 e vinculada à secretaria de ciências, tecnologia e meio ambiente - SECTMA. Foi instituída por lei ordinária estadual que criou uma estrutura de cargos e carreira, com 137 cargos, sendo 50 deles em comissão e 87 cargos efetivos.

A Lei nº 7.779/2005, que criou a AESA estabeleceu as fontes de receitas para o seu funcionamento que, incluem, dentre outras receitas, aquelas oriundas da cobrança pelo uso de recursos hídricos, arrecadação de multas, e cobrança pela emissão de licenças. A Lei estabeleceu como garantia que parcela não inferior a setenta por cento da receita proveniente da cobrança dos recursos hídricos será destinada à AESA, detalhando a norma as hipóteses de aplicação dessa receita.

Em relação a participação dos municípios no comitê da bacia do Piancó-Piranhas-Açu, verifica-se que o município de Pombal tem dois representantes, enquanto os outros doze municípios da bacia não participam das reuniões e discussões realizadas pelo comitê da bacia (CBHPPA, 2025), isso indica a falta de articulação de gestão e gerenciamento desses municípios em relação aos seus recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH, destaca a importância da participação dos municípios nos Comitês de Bacia Hidrográfica. Essa participação é

fundamental para garantir que as decisões sobre o uso dos recursos hídricos e a gestão das bacias hidrográficas reflitam as necessidades e interesses locais. É fundamental a participação dos municípios nas decisões sobre a utilização dos recursos hídricos e outros temas relacionados com o planejamento das bacias hidrográficas, na área de estudo, segundo o comitê da bacia do Piancó-Piranhas-Açu-CBHPPA, a participação dos municípios é muito limitada, onde apenas o município de Pombal tem representantes.

5.6.1 Número de Outorgas da bacia hidrográfica

A outorga de recursos hídricos é regulamentada pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e por outras resoluções. As outorgas visam a garantir o controle quantitativo e qualitativo dos usos múltiplos. Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, sendo, portanto, um instrumento de gestão dos recursos hídricos (AESAs, 2023).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é solicitada para captação de águas, superficiais ou subterrâneas e lançamento de efluentes, ou qualquer ação que interfira no regime hídrico existente. As formas de uso da água que são consideradas de pouca expressão, no tocante à quantidade de águas demandadas frente à disponibilidade existente no local, são dispensadas de outorga. Nestes casos devem ser computados os usos, apesar da não obrigatoriedade da outorga e, portanto, informar ao poder público federal ou estadual os valores utilizados (Brasil, 1997).

Porto e Porto (2008) destacam o poder disciplinador que a outorga representa para o poder público garantir a equidade entre os usuários de água. A outorga pode ser considerada como essencial para evitar conflitos entre os usos atuais e futuros da água, realizando um controle quantitativo e qualitativo (Ribeiro *et al.*, 2014).

É de competência da ANA, fiscalizar e conceder outorgas, de acordo com a Lei Federal 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da agência como entidade federal de implementação da política nacional de recursos hídricos, de coordenação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos responsável pela instituição de normas de referência nacionais para regulação da prestação dos serviços públicos de saneamento básico (Brasil, 2000).

A efetiva implementação da outorga permite evitar conflitos entre usuários de recursos hídricos e assegurar o efetivo direito de acesso à água, sendo um valioso instrumento de gestão de recursos hídricos. Considerando o princípio dos múltiplos usos, a capacidade de suporte do ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável (ANA, 2017).

De acordo com Bitencourt *et al.* (2019), embora a outorga seja um instrumento com bastante representatividade, a sua execução, na maioria dos estados, não é satisfatória, visto que a melhoria do cadastro de outorgas está presente na maioria dos planos de ações dos PRH elaborados.

Na bacia hidrográfica do alto piranhas, verifica-se 446 outorgas nos 13 municípios analisados, sendo os municípios de Sousa, Nazarezinho e São José da Lagoa Tapada, (conforme tabela 11), os que mais utilizam os recursos hídricos para irrigação e o abastecimento público, o município de Sousa possui áreas irrigadas nas várzeas do açude de São Gonçalo e no perímetro irrigado, conhecido como as várzeas de Sousa, utilizando as águas do segundo maior reservatório em volume de água da bacia hidrográfica do alto piranhas, o açude São Gonçalo.

Somente através da eficiência no processo de outorga que podem ser alcançados grande parte dos objetivos fundamentais e específicos do gerenciamento da água. Mesmo sendo um instrumento regulatório, a outorga é um fator determinante para a aplicação e efetivação dos outros instrumentos, como, por exemplo, o econômico, por meio da cobrança; inclusive pelo volume de água outorgado, mas não utilizado; e o zoneamento de regiões de proteção permanente, onde quase ou nenhum tipo de uso pode ser outorgado (Pires, 1996).

Na área analisada, o maior número de outorgas concedidas é para uso da irrigação, o que compromete os outros usos, além da falta de fiscalização, dos desvios de água e do desperdício dos recursos hídricos existentes, o que acarreta a diminuição da quantidade de recursos hídricos para os municípios das outras unidades de planejamento hidrológico UPH, principalmente do estado do Rio Grande do Norte. Somente com a cobrança efetiva dos recursos hídricos, o que disponibilizará mais recursos financeiros para os órgãos gestores e uma maior fiscalização, será possível um gerenciamento que garanta uma maior disponibilidade de água, para todos os municípios inseridos na Bacia Hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu.

Ao implementar a regularização de uso dos recursos hídricos em todo o estado, a AESA, através do cadastramento de usuários de água nos seus usos múltiplos, tanto

de águas superficiais quanto subterrâneas, tem como principal intuito de monitorar e conhecer o universo de usuários, bem como auxiliar no gerenciamento dos recursos hídricos. As informações coletadas no cadastramento servem de suporte para o banco de dados que por sua vez contribuem para o gerenciamento de outorga.

No diagnóstico das outorgas concedidas verifica-se que a maioria dos pedidos de outorgas é para uso de irrigação seguido do abastecimento rural; a vazão média dos usuários outorgados é de cerca 23 m³/hora, mas a maioria dos usuários utiliza até 15 m³/hora (AESAs, 2024), sendo utilizada a água para fins de irrigação, seguido do abastecimento rural.

As principais fontes hídricas utilizadas são o poço (água subterrânea), captação direta no leito do rio e no canal da redenção, seguido pela utilização da água dos açudes. A retirada de água diretamente no leito do rio Piranhas é uma situação preocupante devido à grande vulnerabilidade desses usuários em relação à garantia da quantidade de água, uma vez que a região sofre com secas frequentes.

5.6.2 Cobrança pelo uso da água

Entre os instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida pela Lei nº 9.433/1997 no Brasil, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos visa obter verba para a recuperação das bacias hidrográficas brasileiras, estimular o investimento em despoluição, dar ao usuário uma sugestão do real valor da água e incentivar a utilização de tecnologias limpas e poupadoras de recursos hídricos (Brasil, 1997).

O sistema de cobrança preconizado pela maioria das leis estaduais e pela legislação federal operacionaliza o princípio do “poluidor-pagador”: os usuários de água (indústrias, companhias de saneamento, companhias elétricas e irrigantes), exceto os usos considerados insignificantes, devem pagar pelo uso da água e pela poluição lançada nos corpos d’água. Com isso, a cobrança seria o instrumento mais poderoso dos comitês, tanto no sentido de promover um uso mais racional da água, como para gerar recursos para ações e projetos de proteção e recuperação dos recursos hídricos (ABERS, 2004).

Para Serrer e Scherer (2016), a cobrança pelo uso da água como instrumento da política nacional de recursos hídricos, representa uma forma de controle ao atribuir um valor econômico à água, no intuito de que ela seja usada de maneira racional.

Conforme o art. 19 da Lei de Águas, essa cobrança possui três finalidades: reconhecer o valor econômico da água, despertar para o uso racional e servir como instrumento financeiro de gestão para financiar os programas relacionados à política.

A Lei nº 8.446/07 estabelece que compete a agência executiva de águas da Paraíba- AESA, a cobrança pela água outorgada na bacia do alto piranhas, onde os critérios, mecanismos e valores serão estabelecidos mediante decreto do poder executivo, com base em proposta de cobrança encaminhada pelo respectivo comitê da bacia, fundamentado em estudos técnicos elaborados pela AESA.

Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos serão obrigatoriamente depositados no fundo estadual de recursos hídricos e aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica. Devendo ser utilizado no financiamento de estudos, programas, projetos e obras, no pagamento de despesas de implementação e custeio administrativo de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Serão sujeitos à cobrança: Abastecimento humano, cujo somatório das demandas em mananciais único ou separado, registrados nas respectivas outorgas, seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano; Indústria para utilização como insumo de processo produtivo, cujo somatório das demandas, em manancial único e separado, registrado nas respectivas outorgas, seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano; lançamentos de esgotos e demais efluentes, como o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; agropecuária cujo somatório das demandas, em manancial único ou separado, registrado nas respectivas outorgas, seja igual ou superior ao valor estabelecido; Outros usos, que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (AES A, 2024).

Os valores a serem cobrados são: irrigação e outros usos agropecuários, R\$0,003/m³; piscicultura intensiva e carcinicultura R\$0,005/m³; abastecimento público comércio e lançamentos de esgotos e demais efluentes R\$0,012/m³; indústria e agroindústria R\$0,015/m³. A previsão de arrecadação na bacia do alto piranhas no ano de 2011 era de R\$1.152.710,60 (AES A, 2024).

Segundo estimativa dos valores possíveis arrecadados da cobrança pelo uso da água da bacia do alto piranhas, foi averiguado que o valor arrecadado para retirada, assim como para lançamento foi superior ao que se tem previsto para aplicação na bacia com base no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PERH) (AES A, 2024).

5.6.3 Participação dos municípios no comitê da bacia

Os comitês de bacia constituem como uma organização institucional moldada por uma territorialidade “natural”, a bacia hidrográfica, ao invés de corresponder às tradicionais fronteiras político-administrativas dos municípios, Estados e União, os comitês devem ser amplamente representativos. Os órgãos públicos gestores de recursos hídricos devem compartilhar informações com os comitês, incorporando suas decisões nas ações do poder público, além de continuar com as suas competências em matéria de controle do uso da água (outorga) e sua fiscalização. Por não disporem da autoridade para regular diretamente o uso do solo, uma atribuição municipal, os comitês precisam desenvolver uma relação de cooperação com os municípios da bacia (ABERS, 2004).

O processo participativo realizado por meio dos comitês reduz riscos de que o aparato público seja apropriado por interesses imediatistas e amplia as possibilidades de o gerenciamento de recursos hídricos ser orientado pela negociação sociotécnica. Nesse sentido, podem articular-se interesses territoriais e necessidades técnicas, num processo aberto a negociações (Jacobi, 2005).

No entanto, o processo participativo fortaleceu-se no Brasil com a multiplicação de conselhos nas mais diversas áreas dos estados e municípios, mas que esses ainda são de eficácia duvidosa devido, muitas vezes, à falta da capacidade deliberativa e manipulação por forças políticas de governo ou oposição (Camargo, 2008).

Segundo Magalhães Júnior (2010) é fundamental definir e informar as resoluções dos comitês de bacias, pois os comitês em sua tomada de decisão, exercem instrumentos de governança. Conforme Pinheiro e Carvalho (2010), com o incremento populacional e a urbanização, agravou-se a escassez de água de forma quantitativa e qualitativa, tornado a água um recurso escasso, sendo motivo de muitos conflitos, com isso cada agente tenta estabelecer um modelo peculiar de gerenciamento, sempre priorizando seus próprios interesses.

O diagnóstico da dimensão gestão dos recursos hídricos, identificou um conjunto de questões críticas na bacia hidrográfica de estudo, que deverão guiar a implementação de soluções, como:

- necessidade de gestão que demande aprimoramento de mecanismos de alocação de água;
- vulnerabilidade dos mananciais e dos sistemas de abastecimento público;
- fortalecimento da gestão participativa.

A gestão da água tem uma forte conotação política e os interesses envolvidos nos processos decisórios determinam a adoção e utilização de indicadores ambientais, na tomada de decisão. O estabelecimento de metas e objetivos, à elaboração de planos e projetos, para serem operacionalizados dependem de uma gestão participativa e comprometida com o desenvolvimento sustentável, tendo sempre com objetivo a preservação dos recursos hídricos.

5.7 Diagnóstico situacional da Bacia hidrográfica do Alto curso do Rio Piranhas

A crise ambiental atual proporcionou, mundialmente, a constituição de políticas ambientais que abordem os problemas de forma sistêmica, a partir de debates científicos e políticos mais ou menos generalizados. Em especial, para os recursos hídricos, foram instituídos dispositivos legais com a função de assegurar o uso racional dos mesmos, através de um debate técnico, científico, político e social (Pinto, 2022).

A partir do diagnóstico situacional da área de estudo, foi possível identificar municípios com potenciais de conflitos de uso do solo, com base nas dimensões de pressão sobre os estoques e qualidade hídrica; pressão relativa à demanda hídrica; pressão relativa à poluição; coleta e tratamento de efluentes líquidos; qualidade dos estoques hídricos e gestão dos recursos hídricos no semiárido nordestino (Tabela 3).

Tabela 173 – Panorama dos indicadores da Bacia Hidrográfica do Alto curso do Rio Piranhas-PB

Municípios	Total de habitantes	Indicadores de densidade populacional (hab/km²)	Subindicador (IDH-M)	Índice de atendimento total de água (%)	Perdas de água-perdas lineares (m³/dia/km)	Perdas de água perdas ligação (l/lig/dia)	Áreas irrigadas (l/s) 2022	Áreas irrigadas (l/s) - projeção da demanda 2032	Índice de doenças diarreicas agudas (DDA/pop)	Volume de água tratada em Estações de tratamento de água (m³/dia)	Número de outorgas (n)
Aparecida	7.960	27,31	0,578	61,46	18,37	215,21	1.041,85	1744,49	0,048869347	334,22	26
Cajazeiras	63.239	112,38	0,679	100	13,94	186,09	404,29	671,34	0,010373346	4137,8	15
Pombal	32.473	36,32	0,634	100	30,91	227,47	1.434,50	2020,7	0,048902165	2380,8	17
São Domingos	2.595	15,23	0,548	0,00	0,05	0,47	14,24	19,9	0,048554913	0,00	13
Sousa	67.259	92,33	0,668	0,00	0,00	0,00	4.761,11	6994,9	0,036024919	0,00	189
São José L. Tapada	7.126	21,35	0,530	45,47	15,25	190,53	163,62	228,58	0,000982318	202,28	27
São José de Piranhas	19.067	27,76	0,591	79,59	28,28	187,69	96,49	134,81	0,003199245	113,05	18
Marizópolis	6.705	95,85	0,608	98,46	58,32	552,74	215,77	355,94	0,001491424	5688,24	16
Nazarezinho	7.203	37,28	0,562	64,94	15,1	209,64	498,45	696,35	0,006802721	286,82	89
Carrapateira	2.312	39,14	0,603	86,48	11,36	153,18	45,50	63,57	0,051038062	100,91	00
Monte Horebe	4.338	37,12	0,587	70,89	10,47	139,35	0,00	0,00	0,018672199	157,46	07
Bonito de Santa Fé	10.252	45,2	0,574	69,03	9,17	120,88	309,94	433,00	0,020678892	353,11	16
São João do R. do Peixe	17.964	37,72	0,608	55,62	15,65	248,24	815,55	1181,84	0,038354487	663,65	13

Fonte: Autor, 2025.

Com base na figura 17, observa-se que os municípios de Sousa e São João do Rio do Peixe, enfrentam desafios significativos, como a falta de saneamento básico e da inexistência de um sistema de informações sobre a política de águas, e principalmente do saneamento básico, sendo necessário fortalecer os processos de planejamento, garantir a participação social, assim como a capacidade técnica e financeira desses municípios.

A falta de um saneamento básico é um problema que acomete a maioria dos 13 municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, representando um grave problema ambiental, que compromete toda a qualidade de água disponível para a população local.

A desarticulação política dos pequenos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, é outro problema. Devido à falta de recursos financeiros, isso poderia ser minimizado com a formação de consórcios de saneamento básico intermunicipal, como ocorre entre os municípios da Unidade de Planejamento Hídrico (UPH), do Médio Piranhas Paraibano, onde os municípios através de um consórcio intermunicipal, criaram aterros sanitários e orçamentos públicos municipais com dotação orçamentária para a criação de estações de tratamento de efluentes líquidos.

A gestão do saneamento, sobretudo do quesito do esgotamento doméstico, sem tratamento, tem potencial de impacto direto na bacia, no que diz respeito à contaminação e à poluição dos braços e mananciais inseridos no território, provocando a contaminação da água do açude São Gonçalo (município de Sousa), Engenheiros Ávidos (município de Cajazeiras), e do rio do Peixe, principal afluente do Alto Piranhas, que atravessa os municípios de Sousa e Cajazeiras. Isso faz com que, uma grande carga de sedimentos seja destinada aos reservatórios e conseqüentemente ao Rio Piranhas, reforçando, assim, a necessidade de uma gestão integrada dos serviços de saneamento básico.

Conforme a Lei nº 14.026/2020, o novo marco legal do saneamento básico, deve haver corresponsabilização e coparticipação nos planejamentos estratégicos para a universalização do saneamento básico, entre os municípios, estados e união. Torna-se imperativo que os Municípios de Sousa, São João do Rio do Peixe, Pombal e São José de Piranhas, Municípios que mais poluem o Rio Piranhas, priorizem em seus orçamentos, dotação orçamentária voltada para o saneamento básico, além de capacitar funcionários para o enfrentamento desse problema nos seus territórios

municipais, assim como, uma maior cooperação com a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Aos municípios coube preponderantemente a titularidade para as ações afeitas à execução do saneamento básico, com a usual delegação dos serviços de água e esgotamento sanitário às empresas estatais dos respectivos Estados-membros. Na prática, corresponde à materialização do que Melo (2012, p.695) denomina “princípio da colaboração federativa”, baseado no ideal de solidariedade imposto implicitamente pelo texto constitucional.

O diagnóstico demonstra que os municípios inseridos na Bacia Hidrográfica do Alto curso do Rio Piranhas, encontram-se em diferentes estágios de gestão Hídrica, sendo os municípios de Sousa, Cajazeiras e Pombal, os que mais exercem pressão antrópica, e os pequenos municípios em população e densidade demográfica, Monte Horebe, Carrapateira e São Domingos, os que exercem menor pressão antrópica nos recursos hídricos da bacia, baseado no número de outorgas, população total e densidade demográfica desses municípios, além de sua localização em relação aos grandes reservatórios e da calha do Rio Piranhas.

Com base nos dados de abastecimento total e tratamento de água, observa-se que os municípios de Marizópolis, Cajazeiras e Pombal, se encontram em situação diferenciada em relação aos municípios de Aparecida, São José da Lagoa Tapada, Bonito de Santa Fé e Nazarezinho, ambos com um grande contingente populacional sem oferta de água. A ausência de políticas públicas e da aplicação de investimentos no setor de abastecimento de água e de infraestrutura em saneamento básico pode desencadear diversas consequências físicas e ambientais aos indivíduos expostos a esse contexto, aumentando, por exemplo, o número de pessoas atendidas no sistema público de saúde (Carcará *et al.*, 2019).

Em relação a qualidade da água, do Rio Piranhas e dos seus principais reservatórios, Engenheiro ávidos, São Gonçalo e Bartolomeu I, e dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica, verifica-se lacunas a serem resolvidas, devido à falta de coletas e análises de forma periódica, pois são poucas análises feitas ao longo do ano, o que compromete um diagnóstico preciso da realidade local. No processo de vigilância da qualidade da água para consumo humano, Freitas e Freitas (2005), apontam como entraves à participação da sociedade e controle social a limitação na produção da informação. Existe uma clara dificuldade na conversão de dados em informação e indisponibilidade destes as mais distintas esferas.

Conforme figura, a tendência de aumento da demanda hídrica para a irrigação, devido ao aumento das áreas irrigadas nos perímetros irrigados do Açude São Gonçalo e das várzeas de Sousa, onde os municípios de Sousa, Marizópolis, Nazarezinho e Aparecida, que depende economicamente da agricultura irrigada e da pecuária para geração de emprego e renda, comprometerá a quantidade e qualidade da água para os outros municípios da Bacia nos próximos 10 anos.

Outro problema é o aumento do desperdício de água, onde o município de Cajazeiras, com população estimada pelo IBGE, em 63.239 habitantes em 2022, segundo maior município da bacia hidrográfica em população, desperdiça 37,3% da água tratada, em vazamentos ou ligações clandestinas. As perdas de água no abastecimento na bacia do Alto Piranhas, são um problema complexo e multifatorial, envolvendo tanto perdas físicas (defeitos nas redes) quanto perdas aparentes (medidas incorretas e uso não autorizado) (AESAs, 2022).

Os recursos hídricos são utilizados de múltiplas formas (consuntiva – quando se tem retida a água do manancial, não consuntiva – quando se faz uso de forma indireta), gerando processos de poluição ambiental (natural e antrópica) através de introdução de agentes de poluição (de forma pontual e difusa), acarretando consequências econômicas, sociais, ambientais, de saúde e políticas (Derísio, 2017).

A gestão dos recursos hídricos é composta por medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais envolvem obras físicas para alterar o regime hídrico, enquanto as não estruturais abrangem instrumentos de gestão e ações que visam regular e proteger os recursos hídricos. A gestão dos recursos hídricos pautada na perspectiva do aumento do suprimento, redução da demanda, com medidas estruturais e não estruturais, a fim de atender aos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), depende das políticas de conservação e da restrição de usos através das áreas protegidas (Foleto, 2018).

Com base no diagnóstico situacional da bacia do alto curso do Rio Piranhas, propõe-se a adoção das seguintes técnicas estruturais e não estruturais de Gerenciamento Hídrico (Quadro 5), a base:

Quadro 5 - Técnicas Estruturais e Técnicas não estruturais (Derísio, 2017)

Técnicas Estruturais	Técnicas não estruturais
Abastecimento de Água	Alocação de Água Negociada
Esgotamento Sanitário	Planos de Bacia Hidrográfica
Gestão dos Resíduos Sólidos	Cobrança pelo uso da Água
Medidas de Segurança de Barragem	Sistema de Informação em Recursos Hídricos
Monitoramento Ambiental	Enquadramento de Corpos d'água
Recuperação de Matas Ciliares	Fiscalização Ambiental
Reuso de Água	Limpeza de Reservatórios
Reuso de Efluentes	Outorgas do Direito de Uso de Recursos Hídricos

Fonte: Autor, 2025.

A operacionalização da gestão dos recursos hídricos envolve a implementação de políticas, planos e instrumentos que visam garantir o uso sustentável, a conservação e a proteção da água. Isso inclui a participação de diversos atores sociais, a definição de regras claras para o uso da água, o monitoramento da qualidade e quantidade, e a adoção de medidas para prevenir e mitigar os efeitos de eventos hidrológicos extremos.

Com a utilização de indicadores será possível realizar uma gestão de águas eficiente, através de um modelo de gerenciamento das águas que conste a separação entre as atribuições de oferta e as atividades de uso da água e de um banco de dados atualizado que permita aos órgãos gestores tomar decisões.

É importante analisar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental, a fim de determinar medidas de monitoramento e ações de mitigação de impactos (Kennedy *et al.*, 2016).

Por fim, destaca-se que o processo decisório necessita de instrumentos técnicos para ser efetivado, além de dados brutos que permitam a produção de informações, democratizando o conhecimento científico, assim como a participação dos atores locais, através dos comitês de bacia. Não há gestão participativa sem informação, pois um dos principais condicionantes da gestão participativa é a acessibilidade das informações adequadas, e isso só será possível através de um

banco de dados de indicadores ambientais locais e regionais, além da adoção de medidas de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que considere as técnicas estruturais e não estruturais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa produziu um diagnóstico dos indicadores ambientais municipais, selecionados e disponíveis, que pudessem ser utilizados para monitoramento, visando a tomada de decisão na gestão hídrica da bacia, assim como informar à população, comunidade e usuários diretos sobre a atual realidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. Através de um conjunto de indicadores ambientais foi possível realizar um diagnóstico da realidade regional, trazendo um panorama da problemática da gestão dos recursos hídricos na bacia estudada.

Foram selecionados os seguintes indicadores ambientais: Densidade demográfica, índice de desenvolvimento humano, abastecimento público urbano, captação de água para a irrigação atual e futura, DBA/ton/dia, Fósforo total dos principais reservatórios, volume de esgotos coletados e tratados, índice de doenças diarreicas agudas DD/pop, outorga pelo uso da água, além da participação dos municípios no comitê da bacia.

Os indicadores foram selecionados a partir das informações obtidas com o diagnóstico dos treze municípios inseridos na bacia do alto Piranhas, e o estudo foi baseado em uma adaptação de uma proposta de indicadores de gestão de recursos hídricos, formulada por Magalhães Júnior (2014), sendo essa proposta de indicadores ambientais aplicada e adaptada a área de estudo, fornecendo um diagnóstico da bacia analisada.

Os sistemas de informações de dados da bacia ainda não se encontram devidamente implementados, dificultando a gestão e a conservação da água, além de amostras da qualidade da água mais regulares e de dados atualizados que permitam o entendimento do problema gerado pelo lançamento de efluentes domésticos na bacia.

Os indicadores ambientais foram trabalhados com um conjunto de parâmetros representativos, concisos e fáceis de interpretar, sendo uma importante ferramenta versátil capaz de otimizar e estabelecer um procedimento adequado no processo de tomada de decisão. O diagnóstico das dimensões analisadas mostram problemas como falta de dados, além de lacunas de monitoramento da água, falta de engajamento dos gestores municipais, inviabilizando uma tomada de decisão eficiente dos órgãos gestores, foram propostos alguns indicadores para a implantação de um modelo de diagnóstico, que podem servir como orientadores para que novas

pesquisas possam investigar, de forma quantitativa e qualitativa, a real aplicação desse instrumento tão importante para a gestão dos recursos hídricos.

A organização de indicadores ambientais em sistemas de informação, constitui uma ferramenta versátil capaz de otimizar e estabelecer um procedimento adequado no processo de tomada de decisão. Desta maneira sua utilização é muito difundida para instauração de programas e ações governamentais e para avaliações daquelas já existentes.

O uso de indicadores ambientais como: captação de água para irrigação, outorga pelo uso da água, índice de doenças diarreicas, fósforo total dos principais reservatórios, densidade demográfica, dentre outros analisados, mostrou-se eficiente para ressaltar as fragilidades e potencialidades dos municípios da bacia hidrográfica. As principais potencialidades encontradas foram: os indicadores de desenvolvimento humano que retratam diferentes dimensões da qualidade vida, facilitando a análise da realidade social da área da bacia, outra vantagem são os indicadores de demandas hídricas, essenciais para o estudo do percentual de utilização dos estoques hídricos, disponíveis, possibilitando um bom gerenciamento.

As principais limitações e fragilidades desta pesquisa foram a escassez de dados e informações, especialmente os de qualidade da água. Notavelmente, o município de Sousa, o mais populoso da bacia hidrográfica, não disponibiliza seus dados no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) devido à inadimplência.

Houve também uma carência de dados de monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios Engenheiro Ávidos, São Gonçalo e Bartolomeu I. Além disso, a falta de informações sobre indicadores por parte da Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESA), da Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) dificultou e atrasou significativamente o processo de análise e diagnóstico da bacia estudada, mesmo após vários requerimentos.

Os resultados indicam a necessidade de adoção de um plano de gestão integrado entre os municípios que compõem a bacia, com adoção de práticas de conservação de solo e água, e principalmente maior fiscalização dos órgãos gestores (AESA, ANA, SUDEMA), além da diminuição das perdas de água pela companhia de águas e esgoto da Paraíba (CAGEPA), a construção de estações de tratamento de esgotos. E com isso evitar a degradação dos recursos hídricos da bacia, assegurando

a continuidade de fornecimento de água com boa qualidade e em quantidade suficiente para todos os usuários.

A formulação de uma metodologia baseada em indicadores dos municípios da bacia, é uma ferramenta de apoio à decisão, contribuindo assim para a melhoria da gestão. Com base nos dados coletados foi possível observar a ineficiência da gestão pública acerca dos indicadores de saneamento básico (coleta e tratamento dos efluentes). sendo este o principal responsável pela degradação da qualidade da água dos reservatórios da bacia.

Com base nos dados do IBGE (2022), verifica-se que o crescimento populacional dos municípios da bacia, está em torno de 0,8%, esse cenário tendencial consolidado de pequeno crescimento sendo, portanto, as demandas secundárias, demandas hídricas, as responsáveis pelo aumento do consumo dos recursos hídricos, o que requer uma melhor gestão técnica do sistema.

O acesso à água potável impacta diretamente na qualidade de vida do cidadão, nos municípios da bacia, verifica-se a grande ineficiência por parte da companhia de águas e esgoto da Paraíba (CAGEPA) no controle de perdas do recurso hídrico, onde no município de Pombal, cerca de trinta e três por cento da água é desperdiçada antes de chegar nas residências, onde se faz necessário algumas medidas a fim de diminuir as perdas por ligação, como: Diminuir os vazamentos, diminuir os erros de medição, assim como fiscalizar e punir o consumo não autorizado nos municípios da bacia.

Com base no relatório técnico da AESA (2023), verifica-se que nos municípios de Sousa e Nazarezinho a pressão da demanda de irrigação é considerada alta, sendo necessário uma gestão técnica mais eficaz nos açudes e nos perímetros irrigados, para manter os níveis de atendimento de água satisfatório em toda bacia, e com isso evitar conflitos pela água.

Os indicadores de captação de água para irrigação atual e futura, densidade demográfica, número de outorgas concedidas, dentre outros, serviram de base para uma análise situacional da bacia, como também alguns indicadores estudados não corresponderam às expectativas, por falta de dados atualizados ou simplesmente por falta total desses dados.

O trabalho de Magalhães Júnior, que serviu de base para essa pesquisa, teve como foco a realidade econômica e social da região sudeste, onde esse pesquisador analisou dados principalmente de coleta e tratamento de efluentes líquidos e coleta e destinação dos resíduos sólidos, dados esses que não foram encontrados na sua

totalidade, pois os órgãos gestores da AESA, SUDEMA e CAGEPA, não forneceram ou não tem os referidos dados, comprometendo uma análise mais precisa da realidade da bacia.

A bacia hidrográfica é uma unidade fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois integra aspectos naturais e atividades humanas em um sistema único. Essa abordagem permite uma gestão mais eficaz e sustentável, considerando as interações entre diferentes usos da água e os impactos ambientais.

De modo geral, os resultados obtidos foram satisfatórios e coerentes com a realidade da área analisada, onde a metodologia utilizada para a seleção dos indicadores possibilitou uma comparação entre os municípios selecionados, como também os resultados obtidos sugerem a necessidade de maiores investigações e aperfeiçoamento do estudo, visto que alguns indicadores têm dados desatualizados, como também o município de Sousa não dispõe de dados.

Na área estudada verifica-se também a desmobilização dos municípios na gestão dos recursos hídricos, isso se reflete no aumento da poluição e dos desvios e perdas de água, comprometendo a quantidade e a qualidade desse recurso.

Através dos indicadores ambientais disponíveis, foi possível identificar as áreas mais degradadas e em emergência devido a intensificação de atividades antrópicas e suas consequências. A partir do diagnóstico dos indicadores ambientais, espera-se que os gestores possam implantar um planejamento ambiental que priorize o plano municipal de recursos hídricos e proteção de áreas dos mananciais, além de realizarem uma tomada de decisão com base em um SIG.

Portanto, o diagnóstico situacional da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas, identifica as potencialidades e fragilidades dos municípios inseridos nessa bacia, contribuindo para o processo decisório e, sobretudo, servindo de guia à execução das ações e dos investimentos, sendo necessário estabelecer e manter um sistema de informações unificados e atualizado, a fim de promover uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos.

Observa-se que, o processo de seleção e utilização de indicadores ambientais dependem de dados atualizados que possam estar disponíveis em um banco de dados contemplando todas as dimensões e seus indicadores e subindicadores, o que não foi possível na área de estudo, devido a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba(AESA), ainda não ter implantado seu sistema de informação e

monitoramento, o que dificulta todo o processo de análise e diagnóstico situacional da Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.

Seguem-se, assim, algumas recomendações:

- Aplicar a metodologia proposta nas outras dez UPHs da bacia do Piancó-Piranhas-Açu, para avaliar sua aplicabilidade.
- A evolução temporal dos dados disponíveis pela CAGEPA (companhia de águas e esgotos do estado da Paraíba) e da AESA (Agência executiva de Gestão das águas do estado da Paraíba) estão desatualizados e muito difíceis de serem acessados, o que dificultou a pesquisa, sendo então sugerido uma padronização e sistematização dos dados ambientais desses órgãos governamentais.
- Criar um sistema de informações Geográficas- SIG, para permitir a padronização da obtenção de dados, e com isso automatizar a análise, garantindo mais rapidez nas respostas dos problemas com mais segurança e agilidade dos gestores na tomada de decisão.
- Ampliar e reestruturar a rede de monitoramento climatológico e hidrológico.
- Agregar dados de todos os municípios nos sistemas oficiais de informação sobre saneamento.
- Adoção de medidas prioritárias na dimensão hidrológica, como redução das demandas e do desperdício da água; implementação de instrumentos de gestão; apoio ao comitê da bacia hidrográfica, dentre outros.
- Produzir um diagnóstico a partir de indicadores, que sirva de modelo e que possa ser replicado para as outras unidades de planejamento hidrológicos (UPHs) da bacia hidrográfica do rio Piancó- Piranhas-Açu.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação**, São Paulo, n. 3, p. 45-48, 1969.

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. ISBN 978-85-7480-355-5.

ABERS, Rebecca; KECK, Margaret. Comitês de bacia no Brasil: uma abordagem política no estudo da participação social. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 6, n. 1, maio 2004. Disponível em: <http://www.anpur.org.br/revista/rbeur/index.php/rbeur/article/view/104>. Acesso em: 10 jul. 2024.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>. Acesso em: jun. 2022.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Informações básicas: aspectos legais**. 2018. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/institucional/informacoes-bacias-2/>. Acesso em: 8 maio 2024.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba – PERH-PB**. João Pessoa: SECTMA, 2023.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Outorga de direitos de uso de recursos hídricos**. Disponível em: <http://slidplayer.com.br/slide/359453/>. Acesso em: mar. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (2014), “**Relatório de referência**”, **Diálogo Político OCDE/Brasil sobre Governança da Água**, Agência Nacional de Águas, Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Comitês de bacias hidrográfica 2015**. disponível em: <http://www.cbh.gov.br/#not-estaduais>. Acesso em: 5 dez. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Direito de águas à luz da governança**. Agência Nacional Águas, Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/index.php/temas/64-governanca-comunicacao-e-participacao-social/191-direito-de-aguas-a-luz-da-governanca-2> >. Acesso em: 14 out. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu**. Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <http://piranhasacu.ana.gov.br//produtos/sinteseDiagnostico.pdf>. Acesso em: abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu**. Brasília: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <http://aqrquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental**. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/paginas/portais/bacias/atlanticonordeteorientl.aspx>. Acesso em: 14 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: ANA, 2010a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS -ANA. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília: ANA, 2019b.

ALBUQUERQUE, D. S.; XAVIER, R. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. Geomorphological compartmentation of Pereiro Massif and its surroundings, in Northern Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 3, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i3.2566>.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J.M.; PARENA, R. (2000) **Performance indicators for water supply services**. Londres: IWA Publishing.

ALENCAR, Michel Avelino de; ALMEIDA, José Cezário de. Avaliação microbiológica e físico-química da água de Engenheiro Ávidos (Boqueirão) de Cajazeiras –PB. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Cajazeiras, v. 13, n. 1, p. 35-43, jan. 2019. Trimestral. Disponível em: <https://gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/6379/6329>. Acesso em: 05 jul. 2024.

ALMEIDA, F. F. **Influência dos fatores socioambientais, sanitários e enteropatógenos em crianças menores de 5 anos com diarreia atendidas em Unidades de Saúde do Município de Anápolis - GO**. 2016. 63 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Unievangélica de Anápolis, Anápolis, 2016.

ALMEIDA, J.; BRITO, A. G. A utilização de indicadores ambientais como suporte ao planejamento e gestão de recursos hídricos: o caso da região autônoma dos Açores. In: CONGRESO IBÉRICO SOBRE GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL AGUA, 3., 2002, Sevilla. **Anais...** Sevilla, 2002.

ASSIS, L. F.; VIEIRA, A. S.; OLIVERA, M. M. Valoração da água na sub-bacia do Alto Piranhas no Sertão paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 5, p. 879-891, 2017.

BARROS, F. G. N.; AMIM, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 1, n. 4, p. 75-108, jun. 2008.

BARTH, F. T. *et al.* **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel, 1987.

BASSOI, L. H.; GHEYI, H. R. Uso da água em agricultura irrigada no semiárido brasileiro. *In*: SILVA, D. J.; SILVA, D. D. (orgs.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 10, p. 353-372.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

BENJAMIN, A. H. V. Introdução ao Direito Ambiental Brasileiro. *In*: BENJAMIN, A. H. (org.). **A proteção jurídica das florestas**. v. 1. São Paulo: IMESP, 1999.

BITENCOURT, C. C. A.; FERNANDES, C. V. S.; GALLEGOS, C. E. C. Panorama do enquadramento no Brasil: uma reflexão crítica. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, e9, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v16e9>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRAGA, B.; GOBETTI, L. Análise multiobjetivo. *In*: PORTO, R. L. L. *et al.* (orgs.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002.

BRANCHI, B. A. Sustentabilidade de bacias hidrográficas e índices compostos: aplicação e desafios. **Sociedade e Natureza**, v. 34, Uberlândia: EDUFU, 2022.

BRASIL. **Código das Águas**. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 8 jun. 2024.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRASIL. Governo lança Plano Nacional de Segurança Hídrica. **Portal Brasil**, 20 ago. 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/08/governo-lanca-plano-nacional-de-seguranca-hidrica>. Acesso em: 17 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 18 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 14 dez. 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam-Brasil. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: MME, 1981. v. 23. Folhas SB24/25, Jaguaribe/Natal.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Serviço Geológico do Brasil (CPRM)**. Projeto de Cadastro de Fonte de Abastecimento por Água Subterrânea: diagnóstico do município de Aparecida – outubro. Organização por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão *et al.* Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Projeto de Cadastro de Fonte de Abastecimento por Água Subterrânea – Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/APAR010.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CAGEPA. **Companhia de Água e Esgotos da Paraíba**. Página inicial. 2024. Disponível em: <https://www.cagepa.pb.gov.br/>. Acesso em: 5 jun. 2024.

CAMARGO, A. Governança para o século 21. In: TRIGUEIRO, A. (org.). **Meio ambiente no século 21**: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. 5. ed. Campinas, SP: Armazém do Ipê (Autores Associados), 2008.

CARCARÁ, M. S. M.; SILVA, E. A.; NETO, J. M. M. Saneamento básico com dignidade humana: entre o mínimo existencial e a reserva do possível. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 493-500, 2019.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 42, v. 1, p. 140-161, 2020.

CARVALHO, D. C. Indicadores de perdas de água no saneamento no Brasil entre 2010 e 2018. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 10, ed. 01, v. 01, p. 77-90, jan. 2024. ISSN 2448-0959. DOI: <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/economia/perdas-de-agua>. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/economia/perdas-de-agua>. Acesso em: 20 jul. 2025.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; LIRA, W. S. Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (orgs.). **Gestão sustentável dos recursos naturais**: uma

abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 31-80. ISBN 9788578792824. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 20 jul. 2025.

CARVALHO, M. G. R. F. **Estado da Paraíba**: classificação geomorfológica. João Pessoa: Editora da UFPB, 1982.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, v. esp., p. 26-43, 2014.

CASTRO, C. N. Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. **Texto para Discussão**, n. 2369. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2018.

CASTRO, L. M. A. *et al.* Análise multicritério para avaliação de sistemas de drenagem urbana: proposição de indicadores e de sistemática de estudo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 19, n. 4, p. 5-19, 2004.

CASTRO, R. S.; CRUVINEL, V. R. N.; OLIVEIRA, J. L. M. Correlação entre qualidade da água e ocorrência de diarreia e hepatite A no Distrito Federal/Brasil. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 8-19, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s301>. Disponível em: http://scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042019000700008. Acesso em: 11 jan. 2025.

CBH-PPA. **Comitê da Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu**. A bacia. 2008. Disponível em: <http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/portal/a-bacia/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CHAVES, A. D. C. G. *et al.* Monitoramento e qualidade das águas do Rio Piranhas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 160–164, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i1.3230. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3230>. Acesso em: 5 maio 2025.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. Edição compacta. São Paulo: Makron Books, 1999.

CHOWDARY, V. M. *et al.* Integrated water resource development plan for sustainable management of Mayurasshi watershed, India using remote sensing and GIS. **Water Resource Management**, v. 23, p. 1581–1602, 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS – CNM. **Águas no Brasil**: perspectivas e desafios municipais. Brasília: CNM, 2018.

COSGROVE, W. J.; RIJSBERMAN, F. R. **World water vision – Making water everybody's business**. London: Earthscan Publications Ltd., World Water Council, 2000.

COSTA, F. L.. Estratégias de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil: áreas de cooperação com o Banco Mundial. 1. ed. **Série Águas Brasil**, n. 1. Brasília: Banco Mundial, 2003.

CRISPIM, Andréa Motta Coelho. **Regionalização hidrológica na região do alto rio Piranhas-PB utilizando dados simulados com modelo distribuído**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Campina Grande, 2005.

CUNHA, F. L. S. J. Indicadores de sustentabilidade. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 8., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2005.

DAFT, R. L. **Administração**. 6. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

DATASUS. **Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde**. Página inicial. Disponível em: <https://www.datasus.saude.pb.gov.br/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

DAVIDOVICH, F. Gestão do território, um tema em questão. *In*: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 1989, Águas de São Pedro. **Anais...** São Paulo: Anpur/FAU, 1989. v. 2, p. 69-79.

DENNY, D. M. T.; GRANZIERA, M. L. M.; GONÇALVES, A. F. Comitês de bacia hidrográfica: governança e efetividade na gestão de recursos hídricos. **Revista de Gestão Sustentável Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 227-247, out./dez. 2020.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 224 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A nova classificação dos solos**. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 13 maio 2023.

EMPINOTTI, V. L.; FERRARA, L. N. Segurança hídrica e a Covid-19 na macrometrópole paulista: da política do corpo ao território. **Diálogos Socioambientais na Macrometrópole Paulista**, São Paulo, v. esp., n. 5, p. 13-14, 2020. Disponível em: https://pesquisa.ufabc.edu.br/macroamb/wp-content/uploads/2020/05/Di%C3%A1logos-Socioambientais_COVID-19-5.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008. 812 p.

FOLETO, E. M. O contexto dos instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 30, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.52823>. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/52823>. Acesso em: 23 jun. 2025.

FRACALANZA, A. P.; JACOB, A. M.; EÇA, R. F. Justiça ambiental e práticas de governança da água: (re)introduzindo questões de igualdade na agenda. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 1, p. 19-38, jan./mar. 2013.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, n. 4, p. 993-1004, 2005.

FREITAS, M. I. A. **Sub-bacia do Alto Piranhas, Sertão Paraibano: percepção ambiental e perspectivas na gestão dos recursos hídricos**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

GAIN, A. K.; GIUPPONI, C.; WADA, Y. Measuring global water security towards sustainable development goals. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 12, p. 124015, 2016.

GOMES, L. F. A. M. *et al.* **Tomada de decisão em cenários complexos**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas: disciplina jurídica das águas doces**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GUIMARÃES, L. T.; MAGRINI, A. A proposal of indicators for sustainable development in the management of river basins. **Water Resources Management**, v. 22, n. 9, p. 1191-1202, 2008.

HAMILTON, K. Policy driven indicators for sustainable development. *In*: **Mediterranean Blue Plan Environmental Performance Indicators Workshop**. Damasco: World Bank, 1996.

HOLANDA FILHO, I. O. *et al.* Análise da relação do índice de desenvolvimento humano municipal e subíndices, de 2015 a 2021. **Revista Brasileira de Pesquisa em Desenvolvimento**, v. 13, n. 1, p. 94, jan./abr. 2024. Portal de Periódicos Científicos da UTFPR (PERI).

HUBERT, G.; PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. Os novos instrumentos de planejamento do sistema francês de gestão dos recursos hídricos: I - Apresentação e análise. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 2, p. 81-101, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Página inicial**. 2022. Disponível em: <https://www.cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Segurança hídrica para um planeta sob pressão: transição para a sustentabilidade: desafios interligados e soluções. **The International Project Office of the Global Water System Project**, 2012. Disponível em:

http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water_FINAL_LR%20portugues.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

JACOBI, P. R. A gestão participativa de bacias hidrográficas no Brasil e os desafios do fortalecimento de espaços públicos colegiados. *In: Participação e deliberação: teoria democrática e experiências institucionais no Brasil contemporâneo*. Tradução. São Paulo: Editora 34, 2005.

KENNEDY, T. A. *et al.* Flow management for hydropower extirpates aquatic insects, undermining river food webs. **BioScience**, v. 66, n. 7, p. 561–575, 2016.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões: modelagem em Excel para os cursos de Administração, Economia e Ciências Contábeis**. Revisão Luiz Flávio A. M. Gomes. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

LAGANIER, Richard; ARNAUD, Gileis. **Les géographies de l'eau: processus, dynamique et gestion de l'hydrosystème**. Collection: Itinéraires géographiques. França: L'Harmattan, 2009.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: Ibama, 1995.

LANNA, A. E.; CAPENA, E. M. O gerenciamento de bacias hidrográficas e o desenvolvimento sustentável: uma abordagem integrada. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 269–282, 1994.

LIMA, A. E. **Planejamento ambiental como subsídio para a gestão ambiental da bacia de drenagem do açude Paulo Sarasate, Varjota–Ceará**. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará - UFC, 52 f.

LIMA, D. L.; BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; MAIA, R. P. Geomorfologia granítica do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia [online]**, v. 20, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1401>. Acesso em: 14 fev. 2024.

LIMA, T. S.; CANDEIAS, A. L. B.; CUNHA, M. C. C. Bioindicadores e sensoriamento remoto como subsídios à gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro (Bioindicators and Remote Sensing as Subsidies for the Management of Water Resources in the Brazilian Semi-arid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1974–1994, 2017.

MACHADO, P. A. L. **Recursos hídricos: direito brasileiro e internacional**. São Paulo: Malheiros, 2002. 414 p.

MAGALHÃES JR., A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. *et al.* Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no contexto legal-institucional do Brasil – resultado de um painel

de especialistas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 9, p. 49–67, out./dez. 2003.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

MAGALHÕES JÚNIOR, A. P.; NETTO, O. M. C.; NASCIMENTO, N. O.. Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil – Resultados de um painel de especialistas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 49–67, out./dez. 2003.

MAGINI, C.; HACKSPACHER, P. C. Geoquímica e ambiência tectônica do arco magmático de Pereiro, região NE da Província Borborema. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 336–355, 2008.

MAKARIGAKIS, A. K.; JIMENEZ-CISNEROS, B. E. UNESCO's contribution to face global water challenges. **Water**, v. 11, n. 2, p. 388, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11020388>.

MALHEIROS, T. F. *et al.* **Modelos para a construção de indicadores de desenvolvimento sustentável para a gestão e gerenciamento de resíduos**. Florianópolis: Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável (ICTR) e Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da USP (NISAM-USP), 2004.

MELO, Á. J. M. Gestão associada para regulação do saneamento básico. *In*: PHILIPPI JR., A.; GALVÃO JR., A. C. (orgs.). **Gestão do saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Barueri: Manole, 2012. p. 689–717.

MENDONÇA JÚNIOR, J. R. Estiagem prolongada e o colapso de abastecimento hídrico em Currais Novos – Rio Grande do Norte. **Revista Equador**, v. 12, n. 2, e14704, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/download/14704/8885>. Acesso em: 2025.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Brasil). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. 2023. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 2025.

MIRANDA, Y. P. **Investimento em saneamento no Brasil e seus efeitos sobre crescimento e desigualdades regionais**. 2022. 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 1–11, 1996.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, que institui a divisão hidrográfica nacional**. Disponível em:

http://www.lex.com.br/doc_3252592_RESOLUCAO_n_32_15_DE_OUTUBRO_DE_2003.aspx. Acesso em: jun. 2023.

MONTENEGRO, L. R. Participação e representação no SINGREH: (des)equilíbrio de forças e disputas de poder nos colegiados das águas. **Insurgência: Revista de Direitos e Movimentos Sociais**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 538–552, 2018. DOI: 10.26512/insurgncia.v3i1.19752. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/insurgencia/article/view/19752>. Acesso em: 9 maio 2025.

MOTTA, F. P.; VASCONCELOS, I. G. **Teoria geral da administração**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

NEVES, E. M. S. C. Environmental policy, municipalities and intergovernmental cooperation in Brazil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 137–150, 2012.

OCDE – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico. **Water Security for Better Lives**. Estudos sobre água. Paris: OECD Publishing, 2013.

OCDE. **Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities**. Estudos sobre água. Paris: OECD Publishing, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264229631>.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators**. Paris: OECD, 1994.

PARAÍBA. **Lei nº 6.308, de 2 de julho de 1996**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. João Pessoa, 1996.

PEIXOTO, F. da S. Água, recursos e segurança hídrica: uma análise a partir da hidrogeografia. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 42, 2023. DOI: 10.12957/geouerj.2023.72130. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/72130>. Acesso em: 9 maio 2024.

PEIXOTO, F. S.; CAVALCANTE, I. N.; SILVEIRA, R. N. C. M.; BESERRA, F. R. S. O sistema de informação geográfica (SIG) aplicado ao abastecimento hídrico e esgotamento sanitário. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 20, 2017.

PEIXOTO, F. S.; GUEDES, J. A.; GRIGIO, A. M.; DIAS, G. H.; DIODATO, M. A. (Orgs.). **Hidrogeografia e gestão das águas no semiárido**. Mossoró: UERN, 2022. PEREIRA, M. C. Perspectiva da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó Potiguar. **Sociedade e Natureza [online]**, v. 29, n. 2, p. 285–294, 2017.

PEREIRA, M. J. L. de B.; FONSECA, J. G. M. **Faces da decisão: as mudanças de paradigmas e o poder da decisão**. São Paulo: Makron Books, 1997.

PINTO, J. L. de O.; CUNHA, L. Gestão dos recursos hídricos: diretrizes de aperfeiçoamento para o conselho da Região Hidrográfica do Centro de Portugal e

para o comitê da bacia hidrográfica do Rio Apodi–Mossoró/RN no Brasil. **Água y Territorio**, v. 20, p. 57–72, 2022.

PIRES, Alex *et al.* Sustainability assessment of indicators for integrated water resources management. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 139–147, 2017.

PIRES, C. L. F. A outorga de uso na gestão de recursos hídricos. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 3., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: [s.n.], 1996. v. 1, p. 319–325.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE APARECIDA. **História do Município**. Disponível em: <https://aparecida.pb.gov.br/cont.php?termo=historia>. Acesso em: 5 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BONITO DE SANTA FÉ. **História do Município**. Disponível em: https://www.bonitodesantafe.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 5 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAJAZEIRAS. **História do Município**. Disponível em: https://www.cajazeiras.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 5 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARRAPATEIRA. **História do Município**. Disponível em: <https://carrapateira.pb.gov.br/historia/>. Acesso em: 5 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIZÓPOLIS. **História do Município**. Disponível em: https://www.marizopolis.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 4 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POMBAL. **História do Município**. Disponível em: https://www.pombal.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 5 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO DOMINGOS. **História do Município**. Disponível em: https://www.saodomingos.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 7 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE. **História do Município**. Disponível em: https://www.sjrp.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 8 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DA LAGOA TAPADA. **História do Município**. Disponível em: https://www.saojoselt.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 8 maio 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SOUSA. **História do Município**. Disponível em: https://www.sousa.pb.gov.br/historia_do_municipio. Acesso em: 9 maio 2025.

QUIROGA, M. R. **Estatísticas del medio ambiente en América Latina y el Caribe: avances y perspectivas**. Santiago do Chile: CEPAL, 2005. (Series Manuales).

RAFFESTIN, C. **Por uma geografia do poder**. Tradução: Maria Cecília França. São Paulo: Ática, 1993.

RIBEIRO, M. A. de F. M. *et al.* Simulação da prioridade de uso das águas superficiais como um critério para o instrumento da outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 135–145, abr./jun. 2014.

ROCHA, D.; AMARAL, C. **Hidrogeologia da Bacia do Rio do Peixe – Geologia da Bacia do Rio do Peixe**. Recife: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2006.

RODRIGUES, J. M.; J.O.P. Estilos fluviais do alto curso do rio Piranhas, ambiente semiárido (PB). **Revista de Geografia (Recife)**, v. 38, p. 347–364, 2021.

SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. *In*: SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* (org.). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: Associação de Plantas do Nordeste e Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, 2002.

SANTOS, A. M.; HOLMES, D. C. S. C.; RAMOS, H. F. Densidade demográfica: um estudo comparativo de duas metodologias a partir de imagens orbital e suborbital na cidade de Aparecida de Goiânia/Goiás. **Ateliê Geográfico**, v. 12, n. 1, p. 175–200, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5216/ag.v12i1.45968>.

SANTOS, M. **Por uma geografia nova**. São Paulo: Hucitec; Edusp, 1978.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHMIDT, D. M.; MATTOS, A. Dinâmica dos regimes de precipitação e vazão da bacia hidrográfica do Alto Piranhas-Açu / PB. **Sociedade e Território**, v. 25, n. 2, p. 70, 2013.

SCIENTEC – Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. **Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas**. João Pessoa: Governo do Estado da Paraíba; Secretaria do Planejamento – SEPLAN, 1997.

SERRER, F.; SCHERER, M. P. O sistema brasileiro de gerenciamento de recursos hídricos: uma proposta democrática e participativa no tratamento da água. **Direito em Debate**, v. 6, n. 45, p. 200–228, 2016.

SETTI, A. *et al.* **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001.

SILVA, D. C. C. da; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A. de; LOURENÇO, R. W. Aplicação de indicadores ambientais para análise da água em bacias hidrográficas (Application of environmental indicators for water analysis in watershed). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 610–626, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170039>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233968>. Acesso em: 5 maio 2025.

SILVA, E. R. A. C. *et al.* Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 3, p. 921–937, 2015.

SILVA, F. T. da; CHAVES, A. D. C. G.; ALMEIDA, R. R. P. de; CAROLINO, R. de A.; GALVÃO, J. de C. Formação histórica e territorial do município de Aparecida – PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 137–142, nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v9i5.3414>.

SILVA, J. T. M.; CABRERA, P. A. L.; TEIXEIRA, L. A. A. Aplicação do método de análise hierárquica no processo de tomada de decisão: um estudo com o empreendedor agrícola da região de Divino/MG. **Revista de Gestão e Planejamento**, v. 7, n. 14, p. 19–30, jul.–dez. 2006.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2014. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=105>. Acesso em: 3 maio 2023.

SOUSA, F. R. L. de; ASSIS, L. F.; VIEIRA, A. S. Modelo de cobrança pelo uso da água: análise da arrecadação na sub-bacia do Alto Piranhas (PB). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 246–261, 2015. DOI: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0019>.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. *In*: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH-Edusp, 1993. cap. 4.

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Water security**, 2020. Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/water-security>. Acesso em: 10 maio 2025.

VAN GINKEL, K. C. H.; HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; HOGEBOM, R. J. Urban water security dashboard: systems approach to characterizing the water security of cities. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 12, p. 1–11, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000997](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000997).

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste (APNE); Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semiárido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 7–17, abr./jun. 2003.

VILA NOVA, F. V. P.; TENORIO, N. B. Doenças de veiculação hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, município de Caruaru-PE. **Caminhos da**

Geografia (UFU. Online), v. 20, p. 250–264, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207145545>.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara/MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

WETZEL, R. G. **Limnology. Philadelphia (PA):** W. B. Saunders Company, 2001.

WHATLEY, M. (org.). **O município e a governança da água: subsídios para a agenda municipal de cuidado com a água.** São Paulo: Aliança pela Água, abr. 2017.

WWAP – United Nations World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World.** Paris: UNESCO, 2015.

APÊNDICE A -MUNICÍPIOS E INDICADORES

MUNICÍPIOS	CÓDIGO	1.1 INDICADORES DENSIDADE POPULACIONAL (HAB/KM²) FONTE IBGE 2023	1.1.1 SUBINDICADOR (IDH-M) FONTE IBGE 2023	2.1 DBO (TON/DIA) FONTE ANA 2018	2.2 TOTAL FONTE ANA 2018	3.1 ÍNDICE DE ATENDIMENTO TOTAL DE ÁGUA % FONTE CAGEPA 2021
Aparecida	2500775	27,31	0,578	0,00	0,00	61,46
Cajazeiras	2503704	112,38	0,679	0,00	0,00	100
Pombal	2512101	36,32	0,634	0,00	0,00	100
São Domingos	2513968	15,23	0,548	20,00	0,4	0,00
Sousa	2516201	92,33	0,668	0,00	0,00	0,00
São José L. Tapada	2514206	21,35	0,530	65,00	1,2	45,47
São José de Piranhas	2514503	27,76	0,591	213,00	3,9	79,59
Marizópolis	2509156	95,85	0,608	106,00	2,00	98,46
Nazarezinho	2510006	37,28	0,562	63,00	1,2	64,94
Carrapateira	2504108	39,14	0,603	34,00	0,6	86,48
Monte Horebe	2509602	37,12	0,587	49,00	0,9	70,89
Bonito de Santa Fé	2502409	45,2	0,574	146,00	2,7	69,03
São João do R. do Peixe	2500700	37,72	0,608	0,00	0,00	55,62

3.2 PERDAS DE ÁGUA PERDAS LINEARES M³/DIA/KM FONTE SNIS 2022	3.3 PERDAS DE ÁGUA PERDAS LIGAÇÃO L/LIG/DIA FONTE SNIS 2022	3.4 QUANTIDADE DE LIGAÇÕES ATIVAS DE ÁGUA FONTE SNIS 2023	3.5 POPULAÇÃO TOTAL ATENDIDA COM ABASTECIMENTO DE ÁGUA FONTE SNIS 2023	3.6 EXTENSÃO DA REDE DE ÁGUA FONTE SNIS 2023	3.7 VOLUME DE ÁGUA PRODUZIDA M³/MÊS/ECO N. FONTE SNIS 2023	3.8 VOLUME DE ÁGUA CONSUMIDA M³/MÊS/ECON . FONTE SNIS 2023
18,37	215,21	1604,00	4894,00	26,29	334,22	202,46
13,94	186,09	21718,00	63117,00	385,36	4137,80	2459,54
30,91	227,47	11335,00	32473,00	108,24	2380,80	1459,54
0,05	0,47	290,00	1078,00	3,00	54,75	54,7
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15,25	190,53	1122,00	3238,00	16,11	202,28	117,07
28,28	187,69	723,00	1938,00	27,32	113,05	82,76
58,32	552,74	1946,00	6608,00	27,33	5688,24	5280,37
15,1	209,64	1479,00	4688,00	23,06	286,82	168,8
11,36	153,18	588,00	1999,00	9,5	101,04	67,56
10,47	139,35	1119,00	3076,00	15,59	157,46	100,2
9,17	120,88	2414,00	6820,00	33,12	353,11	243,73
15,65	248,24	3258,00	9767,00	66,99	663,65	358,37

3.9 SUBINDICADOR VOLUME DE ÁGUA TRATADA EM ETAS FONTE SNIS 2023	4.1 QUALIDADE DA ÁGUA ANÁLISE REALIZADAS AMOSTRAS DE ÁGUA FONTE FUNASA 2013	4.2 TOTAL DE HABITANTES CENSO 2022 FONTE IBGE 2022	4.3 TOTAL DE DOENÇAS DIARREICAS AGUDAS DE TRANSMISSÃO PELA ÁGUA DATASUS 2023	4.4 ÍNDICE DE DOENÇAS DIARREICAS AGUDAS DDA/POP DATASUS 2023	4.5 ÍNDICE DE CONFORMIDADE DA QUANTIDADE DE AMOSTRA (TURBIDEZ) FONTE CAGEPA 2022
334,22	96,00	7.960	389	0,048869347	61,48
4137,8	8,87	63.239	656	0,010373346	99,91
2380,8	59,47	32.473	1.588	0,048902165	100
0,00	0	2.595	126	0,048554913	41,54
0,00	11,72	67.259	2.423	0,036024919	0,00
202,28	96,06	7.126	7	0,000982318	45,44
113,05	0	19.067	61	0,003199245	79,79
5688,24	14,00	6.705	10	0,001491424	98,55
286,82	0	7.203	49	0,006802721	65,08
100,91	0	2.312	118	0,051038062	86,46
157,46	0	4.338	81	0,018672199	70,91
353,11	0	10.252	212	0,020678892	66,52
663,65	0	17.964	689	0,038354487	54,37

4.6 ÍNDICE DE CONFORMIDADE DE QUANTIDADE DE AMOSTRAS COLIFORMES TOTAIS FONTE CAGEPA 2022	5.1 DEMANDA HÍDRICA (VS) URBANA FONTE AESA 2022	5.2 DEMANDA HÍDRICA PROJETADA (VS) URBANA 2032 FONTE AES A 2022	5.3 DEMANDA HÍDRICA (VS) RURAL 2022 FONTE AESA 2022	5.4 DEMANDA HÍDRICA PROJETADA (VS) RURAL 2032 FONTE AES A 2022	5.5 DEMANDA HÍDRICA TOTAL (L/S) 2022 FONTE AES A 2022
96	9,8	10,4	5,8	6,3	15,6
8,87	121,3	126,3	10,8	10,00	132,1
59,47	65,2	67,6	4,7	3,6	69,9
SEM INFORMAÇÃO	2,5	2,6	2,4	2,5	4,9
111,72	131,00	137,00	13,5	12,4	145,4
96,06	8,4	8,7	13,5	5,00	13,3
SEM INFORMAÇÃO	30,5	33,00	7,5	6,6	38,1
14	13,4	13,9	1,00	1,00	14,4
SEM INFORMAÇÃO	8,3	8,7	4,3	4,1	12,6
SEM INFORMAÇÃO	4,5	4,7	0,7	0,7	5,2
SEM INFORMAÇÃO	6,5	6,8	2,4	2,4	8,9
SEM INFORMAÇÃO	22,2	24,4	3,00	2,6	25,2
SEM INFORMAÇÃO	17,6	18,4	12,8	12,7	30,4

5.6 DEMANDA HÍDRICA TOTAL PROJETADA (L/S) 2032 FONTE AESA 2022	5.7 ÁREAS IRRIGADAS (ha) PROJETADA 2032 FONTE AESA 2022	5.8 ÁREAS IRRIGADAS(l/s) PROJETADA 2032 FONTE AESA 2022	6.1 EXTENSÃO DA REDE DE ESGOTOS FONTE SNIS 2023	6.2 QUANTIDADE DE LIGAÇÕES ATIVAS DE ESGOTOS FONTE SNIS 2023	6.3 VOLUME DE ESGOTOS COLETADOS FONTE SNIS 2023
16,7	3488,98	1744,49	40,00	2200,00	550,00
136,3	1342,69	671,34	23,05	3951,00	347,17
71,2	4041,4	2020,7	0,00	0,00	0,00
5,1	19,9	19,9	0,00	0,00	0,00
149,4	13989,8	6994,9	0,00	0,00	0,00
13,7	457,16	228,58	0,00	0,00	0,00
39,6	269,61	134,81	0,00	0,00	0,00
14,9	711,87	355,94	0,00	0,00	0,00
12,8	1392,71	696,35	0,00	0,00	0,00
5,4	127,13	63,57	0,00	0,00	0,00
9,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27,00	866,00	433,00	0,00	0,00	0,00
31,1	2363,69	1181,84	0,00	0,00	0,00
6.4 VOLUME DE ESGOTOS TRATADOS FONTE SNIS 2023	7.1 OUTORGA PELO USO DA ÁGUA FONTE:ANA 2024	7.2 PARTICIPAÇÃO DO MUNICÍPIO NO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA FONTE CBHPPA 2024			
550,00	26,00	0,00			
347,17	15,00	0,00			
0,00	17,00	2,00			
0,00	13,00	0,00			
0,00	189,00	0,00			
0,00	27,00	0,00			
0,00	18,00	0,00			
0,00	16,00	0,00			
0,00	89,00	0,00			
0,00	0,00	0,00			
0,00	7,00	0,00			
0,00	16,00	0,00			
0,00	13,00	0,00			