



UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TERRITÓRIO, AMBIENTE E SOCIEDADE

DAVYSON VIEIRA ALMADA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ-MA: Implicações para a Saúde Pública, o Meio
Ambiente e a Justiça Socioambiental

Salvador/BA
2025

DAVYSON VIEIRA ALMADA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA
ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ-MA: Implicações para a
Saúde Pública, o Meio Ambiente e a Justiça Socioambiental

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Território, ambiente e sociedade da
Universidade Católica do Salvador,
como requisito para obtenção de título
de mestre no programa de Mestrado
em Território, Ambiente e Sociedade.

Linha de pesquisa: Tecnologias, gestões organizacionais, sociais e planejamento:
desenvolvimento e conservação da natureza

Orientadores: Debora Carol Luz da Porciuncula, Manuel Vitor Portugal Gonçalves

Salvador/BA
2025

Dados de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha Catalográfica. UCSal. Biblioteca Dom Geraldo Majella Agnelo

A445 Almada, Davyson Vieira

Análise das propriedades físico-químicas e microbiológicas da água na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré-MA: implicações para a saúde pública, o meio ambiente e a justiça socioambiental / Davyson Vieira Almada. – Salvador, 2025.
94 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica do Salvador. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Mestrado em Território, Ambiente e Sociedade. Linha de Pesquisa: Tecnologias, Gestões Organizacionais, Sociais e Planejamento: Desenvolvimento e Conservação da Natureza.

Orientadora: Profa. Dra. Débora Carol Luz da Porciuncula.
Coorientador: Prof. Dr. Manuel Vitor Portugal Gonçalves.

1. Água e Ambiente 2. Saneamento 3. Bacia Hidrográfica 4. Pindaré
I. Porciuncula, Débora Carol Luz da – Orientadora II. Gonçalves, Manuel Vitor Portugal - Coorientador III. Universidade Católica do Salvador. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação IV. Título.

CDU 556.51:628(812.1)

TERMO DE APROVAÇÃO


DAVYSON VIEIRA ALMADA

“ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ-MA: Relevância da Qualidade da Água para a Saúde Pública e o Meio Ambiente”.


Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de
Mestre(a) em Território, Ambiente e Sociedade.

Salvador, 14 de abril de 2025.


Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 DEBORA CAROL LUZ DA PORCIUNCULA
Data: 30/04/2025 13:33:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. Dra. Débora Carol Luz da Porciuncula (orientadora - UCSAL)

Documento assinado digitalmente
 MANUEL VITOR PORTUGAL GONCALVES
Data: 30/04/2025 10:53:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Manuel Vitor Portugal Gonçalves (Coorientador - SEC-BA)

Documento assinado digitalmente
 KATIA REGINA BENATI
Data: 22/04/2025 20:06:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Katia Regina Benati (examinadora interna - UCSAL)

Documento assinado digitalmente
 WELLYSON DA CUNHA ARAUJO FIRMO
Data: 15/04/2025 10:09:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wellyson da Cunha Araújo Firmo (examinador externo – UEMASUL).

Documento assinado digitalmente
 ANA CARINA MATOS SILVA
Data: 15/04/2025 20:07:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ana Carina Matos Silva (examinadora externa - Centro
Universitário Estácio da Bahia)

**"Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente,
mas o que melhor se adapta às mudanças."
– Charles Darwin**

AGRADECIMENTOS

Chegar até este momento é motivo de imensa alegria e realização pessoal. Uma jornada desafiadora, repleta de descobertas, superações e aprendizado. Gostaria de expressar minha mais profunda e sincera gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade. Sair da minha zona de conforto na área da saúde e adentrar no vasto campo das Ciências Sociais Aplicadas foi uma transição difícil, cheia de incertezas, mas cada obstáculo superado representou um crescimento pessoal e acadêmico. Aprender a navegar por novos saberes e metodologias ampliou meus horizontes e me transformou de maneira profunda. Em primeiro lugar, agradeço a Deus, fonte inesgotável de força, sabedoria e serenidade. Em cada momento de dificuldade, nas incertezas do caminho, foi n'Ele que encontrei paz e direção. Sua presença constante renovou minha fé, acalmou meu coração e me deu a certeza de que, com esforço e perseverança, tudo é possível. Este trabalho é uma prova de que, com fé e determinação, as barreiras podem ser vencidas e sonhos realizados. À professora Débora Carol Luz da Porciúncula, minha eterna gratidão pela orientação precisa e pela solicitude incansável. Sua competência e generosidade em compartilhar conhecimento foram fundamentais para que eu pudesse amadurecer como pesquisador e como indivíduo. Sua paciência e dedicação iluminaram momentos de incerteza e me ajudaram a encontrar o melhor caminho para seguir em frente. Ao professor Manoel Vitor Portugal Gonçalves, registro meu mais sincero agradecimento por sua presença constante e sua orientação sempre precisa. Sua solicitude em cada etapa do processo foi essencial para que este trabalho se desenvolvesse com clareza e consistência. Seu apoio e incentivo fizeram toda a diferença nos momentos mais desafiadores desta caminhada. Ao professor Wellyson da Cunha Araújo Firmo, minha mais profunda gratidão por sua presença ao longo da minha trajetória acadêmica, desde a graduação até este momento crucial da dissertação. Seu apoio inestimável, sua orientação atenta e seu compromisso com minha formação foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui. O incentivo contínuo e a disposição para compartilhar conhecimento foram verdadeiros alicerces no meu crescimento acadêmico e profissional. À minha

família, meu porto seguro e fonte de amor incondicional, expresso minha gratidão eterna. Ao meu pai, minha mãe, minha irmã, por acreditarem em mim com uma confiança inabalável e por serem meu alicerce em todos os momentos. Seus exemplos de força e dedicação foram fundamentais para que eu pudesse trilhar este caminho. Este trabalho é mais do que uma conquista pessoal; é o fruto da soma de todos aqueles que acreditaram em mim e caminharam ao meu lado. A Deus, à minha família, aos meus orientadores e a todos que participaram desta trajetória, meu mais sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

A qualidade da água é um fator determinante para a saúde pública, o equilíbrio ecológico e a justiça socioambiental. A bacia hidrográfica do Rio Pindaré, no Maranhão, enfrenta sérios impactos negativos à saúde e ao ambiente decorrentes da urbanização, da agricultura intensiva e da incipiência ou lacunas do saneamento básico. O objetivo deste trabalho foi investigar as desigualdades sócio-espaciais no acesso ao saneamento básico e à saúde e a qualidade microbiológica e físico-química das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, no estado do Maranhão, com ênfase na gestão sustentável da qualidade da água, na promoção da saúde e na efetividade da garantia do direito à água e ao ambiente salubre. A pesquisa foi fundamentada na coleta de água superficial do Rio Pindaré para as análises laboratoriais, posteriores, de variáveis físico-químicas (pH, turbidez) e microbiológicas (coliformes totais e coliformes termotolerantes/*Escherichia coli*) e da análise regional socioeconômica e de condições sociais de saúde e saneamento, com base em dados secundários e revisão de literatura, a fim de compreender os impactos da agricultura e das desigualdades sócio-espaciais do saneamento básico sobre as condições de saúde da população e a qualidade da água do Rio Pindaré. Os resultados desta pesquisa revelaram a deterioração da qualidade físico-química e microbiológica da qualidade da água e ambiental do Rio Pindaré, que decorrente do consórcio entre as práticas agrícolas e as lacunas e desigualdades sócio-espaciais no acesso ao saneamento básico, em especial do despejo de efluentes líquidos e do descarte de resíduos sólidos domésticos (“lixo”) inapropriados no ambiente, em desconformidade ao que preconizam a Resolução do CONAMA nº. 357/2012 e a Lei nº 12.305/2010 (“Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos”). Exigem a implementação urgente de intervenções políticas e técnicas que cessem a degradação da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré. Além disso, faz-se necessário uma reflexão crítica sobre a relação entre a intensificação das desigualdades sócio-espaciais e sanitárias e a deterioração da qualidade da água, afetando desproporcionalmente as comunidades mais vulneráveis. Portanto, diante deste cenário propõe-se medidas de gestão integrada dos recursos hídricos, enfatizando a importância de políticas públicas fundamentadas em evidências científicas e na participação comunitária para assegurar a saúde ambiental e promover a equidade social. Demanda-se pela efetividade da garantia dos direitos fundamentais ao saneamento básico, à água potável, ao ambiente salubre e à saúde da população local; bem como da formação de sujeitos que compreendam as múltiplas escalas espaciais e as relações entre território, ambiente e sociedade.

Palavras-chave: Água e Ambiente. Saneamento. Bacia Hidrográfica. Pindaré.

ABSTRACT

Water quality is a determining factor for public health, ecological balance, and socio-environmental justice. The Pindaré River Basin in Maranhão faces serious negative health and environmental impacts due to urbanization, intensive agriculture, and incipient or gaps in basic sanitation. The objective of this study was to investigate socio-spatial inequalities in access to basic sanitation and health, as well as the microbiological and physical-chemical quality of surface waters in the Pindaré River Basin in the state of Maranhão, with an emphasis on sustainable water quality management, health promotion, and the effective guarantee of the right to water and a healthy environment. The research was based on the collection of surface water from the Pindaré River for subsequent laboratory analysis of physicochemical (pH, turbidity) and microbiological (total coliforms and thermotolerant coliforms/*Escherichia coli*) variables. It also analyzed regional socioeconomic and social health and sanitation conditions, based on secondary data and a literature review. The aim was to understand the impacts of agriculture and socio-spatial inequalities in basic sanitation on the health of the population and the water quality of the Pindaré River. The results of this research revealed the deterioration of the physicochemical and microbiological quality of the Pindaré River's water and environmental quality, resulting from the consortium of agricultural practices and socio-spatial gaps and inequalities in access to basic sanitation, especially the dumping of liquid effluents and the inappropriate disposal of domestic solid waste ("garbage") into the environment, in violation of CONAMA Resolution No. 357/2012 and Law No. 12,305/2010 ("National Solid Waste Policy Law"). They require the urgent implementation of political and technical interventions to halt the degradation of water quality in the Pindaré River Basin. Furthermore, a critical reflection is needed on the relationship between the intensification of socio-spatial and sanitary inequalities and the deterioration of water quality, disproportionately affecting the most vulnerable communities. Therefore, given this scenario, integrated water resource management measures are proposed, emphasizing the importance of public policies based on scientific evidence and community participation to ensure environmental health and promote social equity. Effective guarantees of the fundamental rights to basic sanitation, drinking water, a healthy environment, and the health of the local population are required, as well as the training of individuals who understand the multiple spatial scales and the relationships between territory, environment, and society.

Keywords: Water and Environment. Sanitation. Hydrographic Basin. Pindaré.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Usos Consuntivos	21
2.2 Usos Não Consuntivos	25
2.3 Monitoramento Hídrico	26
2.4 Regulamentos para Salvaguarda de Bacias Hidrográficas	29
2.5 Explorando a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré	30
2.6 Importância de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas da Água	35
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
3.1 Área de Estudo e Delineamento Amostral	38
3.2 Delineamento Amostral e Análise da Qualidade da Água	Erro! Indicador não definido.40
3.3 Condições Socioeconômicas, Sociais de Saúde e Saneamento Básico	42
3.4 Abordagens Estatística e Espacial	43
3.5 Limitações da Coleta e Estratégias Complementares	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Socioeconomia e os Direitos Fundamentais ao Saneamento e à Saúde	45
4.2 Variáveis Físico-Químicas e Nutrientes	57
4.3 Parâmetros Microbiológicos	65
4.4. Discussões e Encaminhamentos	67
4.5. Limitações e Desafios Enfrentados	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE	91
ANEXO	95

1. INTRODUÇÃO

A água é vital para a sobrevivência e o desenvolvimento da humanidade, sendo fundamental para amplas esferas que vão da saúde pública à economia. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, (UNESCO), a inquietação com a qualidade da água está se espalhando por todo o planeta porque a poluição cresceu muito, e o progresso da civilização causou impactos drásticos em todos os corpos de água (OMS, 2020; PNUMA, 2021). A disponibilidade de água fresca e limpa é essencial para garantir não apenas a saúde dos seres humanos, mas também a proteção ambiental ecológica e o equilíbrio de diversos ecossistemas (Rockström *et al.*, 2019).

No Brasil, a disponibilidade de água doce é elevada. No entanto, os desafios que cercam a capacidade de gerir eficazmente o recurso e manter sua qualidade estão correlacionados com a rápida urbanização e expansão da agricultura e indústria e a falta de saneamento (Tucci *et al.*, 2017; Tundisi & Tundisi, 2018). À guisa de exemplo deste fenômeno, pode-se mencionar a bacia hidrográfica do rio Pindaré, localizada no Estado do Maranhão. O rio Pindaré é um recurso hídrico vital para a região, que abastece várias atividades econômicas como a pecuária, irrigação, navegação entre outras necessidades de água para diversas finalidades. No entanto, a qualidade da água nessa bacia tem sido prejudicada por problemas como contaminação por esgotos residenciais, resíduos industriais e práticas agrícolas inadequadas. (Santos *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021). Essas pressões humanas não apenas impactam a saúde ambiental da bacia, mas também representam um sério risco para o bem-estar público, uma vez que os habitantes locais dependem diretamente dessas águas para consumo e outras necessidades cotidianas. (Braga *et al.*, 2017; Almeida *et al.*, 2019).

Neste cenário, a análise das propriedades físico-químicas e microbiológicas da água da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré torna-se crucial para a identificação de problemas e para a formulação de estratégias de mitigação. Estudos recentes destacam a importância de monitorar continuamente a qualidade da água para prevenir surtos de doenças de veiculação hídrica e garantir a segurança das populações (EPA, 2019; OMS, 2020). Além disso, a implementação de práticas de

gestão sustentável dos recursos hídricos é fundamental para a preservação do meio ambiente e para a promoção de um desenvolvimento socioeconômico equilibrado (Pahl-Wostl, 2017).

A relevância deste estudo reside na urgente necessidade de fornecer subsídios para o planejamento ambiental e epidemiológico da região que faz parte da Bacia do Rio Pindaré. A deterioração da qualidade da água é um fenômeno alarmante, não apenas por suas implicações diretas na saúde pública, mas também por seu impacto na biodiversidade local e nas atividades econômicas sustentadas por este recurso. A análise detalhada das condições físico-químicas e microbiológicas da água permite não apenas a identificação de contaminantes e fontes de poluição, mas também a formulação de estratégias eficazes de gestão e conservação dos recursos hídricos. (Boyd, 2020; APHA, 2018; WHO, 2021). O conhecimento gerado pode servir como uma ferramenta essencial para a tomada de decisões, orientando políticas públicas que priorizem a proteção da saúde das comunidades e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Nessa perspectiva, percebe-se que essa realidade não é apenas uma questão de gestão ambiental, mas uma profunda questão ética que desafia as estruturas de poder e o modelo de desenvolvimento vigente. O acesso à água potável e limpa deve ser tratado como um direito humano fundamental. Ignorar essa necessidade básica é perpetuar ciclos de pobreza e exclusão social, criando um cenário onde as gerações futuras herdarão não apenas a degradação ambiental, mas também um legado de injustiça (Boelens, 2020). A saúde é um direito fundamental de todos os indivíduos e um dever inalienável do Estado, que deve garantir as condições necessárias para que todos possam desfrutar de um padrão adequado de saúde. Neste contexto, a qualidade da água emerge como um condicionante crucial para a saúde pública.

Portanto, a escassez ou contaminação da água exige um compromisso coletivo que vá além das soluções pontuais. É necessário repensar a forma como interagimos com os recursos naturais, promovendo uma governança que priorize a equidade e a sustentabilidade.

É imperativo reconhecer que a poluição nesta bacia já está impactando muitas pessoas, manifestando-se em problemas de saúde pública, como doenças de veiculação hídrica, que exigem medidas rápidas e integradas. A abordagem tradicional de monitoramento pode não ser suficiente, é necessário um esforço colaborativo entre governos, comunidades e pesquisadores para desenvolver soluções inovadoras que considerem não apenas os aspectos técnicos, mas também os contextos sociais e econômicos (Linton & Budds, 2014)

Diante deste contexto o objetivo geral desta dissertação é analisar as condições físico-químicas e microbiológicas da água da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, visando contribuir para o planejamento ambiental e epidemiológico da região. A análise da qualidade da água envolve a avaliação de diversos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, que são indicadores cruciais do estado de saúde do ecossistema aquático (Boyd, 2020). Parâmetros como pH, turbidez, presença de coliformes fecais e substâncias químicas tóxicas são fundamentais para determinar a potabilidade da água e sua adequação para diferentes usos (APHA, 2018; WHO, 2021). Compreender estes aspectos permite não apenas identificar fontes de poluição, mas também desenvolver estratégias para solucioná-las, promovendo uma boa qualidade da saúde pública e a conservação ambiental.

Tendo como objetivos específicos: Caracterizar o contexto socioeconômico das populações residentes na área da bacia do Rio Pindaré, com foco nos indicadores de acesso ao saneamento básico e às condições de saúde. Analisar a correlação entre a qualidade da água e os impactos sobre a saúde e o bem-estar das comunidades locais, destacando as desigualdades sociais e sanitárias resultantes da degradação hídrica. Reunir e revisar estudos existentes sobre a bacia hidrográfica do Rio Pindaré para complementar os dados empíricos coletados, promovendo uma leitura crítica e integrada das ameaças ambientais e sociais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A água é um recurso vital para a manutenção da vida e desempenha um papel crucial em diversos aspectos do desenvolvimento humano e ambiental. Essencial para a saúde pública, a água é fundamental para o abastecimento humano, a agricultura, a indústria e a preservação dos ecossistemas. Além de ser um elemento central na regulação do clima e na biodiversidade, a água também tem um valor simbólico e cultural significativo, sendo parte integrante das tradições e práticas de inúmeras comunidades ao redor do mundo (Shiva, 2006).

São muitas as formas de se apreender o que é a água, de acordo com Porciuncula (2017), que a considera como sendo um elemento da natureza, simbólica e cultural. Neste sentido, a autora nos convida a refletir que essa forma de apreensão só se torna um problema quando, numa perspectiva disjuntiva, linear e mercadológica, a água é reduzida a uma única dimensão, a que a transforma em recurso hídrico apenas e, com isto, elimina-se da análise as outras dimensões que a constituem.

Como recurso natural e de enorme valor econômico e socioambiental, a água é essencial para a vida humana, bem como para o ambiente e manutenção da biodiversidade existente na Terra. Devendo, portanto, ser utilizada de forma consciente (Peixoto, 2016).

A água cobre 75% do Planeta Terra, contudo a quantidade de águas doces, ou seja, aquelas consideradas próprias para o consumo humano correspondem a apenas 3%. Deste percentual apenas 1/3 estão acessíveis em rios, lagos, lagoas, lençóis freáticos superficiais e na atmosfera. A água é um dos compostos de maior distribuição e importância na crosta terrestre. É um elemento essencial, não apenas por suas características peculiares, mas pelo fato de que nenhum processo metabólico ocorre sem sua ação direta ou indireta. Nestas condições, torna-se imprescindível que sua presença no ambiente esteja em quantidade e qualidade apropriadas para que diferentes usos possam acontecer (Esteves, 1998; Braga *et al.*, 2002; Rebouças, 2002). Além de que, com qualidade e quantidades ideais, pode fornecer serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da biodiversidade,

regulação do clima, suporte à produção agrícola e florestal, e provisão de água potável para consumo humano e animal.

A importância da água não está relacionada apenas às suas funções na natureza, mas ao papel que exerce na saúde, economia e qualidade de vida humana. A proximidade com a água foi um fator determinante para o crescimento e desenvolvimento das civilizações e das cidades que a utilizam para diversos fins. (Sousa, 2014).

É crucial compreender a dimensão cultural da água porque ela desempenha um papel vital nas tradições, nas práticas e identidade de muitas comunidades. Um exemplo é que durante a história, os rios foram essenciais para o progresso social, econômico e cultural em muitas civilizações. Por exemplo, o Nilo foi fundamental para o desenvolvimento do antigo Egito, o Tigre e o Eufrates para a Mesopotâmia, e o Ganges continua a ser sagrado para milhões na Índia. Compreender a relação das comunidades locais com a água é fundamental para desenvolver estratégias de gestão que sejam justas social e culturalmente, assegurando que as práticas tradicionais e os valores culturais sejam respeitados e integrados na preservação e uso sustentável dos recursos hídricos (Gleick, 2014).

Isso implica na necessidade de políticas públicas que integrem conhecimentos científicos, saberes tradicionais e práticas culturais, garantindo que a água seja gerida de maneira sustentável e equitativa. A visão mercadológica e linear, ao focar exclusivamente na utilidade econômica, não só marginaliza as populações que dependem diretamente das fontes naturais de água, mas também compromete a sustentabilidade a longo prazo desses recursos.

A gestão integrada deve promover uma participação ativa das comunidades locais, respeitando seus direitos e tradições, e reconhecendo a água como um direito humano fundamental. Embora a Constituição Federal de 1988 não preveja explicitamente o direito à água como um direito fundamental autônomo, este foi reconhecido pela ONU em 2010 como essencial para a vida e a dignidade. Como signatário desse tratado, o Brasil tem o dever de assegurar o acesso à água como parte dos direitos fundamentais. Apesar de propostas de emenda constitucional para incluir o direito à água de forma expressa já terem sido debatidas, elas ainda

não se consolidaram. Nesse contexto, a interconexão entre os sistemas naturais e sociais exige soluções que considerem as dinâmicas ecológicas e as necessidades sociais, promovendo práticas de conservação que beneficiem tanto o meio ambiente quanto as populações humanas.

Diante deste contexto, é essencial falar também que a escassez de água é um desafio crescente em nível global, afetando diretamente a saúde, a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável das sociedades. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso a água potável segura. Até 2050, a demanda por água pode aumentar em até 55%, impulsionada pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento econômico (ONU, 2021). As mudanças climáticas também intensificam a escassez, resultando em padrões de precipitação alterados, secas mais prolongadas e a contaminação dos recursos hídricos existentes (UNESCO, 2020).

No Brasil, a situação é complexa. Apesar de possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, a distribuição geográfica dos recursos hídricos é desigual. Regiões como o Nordeste enfrentam sérios desafios devido às suas características semiáridas, onde a escassez de água já se torna uma realidade constante (Brasil, 2020). De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 35 milhões de brasileiros ainda não têm acesso a água tratada, e a poluição das fontes hídricas agrava a crise de abastecimento (SNIS, 2021).

O agronegócio, embora fundamental para a economia e a segurança alimentar, é um dos setores que mais demanda água. A agricultura irrigada, por exemplo, responde por cerca de 70% da retirada de água doce do planeta (FAO, 2020). No Brasil, o agronegócio é responsável por aproximadamente 72% do consumo de água, com destaque para as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar, que são altamente dependentes de irrigação (ANA, 2020). A expansão deste setor, sem o devido manejo sustentável dos recursos hídricos, pode levar à sobre-exploração e contaminação das fontes de água, comprometendo a disponibilidade

futura para outros usos e exacerbando a escassez hídrica em regiões vulneráveis (Rodrigues *et al.*, 2018).

Além do consumo elevado, o agronegócio contribui significativamente para a poluição das águas. O uso intensivo de fertilizantes e pesticidas nas plantações resulta na contaminação de rios e lençóis freáticos, afetando a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos (Pires *et al.*, 2019). No Brasil, os impactos são evidentes em diversas bacias hidrográficas, onde a presença de resíduos agrícolas compromete a potabilidade da água e a biodiversidade local (Santos & Silva, 2017). A adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, como a agricultura de conservação e a integração lavoura-pecuária-floresta, é crucial para mitigar esses efeitos e garantir a segurança hídrica a longo prazo (Embrapa, 2020).

De acordo com Shiva (2006) que destaca a importância de reconhecer a água como um bem comum e de desenvolver políticas que protejam este recurso vital para assegurar a justiça social e ambiental. A autora argumenta que a gestão sustentável da água deve respeitar os direitos das comunidades locais e indígenas, promovendo práticas agrícolas e industriais que não comprometam os ecossistemas hídricos. Além disso, Shiva advoga pela implementação de sistemas de governança inclusivos e participativos que garantam a equidade no acesso à água e promovam a sustentabilidade a longo prazo. Seus ideais ressoam globalmente, inspirando movimentos que buscam proteger e preservar os recursos hídricos para as gerações futuras.

De acordo com Santos (2020), conforme descrito no Capítulo 18 da Agenda 21, os recursos de água doce são componentes indispensáveis da hidrosfera da Terra e partes fundamentais de todos os ecossistemas terrestres. Os ecossistemas de água doce são regidos pelo ciclo hidrológico, que inclui eventos como inundações e secas, fenômenos que se intensificaram significativamente em algumas regiões nos últimos anos devido às mudanças climáticas. Relatórios recentes indicam que, até 2040, a disponibilidade de água pode diminuir mais de 40% em bacias hidrográficas do Norte, Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste do Brasil, aumentando a vulnerabilidade dessas regiões (ANA, 2023). Além disso, eventos climáticos extremos, como o fenômeno La Niña em 2022 e início de 2023,

resultaram em chuvas extremas no Sul e secas no Norte e Nordeste, afetando milhões de pessoas (OMM, 2023). Este agravamento está intrinsecamente ligado ao crescimento populacional, que eleva a demanda por água, criando desafios adicionais para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

A expansão agrícola, essencial para atender às necessidades de uma população crescente, e o aumento das atividades industriais que demandam grandes volumes de água, intensificam a pressão sobre os recursos hídricos. Nesse contexto, a gestão integrada dos recursos hídricos, que coordena políticas públicas e práticas de uso sustentável da água, se torna essencial. Diferente da gestão tradicional, que frequentemente trata a água de forma isolada, a gestão integrada busca um equilíbrio entre os diferentes usos e impactos, promovendo eficiência e garantindo a disponibilidade de água para as gerações futuras.

A crescente demanda por água, aliada ao crescimento populacional, à impermeabilização dos solos, à degradação da capacidade produtiva dos mananciais, à poluição das águas e ao desperdício, tem causado uma situação preocupante em relação à sustentabilidade do abastecimento público. A diminuição da quantidade e da qualidade da água não afetam a todos de forma igualitária, mas sim a população que habita nas periferias dos grandes centros urbanos e as comunidades de agricultores de baixa renda (BRASIL, 2006).

Ao comparar os recursos hídricos disponíveis com a distribuição geográfica da população brasileira, observa-se uma preocupante disparidade, especialmente nas regiões nordeste e sudeste. A região nordeste, em particular, enfrenta desafios severos devido às condições semiáridas, exigindo a implementação de estratégias específicas para a convivência com a escassez de água. (Sobral, 2011). Estas estratégias incluem tecnologias de redução do uso de água, como a coleta e armazenagem (em tanques de pedra ou cisternas), o manejo da água da chuva, além da construção de barragens subterrâneas e tradicionais.

Trazendo esta situação, é evidente que a gestão sustentável dos recursos hídricos deve ser uma prioridade nacional. É crucial desenvolver políticas públicas que promovam o uso eficiente da água e invistam em tecnologias inovadoras para armazenamento e conservação. Além disso, é necessário um esforço conjunto entre

governo, sociedade civil e setor privado para mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantir a disponibilidade de água para as próximas gerações.

A compreensão do ciclo hidrológico é fundamental para a gestão sustentável da água, pois permite identificar os processos que influenciam a disponibilidade e a qualidade da água. Segundo Tucci (2006), a integração do conhecimento científico sobre o ciclo hidrológico com práticas de gestão adaptativa pode melhorar a resiliência dos sistemas hídricos às mudanças ambientais e climáticas. Isso é particularmente importante em regiões onde a variabilidade climática e a pressão antropogênica ameaçam a segurança hídrica.

Os recursos de água doce, desempenham um papel essencial na sustentabilidade dos ecossistemas terrestres e na vida humana. No entanto, essa visão naturalista deve ser complementada por uma compreensão do ciclo hidrossocial, que considera a água não apenas em termos de suas propriedades físicas e químicas, mas também em termos de suas dimensões sociais, culturais e políticas. O conceito de ciclo hidrossocial enfatiza que a água é simultaneamente um elemento natural e um bem socialmente construído, cujas disponibilidades e acessos são moldados por processos históricos e sociais (Linton & Budds, 2014).

De acordo com Swyngedouw (2009), a água é um elemento intrinsecamente político, cuja distribuição e uso refletem relações de poder e desigualdade. Este autor argumenta que as práticas de gestão da água não podem ser desvinculadas dos contextos sociais e econômicos nos quais estão inseridas. A visão tradicional de gestão dos recursos hídricos, centrada apenas em aspectos técnicos, muitas vezes ignora as complexas interações entre a água e as dinâmicas sociais, exacerbando desigualdades existentes.

Boelens (2020) também contribui para essa perspectiva, destacando como os direitos à água e os sistemas de governança são frequentemente determinados por interesses políticos e econômicos que marginalizam as comunidades locais e indígenas. Boelens propõe uma abordagem que reconheça a justiça hídrica, onde as necessidades e os direitos das comunidades mais vulneráveis sejam priorizados nas políticas de gestão de recursos hídricos.

Nesse sentido, a adoção de uma perspectiva do ciclo hidrossocial permite uma análise mais abrangente e crítica das questões de água, integrando aspectos ambientais e sociais. Este enfoque é crucial para desenvolver políticas e práticas de gestão que não apenas assegurem a disponibilidade de água em termos quantitativos, mas também promovam a equidade no acesso e uso deste recurso vital.

Refletindo sobre essas múltiplas perspectivas, é evidente que a água não pode ser vista apenas como um recurso econômico. Sua importância vai além, abrangendo aspectos simbólicos, culturais e ecológicos que são fundamentais para a vida e o bem-estar das comunidades humanas e dos ecossistemas naturais. Reduzir a água a uma mera mercadoria ignora a complexidade e a interdependência dos sistemas naturais e sociais.

A compreensão integrada do ciclo hidrossocial evidencia que as práticas de gestão da água devem considerar não apenas os aspectos técnicos e ambientais, mas também as dinâmicas sociais, econômicas e políticas que influenciam o acesso e a qualidade da água. Essa abordagem é particularmente relevante no contexto brasileiro, onde a distribuição desigual dos recursos hídricos e a falta de infraestrutura adequada agravam as desigualdades sociais e sanitárias. A poluição dos corpos de água por esgotos domésticos e efluentes industriais não tratados ilustra o entrelaçamento entre a degradação ambiental e as questões de justiça social (Shiva, 2006; Gonçalves *et al.*, 2022a; Moreira; Porciúncula; Gonçalves, 2023). Políticas públicas eficazes são essenciais para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e promover a equidade no acesso à água limpa e segura.

Diante da deterioração dos sistemas aquáticos, tornou-se imperativo criar medidas para assegurar a proteção e o uso sustentado desses recursos. A Lei Federal no 9.433 de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997), que tem como um dos seus instrumentos o enquadramento dos corpos de água em classes, de acordo com os usos predominantes. O objetivo deste enquadramento é assegurar às águas uma qualidade adequada para os usos mais exigentes, bem como diminuir os custos de combate à poluição, através de ações preventivas permanentes. Em 2005, a classificação dos corpos de água de acordo

com suas classes foi reformulada com o objetivo de atingir as condições adequadas de qualidade da água, de acordo com o estabelecido nas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente nos 274 e 357. (Brasil, 2000; 2005).

A gestão integrada e participativa das bacias hidrográficas é crucial para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a equidade no acesso à água. Segundo Jacobi (2004), a descentralização e a participação social são princípios fundamentais para a governança das águas, mas sua implementação ainda enfrenta desafios significativos no Brasil. A falta de coordenação entre os diferentes níveis de governo e a fragmentação das políticas públicas resultam em ações desarticuladas e pouco efetivas (ANA, 2013).

Além disso, a limitada capacidade técnica e financeira dos comitês de bacia compromete sua atuação. De acordo com Kemper (2005), muitos comitês de bacia enfrentam dificuldades em realizar suas funções devido à insuficiência de recursos e à falta de apoio institucional. A integração entre os diversos setores que utilizam a água, como agricultura, indústria e abastecimento urbano, é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos (Garrido & Schmidt, 2012).

A necessidade de uma abordagem mais integrada e cooperativa é reforçada por estudos que destacam a importância de uma governança adaptativa e resiliente, capaz de responder às mudanças climáticas e aos impactos socioeconômicos (Pahl-Wostl *et al.*, 2017). Isso inclui a promoção de práticas de gestão que incorporem o conhecimento local e as necessidades das comunidades, fortalecendo a governança local e garantindo uma distribuição mais justa dos recursos hídricos (Ostrom, 2009).

2.1 Usos Consuntivos

De acordo com Carvalho *et al.* (2007), o uso consuntivo é aquele em que uma quantidade determinada de água é extraída de um manancial e, após a sua utilização, ela é devolvida em uma quantidade inferior ou com uma qualidade inferior. De acordo com Tucci (2006), o uso da água é dividido em irrigação, abastecimento humano, indústria (14%) e uso animal (5%).

O Brasil é o sexto país com maior área irrigada no mundo, com 8,2 milhões de hectares, segundo o Atlas da Irrigação da Agência Nacional de Águas (ANA,

2021). A previsão é que essa área alcance 10,09 milhões de hectares até 2030. Apesar dos avanços, o uso excessivo de água na irrigação causa grandes perdas, resultando em desperdícios e na degradação das águas superficiais e subterrâneas. A implementação de tecnologias eficientes no processo de irrigação pode, de fato, contribuir significativamente para a redução dos danos ao recurso hídrico e ao solo (ANA, 2017). O uso excessivo de água neste tipo de atividade causa grandes perdas, o que resulta em desperdícios e na degradação das águas superficiais e subterrâneas. A utilização eficiente do processo de irrigação pode, de fato, contribuir para a redução dos danos causados ao recurso hídrico e ao solo.

A utilização da água nas indústrias varia significativamente de acordo com o ramo e a tecnologia empregada em suas atividades. Setores como a metalurgia, a química e a têxtil, por exemplo, podem demandar grandes volumes de água para processos de resfriamento, limpeza, fabricação e tratamento de produtos. No entanto, ao contrário de outros usos consumidores, o uso industrial é um dos principais fatores de poluição hídrica. A água utilizada nas indústrias, após ser empregada nos processos produtivos, frequentemente retorna ao meio ambiente contendo resíduos tóxicos, como metais pesados e materiais em decomposição, além de produtos químicos e substâncias orgânicas que são altamente prejudiciais aos ecossistemas aquáticos (Santos, 2020; Gleick, 1996; Gunkel *et al.*, 2007).

Esses resíduos podem causar sérios danos ambientais, afetando a qualidade da água de rios, lagos e aquíferos, e colocando em risco a saúde de populações humanas e a biodiversidade. A presença de metais pesados, como mercúrio, chumbo e cádmio, pode ter efeitos cumulativos no organismo humano e nos seres vivos, resultando em doenças crônicas e em desequilíbrios ecológicos (WHO, 2017; Silva; Menezes, 2018). Além disso, os resíduos orgânicos em decomposição podem reduzir significativamente os níveis de oxigênio dissolvido na água, comprometendo a vida aquática e a qualidade do recurso hídrico (UNEP, 2016).

Este cenário é particularmente preocupante no contexto da bacia hidrográfica do Rio Pindaré, onde a degradação da qualidade da água já afeta severamente a saúde pública e os ecossistemas locais. A poluição industrial, juntamente com os efluentes domésticos não tratados, contribui para a deterioração dos corpos d'água,

comprometendo a disponibilidade de água potável e exacerbando as desigualdades sociais e sanitárias na região. Desde 2003, ano em que o Serviço Geológico do Brasil relatou essas condições alarmantes, a situação tem se agravado devido à intensificação de atividades industriais e ao crescimento urbano desordenado (Serviço Geológico do Brasil, 2003).

Diante desse cenário, é imperativo que as indústrias adotem práticas de gestão ambiental rigorosas e tecnologias de tratamento de efluentes eficientes. A implementação de sistemas de tratamento avançados, como a filtração, a adsorção por carvão ativado e os processos biológicos, é essencial para reduzir a carga poluente dos efluentes industriais (AWWA, 2013). Ademais, o desenvolvimento de práticas de produção mais limpas e a reciclagem de água dentro das próprias unidades industriais podem contribuir significativamente para a redução do impacto ambiental (Santos, 2020).

Fica evidente que a indústria tem um papel crucial tanto na degradação quanto na preservação dos recursos hídricos. A adoção de uma postura responsável e proativa por parte das indústrias, aliada a uma regulamentação ambiental eficiente e ao incentivo de tecnologias sustentáveis, é fundamental para assegurar que o uso da água na indústria seja conduzido de maneira a minimizar os impactos ambientais negativos e promover a sustentabilidade a longo prazo. Assim, a água, enquanto recurso vital e limitado, poderá continuar a sustentar o desenvolvimento econômico e o bem-estar social, sem comprometer as necessidades das futuras gerações (Santos, 2020; UNEP, 2016; Silva; Menezes, 2018).

Outro fator de degradação da água é a poluição hídrica, que inclui metais pesados, produtos químicos, descarte inadequado de medicamentos e outros poluentes que prejudicam a qualidade da água e representam riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A gestão adequada dos efluentes industriais torna-se crucial para salvaguardar a qualidade da água e garantir a saúde de comunidades.

Estudos revelam que os fármacos podem alcançar os corpos d'água através do descarte direto em ralos, lixões ou através do sistema de esgoto não tratado,

impactando negativamente os ecossistemas aquáticos e potencialmente afetando a saúde humana (Schulz *et al.*, 2020; Ternes *et al.*, 2015).

Pesquisas realizadas no Brasil têm detectado uma variedade de medicamentos em concentrações detectáveis em águas superficiais e subterrâneas. Por exemplo, um estudo conduzido por Ternes *et al.* (2015) identificou a presença de fármacos em águas de rios brasileiros, destacando que mesmo pequenas concentrações podem ter impactos cumulativos e de longo prazo nos ecossistemas aquáticos. Além disso, Schulz *et al.* (2020) enfatizam a importância de políticas públicas e práticas de descarte seguro de medicamentos para mitigar esses efeitos negativos.

Para enfrentar os desafios relacionados aos usos consuntivos da água, é fundamental instaurar uma regulamentação eficiente e rigorosa fiscalização. Os recursos hídricos podem ser menos impactados em termos de qualidade ao longo dos mecanismos de monitoramento e controle, quando políticas e medidas ambientais são inovadoras. Para garantir a sustentabilidade dos usos consuntivos da água na região, é importante que os agricultores e produtores também promovam a responsabilidade social e ambiental.

É crucial reconhecer que, embora a existência de regulamentações e fiscalizações seja essencial para mitigar os impactos dos usos consuntivos da água, sua eficácia muitas vezes depende da implementação e aplicação efetiva. A simples existência de políticas ambientais inovadoras não garante automaticamente a preservação dos recursos hídricos. É fundamental que essas políticas sejam acompanhadas por mecanismos robustos de monitoramento e controle, além de uma fiscalização rigorosa. A responsabilidade social e ambiental dos agricultores e produtores também desempenha um papel importante, mas sua eficácia depende do cumprimento voluntário e do comprometimento com práticas sustentáveis. Assim, apenas adotar medidas e políticas sem garantir sua implementação e conformidade pode resultar em impactos limitados e insuficientes para alcançar a sustentabilidade desejada dos recursos hídricos.

2.2 Usos Não Consuntivos

De acordo com Rebouças (2002), os usos não consuntivos utilizam a água em seus próprios mananciais, sem a necessidade de retirá-la do sistema de captação. Ou seja, após a sua captação, ela retorna integralmente aos mananciais. Por exemplo, a geração de energia elétrica, a navegação, a pesca, a preservação da flora e da fauna, recreação, além dos usos simbólicos, religiosos e culturais

Essas atividades desempenham um papel crucial na manutenção do equilíbrio ambiental e no suporte ao desenvolvimento econômico e social. A geração de energia hidrelétrica, por exemplo, é uma das principais fontes de energia renovável do mundo. Ela utiliza o potencial energético dos cursos d'água, convertendo a energia cinética e potencial da água em eletricidade sem consumi-la (EPE, 2020). De forma semelhante, a navegação aproveita os corpos d'água como vias de transporte, contribuindo para a movimentação de pessoas e mercadorias de maneira eficiente e com baixo impacto ambiental (UNCTAD, 2021).

A pesca e a preservação da flora e da fauna também dependem da manutenção da integridade dos mananciais de água. Esses usos promovem a biodiversidade e sustentam comunidades locais que dependem desses recursos para sua subsistência. A recreação, por sua vez, abrange atividades como natação, canoagem e turismo ecológico, que tanto proporcionam bem-estar às pessoas quanto incentivam a proteção e conservação dos ambientes naturais (UNEP, 2021).

Analisando os usos não consuntivos da água, é evidente que eles desempenham um papel vital na sustentabilidade ambiental. A gestão eficiente desses usos é essencial para garantir que os benefícios econômicos e sociais obtidos não comprometam a integridade ecológica dos mananciais. Assim, políticas públicas que promovam o uso racional e a proteção dos recursos hídricos são fundamentais para assegurar a sustentabilidade a longo prazo e a preservação desse recurso vital para as futuras gerações.

No entanto, é essencial considerar que mesmo os usos não consuntivos podem influenciar indiretamente os recursos hídricos. Por exemplo, a construção de represas para geração de energia pode alterar o fluxo natural dos rios e impactar ecossistemas aquáticos. Da mesma forma, a navegação pode introduzir poluentes ou perturbar habitats aquáticos sensíveis.

É crucial adotar uma abordagem crítica e reflexiva para avaliar não apenas os benefícios, mas também os potenciais impactos dos usos não consumíveis da água. Isso envolve não apenas reconhecer os benefícios socioeconômicos dessas atividades, mas também examinar cuidadosamente suas consequências ambientais a longo prazo. É necessário promover políticas e práticas que garantam a sustentabilidade dos recursos hídricos, integrando princípios de responsabilidade ambiental e social em todas as fases de planejamento e implementação.

Portanto, a discussão sobre os usos não consumíveis da água deve ser conduzida com uma visão ampla e crítica, buscando equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Isso requer não apenas o reconhecimento dos benefícios presentes, mas também um compromisso firme com a proteção dos recursos hídricos para as gerações futuras.

2.3 Monitoramento Hídrico

O monitoramento dos recursos hídricos é um instrumento poderoso para análise e gestão da qualidade da água, uma vez que contribui para a redução dos impactos advindos das atividades humanas (Pereira *et al.*, 2020). No entanto, para a realização do monitoramento da qualidade da água, é indispensável ter um conhecimento aprofundado das características físicas, químicas e biológicas da água ao longo do tempo e do espaço (Arantes *et al.*, 2020). A quantidade e a variação das variáveis limnológicas podem alterar os atributos naturais da água.

O monitoramento também é indispensável para indicar possíveis alterações na qualidade da água, decorrentes do uso e ocupação do solo. (Sales *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2021). Dessa forma, as parcerias com órgãos de fiscalização tornam-se cada vez mais eficazes, pois auxiliam na identificação de alterações na qualidade da água, facilitando a tomada de decisões técnicas e legais pelos órgãos competentes, contribuindo para a preservação e recuperação dos ecossistemas. (Silva *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2021).

O monitoramento dos recursos hídricos no Brasil é conduzido por diversos órgãos e instituições responsáveis pela gestão ambiental e hídrica como as agências estaduais de meio ambiente, que desempenham um papel fundamental nesse processo. Essas entidades realizam coletas periódicas de amostras em

diferentes pontos de interesse, como rios, lagos e reservatórios, para avaliação das características físicas, químicas e biológicas da água.

Além disso, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) bem como o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH), que integra dados de monitoramento de qualidade da água de diversas fontes e disponibiliza informações atualizadas para gestores, pesquisadores e público em geral. A ANA também define diretrizes para o monitoramento e estabelece normas técnicas que orientam as ações dos órgãos estaduais e municipais responsáveis.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA. Por meio das Resoluções CONAMA, são estabelecidos critérios técnicos e padrões de qualidade ambiental que orientam as atividades de monitoramento em todo o país. As resoluções do CONAMA, como a Resolução 357/2005, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, são fundamentais para garantir a proteção dos corpos hídricos e promover a recuperação da qualidade da água.

O CONAMA também promove a participação pública e o diálogo entre diferentes setores da sociedade civil, academia e governos na definição de estratégias e políticas ambientais. Através de suas resoluções e diretrizes, o CONAMA contribui significativamente para a eficácia do monitoramento da qualidade da água, assegurando a implementação de práticas sustentáveis e a conservação dos recursos hídricos no Brasil.

A participação de universidades e instituições de pesquisa também é crucial, contribuindo com estudos científicos que aprimoram o entendimento sobre os impactos das atividades humanas na qualidade da água. Essas parcerias colaborativas fortalecem o conhecimento científico necessário para embasar políticas públicas e ações de gestão ambiental voltadas à preservação e recuperação dos recursos hídricos. Desta maneira, esta dissertação serve como um exemplo concreto de como a academia pode e deve desempenhar um papel central na promoção de práticas sustentáveis de uso e conservação dos recursos hídricos, evidenciando o impacto positivo que o conhecimento científico pode ter na resolução de problemas ambientais críticos.

No entanto, de acordo com Zhao *et al.* (2012), para uma compreensão global dos recursos hídricos, é indispensável o emprego de ferramentas estatísticas, que apresentem uma perspectiva global dos fenômenos ambientais, que, em sua maioria, não são perceptíveis por métodos convencionais. Dessa forma, para facilitar a divulgação e a interpretação de dados para o público, o Índice de Qualidade da Água (IQA) é adotado (ANA, 2021). O IQA é expresso através de um valor único, apontando dessa forma a classificação da qualidade da água. Este índice é composto por parâmetros como a concentração de oxigênio dissolvido, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes e outros indicadores importantes da qualidade da água. Esses parâmetros são ponderados para refletir o estado ecológico do recurso hídrico, ajudando a identificar problemas e guiar a gestão de água de forma mais eficaz (Von Sperling, 2018).

Um exemplo prático da aplicação do IQA pode ser visto na avaliação da qualidade da água do Rio Tietê, em São Paulo. De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Brasil (ANA, 2021), a qualidade da água do Rio Tietê é monitorada em diversos pontos ao longo do seu curso, desde a nascente até a foz. Em um dos pontos de monitoramento localizado na cidade de São Paulo, o IQA apresentou um valor de 30, classificando a qualidade da água como "ruim" devido à alta concentração de poluentes orgânicos e a presença de coliformes fecais. Esta classificação demanda por medidas de gestão e tratamento para melhorar a qualidade da água e reduzir os impactos ambientais e à saúde pública.

A importância do monitoramento dos recursos hídricos é destacada como um instrumento essencial para analisar e manter a qualidade da água, sobretudo em relação às consequências das atividades humanas. Esta prática torna possível monitorizar as características físicas, químicas e biológicas da água ao longo do tempo e do espaço, fornecendo informações cruciais para identificar potenciais alterações e tomar medidas adequadas para proteger e restaurar os ecossistemas aquáticos.

A melhoria significativa da eficácia do monitoramento e a colaboração entre órgãos de fiscalização, possibilita uma abordagem integrada na gestão dos recursos hídricos. No entanto, além dos métodos convencionais de análise, é

necessário utilizar ferramentas estatísticas detalhadas que fornecem uma visão global dos indicadores ambientais para uma compreensão abrangente dos recursos hídricos. Portanto, o Índice de Qualidade da Água (IQA) aumenta de maneira simples e fácil para avaliar e comunicar a qualidade da água ao público em geral, contribuindo para uma gestão mais transparente e eficiente dos recursos hídricos.

2.4 Regulamentos para Salvaguarda de Bacias Hidrográficas

Pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, o governo brasileiro está promovendo uma tentativa de organizar as informações sobre a gestão das bacias hidrográficas por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A Política Nacional de Recursos Hídricos esclarece que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação das políticas e medidas do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A política hídrica é orientada pelo uso da água sem comprometer a qualidade da água, adapta-se à diversidade biológica, demográfica, econômica e social e está explicitamente vinculada ao uso do solo. Esta lei trata de esquemas de subsídios para regular o uso e manutenção da qualidade sujeita a subsídios.

Além de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos é responsável por: Planejar, regular e gerir o uso, conservação e recuperação dos recursos hídricos. Este sistema de gestão inclui o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, Comissões de Bacias, Órgãos Governamentais e Autoridade de Águas (ANA, 2012).

Em termos de comissões de bacias hidrográficas no Brasil, há uma distribuição muito diversificada, principalmente nas regiões sul e sudeste, mas a maior área de bacias hidrográficas está na região norte, onde apenas uma comissão de bacia foi estabelecida. No total, foram instalados 168 CBHs cobrindo cerca de 2.001.490 km² e 4.384 comunidades. A menor bacia hidrográfica com CBH é o rio Cambuiú-SC com 120 km². Já a maior fica no estado da Bahia (BH do Rio Grande) com área de 77.000 km². Em termos de população, varia de 10.000 (CBH do Rio

Santa Maria do Doce ES e CBH do Rio Itapemirim) a 19.070.000 (CBH do Alto Tietê). O número de comunidades envolvidas no processo também varia, sendo uma comunidade no Amazonas, CBHs no Lago Paranoá DF e Lagoa da Conceição SC, e 117 comunidades nos CBHs dos Rios Taquari e Antas. Comparando as regiões Norte (CBH 1) e Nordeste (CBH40) com a CBH BR, encontramos 24,4% (n=41) e 32,7% (655.420 km²) de comissões apuradas. 23,7% (32.101.000) dos habitantes estão distribuídos em 1.086 municípios (24,7%) (ANA, 2012).

A rede maranhense de hidrovias é composta por grandes rios com ondulações planas de norte a sul, com baixas declividades na parte média e baixa. A maioria dos rios é perene (IBAMA; SEMATUR, 1991).

Em relação à efetividade e aplicação dessas políticas, é crucial considerar algumas questões críticas. Por exemplo, embora a descentralização tenha sido proposta para a coleta e geração de informações sobre os recursos hídricos, enfrenta-se desafios para garantir o acesso equitativo a essas informações por toda a sociedade, sobretudo pelos menos afetados. Além disso, a distribuição desigual das comissões de bacias hidrográficas no país, que encontra mais técnicas nas regiões sul e sudeste em comparação com o norte e o Nordeste, provoca preconceitos sobre a representatividade e a participação democrática na gestão hídrica disponível em todo o território nacional.

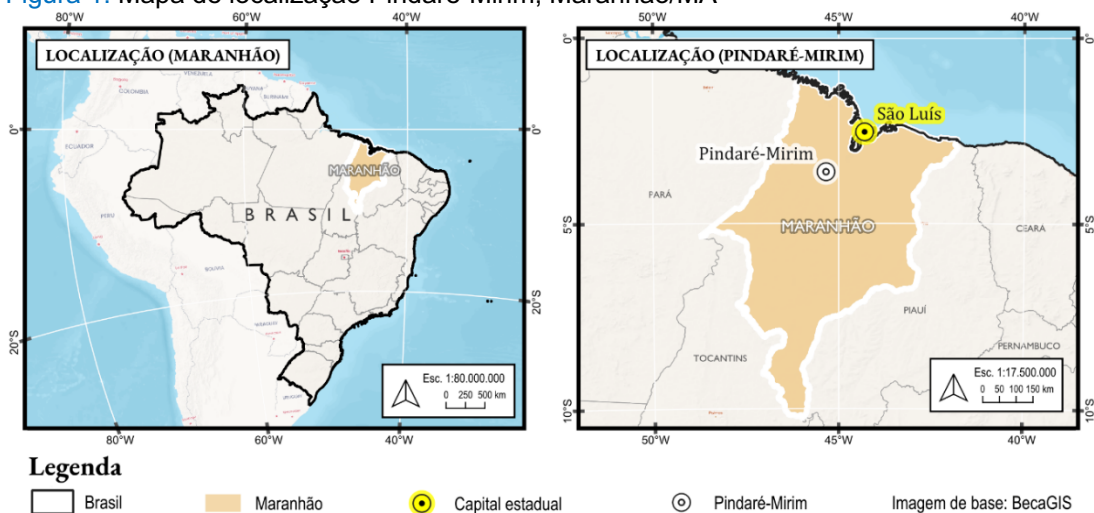
Para garantir uma abordagem inclusiva e abrangente para a gestão dos recursos hídricos em todas as regiões do país, é necessário investir mais esforço. É crucial adotar essas considerações ao formular e implementar políticas hídricas, devido à relevância das hidrovias maranhenses, em virtude de uma gestão sustentável e equilibrada dos recursos hídricos, tanto em termos de conservação ambiental quanto de progresso econômico. Portanto, embora a legislação brasileira sobre recursos hídricos represente um avanço significativo, há desafios a serem enfrentados para garantir uma gestão eficaz e equitativa dos recursos hídricos em todo o país, especialmente em regiões menos desenvolvidas e mais vulneráveis.

2.5 Explorando a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré

O Maranhão possui um grande potencial hídrico abrangendo uma área de 325.650 km², composto principalmente por bacias adutoras, lagoas e águas

subterrâneas (Maranhão, 2006). O estado possui nove bacias adutoras (Atlas do Maranhão, op. cit.), famosas por seu tamanho e volume de água. Isso inclui a Bacia Hidrográfica de Pindaré, que é a terceira maior em área e uma das maiores fontes de abastecimento de água da capital do estado do Maranhão, onde se encontra situado em seu baixo curso o município de Pindaré-Mirim (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização Pindaré-Mirim, Maranhão/MA



Fonte: (Autor, 2025).

A Bacia do Aqueduto Pindaré, que cobre 4.040.000 hectares, tem seu principal corpo d' água no rio de mesmo nome. Sua extensão chega a 720 km desde a nascente da Serra do Gurupi até a foz do Golfo de São Marcos (IBAMA; SEMATUR, 1991). A rota atravessa terras indígenas, reservas naturais, áreas de pecuária, plantações, desmatamentos e dezenas de estradas (rodovias e vicinais) denominadas Estrada de Ferro Carajás, margeando a cidade. Seus corpos d'água são utilizados como cursos d'água, abastecimento urbano, irrigação e bebedouros para animais. Esse fluxo dinâmico torna o rio importante para centenas de milhares de pessoas que vivem na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, que é a terceira maior do Maranhão ($\pm 12,4\%$ do estado), com excelente potencial hídrico e de navegação (IMESC, 2010). O período de maior vazão é de dezembro a maio, apresentando os demais meses baixa vazão. Seu principal afluente é o rio Zutiua (Costa *et al.*, 2011).

A Bacia Hidrográfica do Rio Ztiua, conhecida como rio Gentil, está localizada na parte noroeste do estado, no curso médio da Bacia do rio Pindaré. Ocupa cerca

de 1.012.867 hectares, tem 271 km de extensão e contém 13 municípios de proporções variadas, destacando-se Santa Luzia, Amarante do Maranhão e Arame, sendo essencial para a agricultura e outras atividades econômicas (IBGE, 2010). A agricultura existe em todos os municípios como uma indústria com variados tipos e volumes de produção, mas a pecuária é a atividade que mais impacta a economia. Distribui-se amplamente em áreas com babaçu, além das áreas sob matas, além do que pode-se encontrar, igualmente, pastagens em encostas e relevos ondulados. Isso pode facilitar o processo de erosão por falta de vegetação e pisoteio. Ademais, o plantio de eucalipto é outra atividade que impacta a economia.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré desempenha um papel fundamental no fornecimento de água para os múltiplos usos, incluindo abastecimento urbano, irrigação agrícola e suporte aos ecossistemas locais (IMESC, 2010). É caracterizada por uma dinâmica complexa, influenciada pela interação de fatores naturais e atividades humanas. Entre os principais afluentes está o rio Zutuia, ou seja, o Rio Gentil, que contribui significativamente para o volume hídrico da bacia.

Além dos usos diretos da água, a bacia do Pindaré enfrenta desafios ambientais significativos. A expansão da agricultura e da pecuária, aliada ao desmatamento e ao cultivo de eucalipto, são práticas que impactam diretamente os recursos hídricos da região. A pecuária, em particular, tem sido uma atividade predominante que se estende por áreas com vegetação nativa, aumentando a sedimentação e a carga de nutrientes nos rios e córregos da bacia (IBGE, 2010).

Além das pressões ambientais locais, a gestão da bacia do Rio Pindaré enfrenta desafios relacionados à governança e à coordenação entre os diferentes atores envolvidos na utilização e preservação dos recursos hídricos. Assim, o monitoramento e a gestão integrada são basilares para garantir a sustentabilidade dos usos da água e a conservação de ecossistemas aquáticos e terrestres na bacia.

A falta de uma governança eficaz pode resultar em conflitos de uso da água e na degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres. A implementação de políticas públicas que promovam práticas agrícolas sustentáveis, a regulamentação do uso industrial dos recursos hídricos e a conservação das áreas naturais que alimentam a bacia seriam estratégias a ser adotadas.

A coordenação entre órgãos governamentais, comunidades locais, organizações não governamentais e setor privado é fundamental para o sucesso dessas estratégias. A participação ativa das partes interessadas no processo decisório pode ajudar a alcançar um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, assegurando que as gerações futuras tenham acesso aos benefícios proporcionados pelos recursos hídricos da bacia do Rio Pindaré (MA).

Portanto, refletir sobre esses desafios e implementar medidas eficazes são essenciais para garantir não apenas a disponibilidade de água para usos múltiplos, mas também a preservação dos ecossistemas vitais que dependem do rio Pindaré para sua sobrevivência e sustentabilidade.

O planejamento ambiental, que requer o uso adequado dos recursos naturais expresso em uma dimensão geográfica, apresenta a bacia hidrográfica como a principal unidade de planejamento e implementação de projetos ambientais (Atlas do Maranhão, 2002). Desse modo, no contexto da Bacia do Rio Pindaré, o planejamento ambiental busca conciliar o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental, estabelecendo diretrizes para o manejo adequado das águas, o controle da poluição, a conservação da biodiversidade e a promoção do uso sustentável da terra. Isso requer a participação ativa de diversos atores, incluindo governos locais, comunidades, empresas e organizações não governamentais.

A implementação eficaz do planejamento ambiental na bacia envolve a integração de práticas agrícolas sustentáveis, a regulação do desmatamento e da ocupação do solo, além da promoção de infraestrutura verde que proteja áreas sensíveis e promova a recuperação de ecossistemas degradados. Essas medidas visam não apenas conservar os recursos naturais, mas também mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantir a resiliência dos sistemas naturais e das comunidades locais frente a eventos extremos.

Os impactos das atividades humanas na qualidade da água são complexos, específicos do local e dependentes de muitos fatores físicos e bioquímicos. Conhecer as quantidades físicas, químicas e biológicas da água em rios, lagos ou reservatórios é fundamental para a caracterização dos sistemas hídricos. Existem várias maneiras de usar este sistema, que incluem os serviços públicos, irrigação,

lazer, proteção da vida marinha, etc. (Pereira *et al.*, 2007). Com isso, aumentam as demandas por conservação e uso racional das águas naturais (Braga *et al.*, 2010).

Como resultado do crescimento populacional, aumento da atividade agrícola e uso insustentável dos recursos naturais, a bacia do rio Pindaré tem sido atormentada por uma ampla variedade de usos, incluindo desmatamento, erosão, descarga de resíduos sólidos domésticos (“lixo”), fertilizantes e pesticidas. Ambos impactam negativamente os recursos hídricos locais (Sematur, 1991; Silva, 2015).

A expansão das atividades agrícolas e urbanas na Bacia do Rio Pindaré tem promovido significativas alterações no uso do solo, resultando na fragmentação e degradação de habitats naturais. Segundo Santos (2018), a conversão de áreas naturais em zonas agrícolas e urbanas desencadeia processos de erosão do solo e perda de biodiversidade, impactando diretamente a qualidade e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Além disso, Vieira (2016) destaca que a urbanização desordenada na região contribui para a impermeabilização do solo e aumento das enchentes, exacerbando os riscos ambientais e sociais.

A poluição hídrica é outro desafio significativo enfrentado na bacia, sendo a principal fonte de contaminação os efluentes domésticos, industriais e agrícolas não tratados adequadamente. Segundo Lima *et al.* (2020), a presença de nutrientes, metais pesados e pesticidas nos corpos d'água compromete a qualidade da água, afetando a biodiversidade aquática e colocando em risco a saúde humana e animal. Esteves (2011) complementa que a poluição hídrica não apenas compromete a integridade dos ecossistemas aquáticos, mas também representa um obstáculo significativo para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

A erosão do solo e a sedimentação resultante da remoção da cobertura vegetal natural são fatores cruciais que contribuem para a degradação dos cursos d'água na bacia. Segundo Barbosa (2017), a intensificação das práticas agrícolas inadequadas, como o uso excessivo de agroquímicos e a falta de práticas de conservação do solo, aumenta a erosão e o transporte de sedimentos para os rios, que compromete a qualidade da água e ameaça os ecossistemas aquáticos.

Adicionalmente, as mudanças climáticas têm exacerbado os impactos ambientais na Bacia do Rio Pindaré, contribuindo para a intensificação de eventos

climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas torrenciais. Desse modo, Nobre (2019) assinala que as mudanças no regime de chuvas afetam diretamente a disponibilidade de água na região, ampliando os desafios para a agricultura e a segurança hídrica das comunidades locais. Portanto, a gestão integrada e sustentável das águas na Bacia do Rio Pindaré é crucial para mitigar os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas. Deve-se implementar, de acordo com Molion (2018), estratégias eficazes de planejamento ambiental para promoção da conservação dos ecossistemas aquáticos e terrestres, garantindo a resiliência dos recursos naturais frente às pressões ambientais emergentes na região.

O uso insustentável dos recursos naturais das bacias hidrográficas, principalmente os solos, transforma as áreas agrícolas e urbanas em áreas produtoras de sedimentos e poluentes que migram para os corpos hídricos ao longo dos anos, causando prejuízos sociais, econômicos e ecológicos. Olhar os sedimentos revelam a integração de todos os processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos (Pane; Brondi, 2008). Com isso, infere-se que a análise dos sedimentos revela a complexidade e interconexão dos processos biológicos, físicos e químicos nos ecossistemas aquáticos.

O manejo insustentável dos recursos naturais nas bacias hidrográficas resulta na transformação das áreas agrícolas e urbanas em fontes significativas de sedimentos e poluentes, que compromete a qualidade e usos dos corpos hídricos. Destaca-se que olhar os sedimentos revela a integração dos processos biológicos, físicos e químicos atuantes nos ecossistemas aquáticos (Pane; Brondi, 2008). Essa realidade implica em impactos sociais, econômicos e ecológicos, comprometendo a qualidade de vida das populações locais, a viabilidade econômica das atividades agrícolas e industriais, e a saúde humana e dos ecossistemas aquáticos.

2.6 Importância de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas da Água

A água é essencial para a manutenção de ecossistemas saudáveis, a sobrevivência da biota e o desenvolvimento socioeconômico da população mundial (ONU, 2007). É usado para muitas finalidades, a julgar pelo uso doméstico, irrigação agrícola, produção industrial, geração de energia, lazer, turismo e atividades médicas. Contudo, este recurso natural tornou-se uma preocupação global devido

ao risco de poluição, uso insustentável e irracional, escassez e riscos de poluição. Portanto, a água por ser essencial para a vida deve-se garantir o acesso universal de todos os seres humanos a água de boa qualidade (Conceição *et al.*, 2009).

O crescimento populacional e os impactos ambientais das atividades humanas, a exemplo da industrial, têm poluído e deteriorado a qualidade das águas, que agrava a escassez qualitativa e exige o monitoramento das mudanças na qualidade da água. A deterioração socioecológica demanda por gestão das águas e o controle ambiental, de forma a impedir que problemas decorrentes da poluição da água venham a comprometer seu aproveitamento múltiplo e integrado, de modo a colaborar para a minimização dos impactos negativos ao ambiente (Braga, 2002).

A poluição das águas nos municípios que integram a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (MA) provém de vários fatores, de modo que as atividades industriais não são as fontes poluidoras mais relevantes. Destacam-se que as atividades agrícolas, como uso de fertilizantes e pesticidas, que contém nutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio, com o nitrogênio na forma de nitrato, sendo o principal poluente (Feitosa, 2000). Os resíduos sólidos dispostos de forma inadequada acarretam poluição ambiental e doenças de veiculação hídrica, seja pela ingestão de água contaminada, como amebíase, febre tifóide, gastroenterite, hepatite, salmonelose, cólera, seja pelo contato, como nas verminoses e esquistossomose.

As análises microbiológicas e físico-químicas da água são fundamentais para avaliar a sua qualidade e determinar possíveis fontes de poluição e contaminações. O monitoramento da qualidade da água envolve a medição de diversos parâmetros, tais como os coliformes totais e termotolerantes, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio, fósforo e etc. (Von Sperling, 2005).

A importância da análise da água por meio da utilização dos parâmetros físico-químicos reside no fato de que o consumo da água sem o devido controle físico-químico pode afetar a saúde das pessoas. Nesse aspecto, estes parâmetros podem determinar o grau de contaminação das águas, além de caracterizar a sua origem e natureza (Parron; Muniz; Pereira, 2011). O Ministério da Saúde aborda os parâmetros físico-químicos utilizados para avaliar a qualidade da água e também

cita a faixa de valores máximos permitidos, a julgar por parâmetros tais quais o pH, cor, turbidez, teor de ferro e cloreto, entre outros, e parâmetros microbiológicos.

O pH mede a concentração de íons hidrogênio (H^+) na água, indicando se ela é ácida, neutra ou alcalina, sendo um fator crucial para a vida aquática. Por isso, valores de pH fora da faixa de 6,5 a 8,5 podem ser prejudiciais para muitas espécies aquáticas (CETESB, 2009). A turbidez refere-se a quantidade de partículas em suspensão na água, indicando a presença de sedimentos e matéria orgânica. Uma alta turbidez interfere na penetração da luz na água, afetando a fotossíntese e, conseqüentemente, a biota aquática (ANA, 2011). A variável oxigênio dissolvido (OD) indica a quantidade de oxigênio disponível na água para respiração dos organismos aquáticos, onde níveis baixos de OD podem resultar em condições anóxicas, ameaçando a vida aeróbia (Von Sperling, 2005). E a demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mensura a quantidade de oxigênio necessária para decomposição da matéria orgânica presente na água, cujos altos valores de DBO indicam alta carga orgânica, geralmente associada à poluição (Braga *et al.*, 2002).

Os parâmetros físico-químicos da água estão relacionados a diversos fatores que contribuem diretamente para a qualidade da água consumida pelo ser humano. Métodos analíticos podem ser usados para determinar os diversos parâmetros físico-químicos e a presença de substâncias dissolvidas na água (EMBRAPA, 2011)

Em relação a qualidade microbiológica da água, salienta-se que vários microrganismos patogênicos, que podem estar presentes nas águas naturais, incluindo coliformes termotolerantes, bactérias mesófilas e salmonelas, o que exige a monitoramento e vigilância ambiental em saúde. Esses organismos são, em última análise, indicadores da qualidade microbiológica da água, e de ameaças à saúde, principalmente nas áreas com saneamento básico precário (Lucas, 2016).

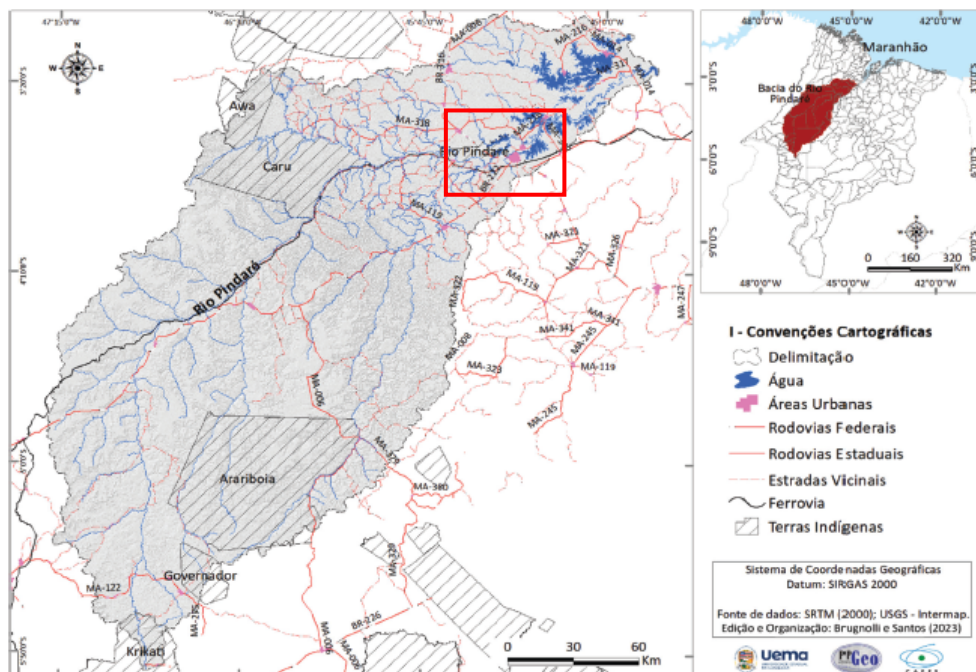
As análises microbiológicas permitem a detecção da presença de microrganismos patogênicos na água, como bactérias, vírus e protozoários, que podem ser responsáveis por doenças muitas vezes associadas ao consumo de água contaminada ou ao contato com águas poluídas. A presença de coliformes termotolerantes é um indicador clássico de contaminação e um parâmetro essencial em programas de monitoramento da qualidade da água (Nogueira *et al.*, 2003).

Além dos coliformes termotolerantes, outras bactérias patogênicas, como *Escherichia coli* e *Salmonella spp.*, podem ser detectados em águas contaminadas, cuja quantificação demanda por metodologias específicas. O uso de métodos como a filtração por membrana e o teste de presença-ausência são comumente efetuados em laboratórios de controle de qualidade da água (Doyle; Erickson, 2006).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A abordagem metodológica desta dissertação descreve os procedimentos e técnicas utilizadas para a coleta, análise e interpretação dos dados referentes à qualidade da água e socioambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (Figura 2). Esta abordagem inclui as etapas de planejamento, caracterização da área de estudo, o delineamento do plano amostral, execução, levantamentos e análise de dados, as técnicas de coleta de amostras e os métodos estatísticos aplicados, de modo que se possa garantir a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos. Desse modo, tem-se que o planejamento foi alicerçada em pesquisa bibliográfica, análise de dados de estudos anteriores sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré.

Figura 2. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, no Maranhão/MA (o polígono em vermelho destaca o baixo curso desta bacia hidrográfica que abrange a área de estudo).

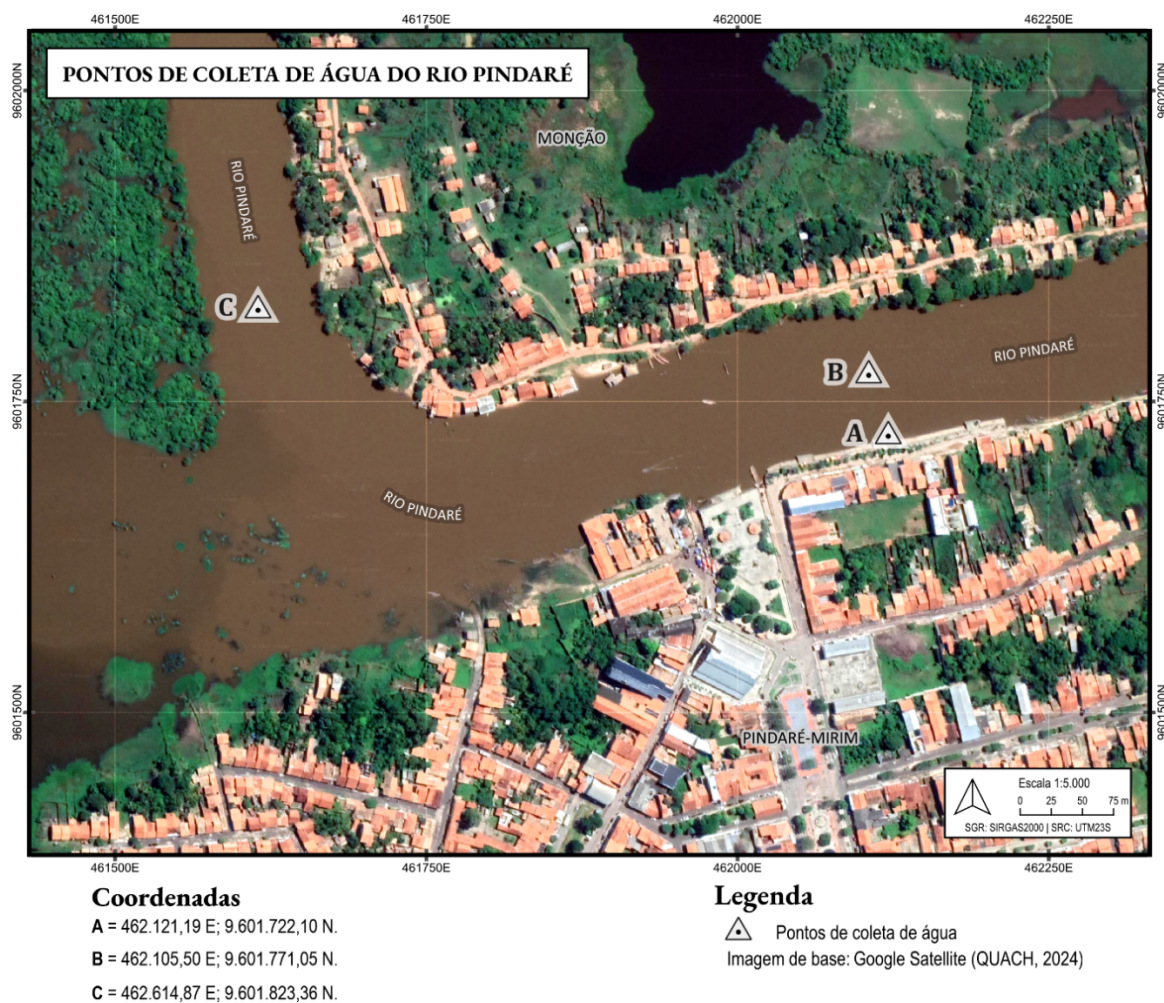


Fonte: (Medeiros, 2024).

3.1 Área de Estudo e Delineamento Amostral

O local de coleta das amostras de água para esta dissertação foi a cidade de Pindaré Mirim, situada no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (Figuras 2 e 3). A escolha desta localidade como ponto de coleta foi baseada em vários fatores que destacam sua relevância para o estudo da qualidade da água na região.

Figura 3. Mapa de localização dos pontos de coleta da água do baixo curso do Rio Pindaré (MA).



Fonte: (Autor, 2025).

O baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (MA) (Figura 2) foi selecionada como área de estudo devido à sua importância ecológica, ambiental e socioeconômica. Esta bacia possui uma área de 40.400 km², que abrange diversos municípios e usos da terra agrícola, pecuária e urbano. Neste contexto, tem-se que a caracterização da área de estudo abrangeu a coleta de informações geográficas,

socioeconômicos, climáticas, hidrológicas e de uso da terra, com auxílio de mapas topográficos e imagens de satélite, utilizando dados de instituições como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC).

Neste âmbito, ressalta-se o município de Pindaré Mirim, que desempenha um papel importante na dinâmica socioeconômica da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré. Este município localiza-se em uma área de intensa atividade agrícola e pecuária, próxima a importantes corredores de transporte, como a Estrada de Ferro Carajás. Esses fatores contribuem para a influência significativa de Pindaré Mirim sobre os corpos d'água locais, tornando-o um ponto estratégico para o monitoramento da qualidade da água (Gomes, 2022). Destaca-se que a população de Pindaré Mirim depende diretamente da água do Rio Pindaré para o abastecimento doméstico, irrigação e outras atividades socioeconômicas, o que exige monitoramento da qualidade da água, avaliação dos impactos das atividades humanas e identificação de possíveis fontes de poluição que possam comprometer a saúde pública e a conservação e os usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos.

Além disso, Pindaré Mirim está situada em um ponto intermediário da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, que deve ser considerada na observação e descrição das variações na qualidade da água ao longo do curso desse rio. Isto porque a análise das amostras de água coletadas neste trecho da bacia hidrográfica pode fornecer informações relevantes sobre as mudanças na qualidade físico-química e microbiológico da água sob a influência de fontes de poluição pontuais e difusas.

3.2 Delineamento Amostral e Análise da Qualidade da Água

O delineamento do plano amostral envolveu, entre os critérios, a definição de pontos de coleta de água ao longo do Rio Pindaré, a uma profundidade de até 20 cm, selecionados com base na acessibilidade e na relevância ecológica-ambiental (Figura 3). Adotou-se procedimentos padronizados de coleta de amostras para que se possa vir a garantir a representatividade e a integridade das amostras (Quadro 1), além da realização das análises laboratoriais físico-químicos e microbiológicos.

A coleta de amostras de água no baixo curso do Rio Pindaré foi realizada no dia 02 de agosto de 2023 pela manhã, durante o período de baixa nesse rio, uma

vez que as chuvas nesse momento do ano no Maranhão são bastante escassas. Para tanto, utilizou-se recipientes de plástico estéril, hermeticamente fechado, com capacidade de 1,5L para a coleta de água destinada a análise físico-química e com capacidade de 100ml e para a análise microbiológica (Quadro 1). Utilizou-se luvas nesses procedimentos para maior fidelidade, em especial na análise microbiológica. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em caixa térmica com temperatura de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ até a chegada ao laboratório e realização de prosseguimentos de análises.

Quadro 1. Procedimentos de coleta de amostras de água da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (MA).

Aspecto	Descrição
Data e Hora da Coleta	02 de agosto de 2023, pela manhã. Período de baixa no rio devido à escassez de chuvas. Tempo: céu limpo, azul, sem nuvens.
Recipientes Utilizados nas Análises Físico-Químicas e Microbiológicas	Usados na Análise Físico-Química: Recipientes plásticos estéreis, hermeticamente fechados, com capacidade de 1,5L.
	Usados na Análise Microbiológica: Recipientes plásticos estéreis, hermeticamente fechados, com capacidade de 100 ml.
Coleta de Amostra	Uso de luvas para garantir a maior fidelidade, especialmente na análise microbiológica.
Condicionamento e Transporte das Amostras	As amostras de água coletadas no Rio Pindaré foram armazenadas em caixas térmicas com gelo reciclável ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) para preservar as características físicas, químicas e microbiológicas.
Localização e Relevância Ecológica-Ambiental dos Pontos Amostrais	Ponto de Coleta A: Localizado na margem direita do Rio Pindaré. Método de Coleta: Uso de recipientes adequados para coleta Relevância: Apresenta marcante comprometimento da qualidade da água devido ao esgoto municipal e poluição por resíduos sólidos (“lixo”), em desconformidade com a Lei nº. 12.305/2010.
	Ponto de Coleta B: Localizado aproximadamente a 150m da margem, no meio do percurso, entre as margens do Rio Pindaré. Método de Coleta: Utilização de transporte fluvial (canoas). Relevância: Avaliação da qualidade da água em uma zona intermediária, fornecendo dados sobre a dispersão de poluentes.
	Ponto de Coleta C: Localizado a montante do Rio Pindaré, a aproximadamente 1 km de distância do Ponto de Coleta B .
	Relevância: Comparação dos parâmetros de qualidade da água antes da influência dos despejos efluentes líquidos da cidade.
Parâmetros Analisados	Físico-Químicos: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo).
	Microbiológicos: Organismos patogênicos e/ou indicadores de poluição fecal (<i>Escherichia coli</i> , coliformes totais).
Importância da Representatividade	Permite uma mais adequada seleção dos pontos de coleta e uma visão abrangente da qualidade da água e ambiental ao longo do Rio Pindaré, auxiliando a identificação das fontes de poluição e na elaboração de estratégias de gestão e conservação das águas.

Fonte: (Autor, 2025).

Os pontos de coleta foram relevantes para que houvesse uma representação fiel do diagnóstico da análise. O primeiro ponto a ser coletado foi o **Ponto A**, localizado na margem direita do Rio Pindaré, onde se observa comprometimento da qualidade da água, com base na diagnose visual, julgar pela presença expressiva de resíduos sólidos de origem domiciliar, além do que o esgotamento municipal escoia nas proximidades do **Ponto A**. Enquanto que o **Ponto B**, que se situa aproximadamente 150m da margem direita do Rio Pindaré, na metade do percurso para o outro lado da margem, utilizou-se o transporte fluvial (canoa) para a coleta das amostras. No **Ponto C**, obteve-se o último ponto de coleta, a montante do Rio Pindaré, a aproximadamente 1 Km de distância do **Ponto B**, a coleta de água buscou a comparação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos antes da chegada do ponto onde se visualiza maior poluição, ou seja, do **Ponto A** (ponto que escoia esgotos da cidade) e propiciar uma avaliação do comprometimento da água.

As análises microbiológicas foram realizadas utilizando o método COLITEST, amplamente empregado para a detecção de coliformes termotolerantes e a análise da produção de indol. Inicialmente, realizou-se a incubação das amostras em meio específico para a detecção de coliformes fecais, observando-se a mudança de cor e a formação de gás como indicativos positivos da quantificação de coliformes. Em seguida, aplicou-se o teste de indol, que permite a avaliação da produção desse composto a partir do metabolismo bacteriano do triptofano. Por fim, realizou-se a contagem de colônias em meio BEM (*Bile Esculin Azide Medium*), adotando-se placas previamente preparadas para a quantificação da carga microbiana presente em cada amostra. Todos os procedimentos foram conduzidos seguindo normas padronizadas de biossegurança e protocolos estabelecidos pela literatura científica.

3.3 Condições Socioeconômicas, Sociais de Saúde e Saneamento Básico

Realizou-se, além das análises da qualidade da água, uma abordagem interdisciplinar de aspectos socioeconômico, ambiental e sanitário e de saúde do município de Pindaré-Mirim - 210850 e seus vizinhos municipais (Alto Alegre - 210047, Bom Jardim - 210200, Santa Inês - 211227, Monção - 210690 e Tufilândia - 211227, Maranhão (2010-2024), que constituem a área de estudo contextualizada, com base na revisão de literatura e no levantamento de dados de fontes oficiais,

como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010; 2022), Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e de relatórios de saúde pública. Almejou-se a compreensão da relação entre assimetrias no acesso ao saneamento básico e à saúde da população e as vulnerabilidade socioambientais.

O Quadro 2 apresenta, sucintamente, os índices e os indicadores adotados das condições socioeconômicas, de saúde e de saneamento dos municípios da área de estudo contextualizada (MA). Adotou-se na análise das relações entre ambiente, saneamento e saúde municípios uma abordagem ecológica, espaço-temporal, associados a epidemiologia-descritiva e a saúde coletiva, baseada nas perspectivas teórico-metodológica e conceitual de Vetter e Simões (1981), Bezerra Filho *et al.* (2007), Porto e Martinez-Alier (2007), Oliveira (2017) e **Gonçalves *et al.* (2021)**, Gonçalves *et al.* (2023). Dialoga-se, ademais, com a perspectiva da Ecologia Política, com base em Leff (2015), Lowy (2016) e Porto-Gonçalves (2020).

3.4 Abordagens Estatística e Espacial

Adotou-se uma abordagem estatística descritiva dos dados de indicadores socioeconômicos, de saneamento, sociais de saúde e de qualidade da água da área de estudo contextualizada (MA). Contemplou, também, o teste de normalidade (*Shapiro-Wilk*), com nível de significância de 0,05%, e o teste de comparações múltiplas aplicáveis a distribuição de dados não paramétricos (*Kruskal-Wallis*) ou paramétricos (ANOVA). Outrossim, comparou-se os dados da pesquisa de campo da qualidade físico-química e microbiológica da água aos de estudos anteriores.

Identificou-se os padrões de qualidade da água os pontos amostrais, comparando-se os resultados de cada ponto entre si e com estudos anteriores, com auxílio de gráficos de barras e de dispersão na análise das variações locais (**Ponto A, Ponto B, Ponto C**) e na identificação de parâmetro (s) afetado (s) por poluentes. Na análise espacial dos dados, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permitiu mapear a localização dos pontos de coleta e associar os dados da água a essas localizações, além da visualização de áreas da bacia afetadas pela poluição, isto é, uma avaliação dos impactos negativos sobre a qualidade da água.

Quadro 2. Descrição dos indicadores socioeconômicos, das condições sociais de saúde ou da efetividade do saneamento ambiental dos municípios da área de estudo contextualizada, Maranhão.

Indicadores Socioeconômicos	Descrição do Indicador
Produto Interno Bruto (PIB) x 1000 (R\$)	O PIB é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos em um país, estado ou município em um certo período (ano ou trimestre). Mensura a dinâmica, crescimento e a saúde de uma economia.
Produto Interno Bruto <i>per capita</i> (R\$)	O PIB <i>per capita</i> é obtido dividindo o PIB Bruto de um país, estado ou município pelo número de habitantes. Avalia o nível de riqueza econômica.
Rendimento Médio Mensal Domiciliar <i>per capita</i> (%)	Descreve o número de domicílios particulares permanentes ocupados, considerados por classe de rendimento médio mensal <i>per capita</i> (%).
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	O IDHM é uma versão do IDH usada na avaliação do “desenvolvimento” das unidades federativas do Brasil, baseado na saúde, educação e renda.
Indicadores Saneamento Básico	Descrição do Indicador
Coleta e Destinação Final dos Resíduos Sólidos	Contempla as informações sobre os desafios para a universalização da coleta e disposição final social e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos.
Forma de Abastecimento de Água	Abrange as informações sobre os mananciais e desafios para universalização do abastecimento público de água, em respeito à dignidade humana.
Rede Geral de Esgoto e Pluvial	Indica os desafios para a universalização do serviço público de esgotamento sanitário adequado e para a promoção da saúde e do saneamento ambiental.
Existência de Banheiro ou Sanitário	Expressa os desafios para a universalização do esgotamento sanitário e do direito à saúde.
Esgotamento Sanitário Adequado (%)	Expressa o atendimento do serviço de esgotamento sanitário de um município, estado ou país (%) e seus impactos positivos ou negativos sobre a qualidade ambiental e saúde.
Uso de Fossas Rudimentares (%)	Permite inferências sobre os impactos negativos diretos das falhas do saneamento básico na qualidade ambiental e saúde humana.
Internações Hospitalares por Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)	Descrição do Indicador
Índice de Internações por Diarreia/ Mil Habitantes	Número de internações por diarreia para cada mil habitantes, que retrata a demanda de gastos com a saúde associados as falhas do saneamento básico, das condições de educação e higiênico-sanitárias.
Doenças de Transmissão Feco-Oral, em especial àquelas decorrentes de diarreia (2010-2024), no contexto das Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI).	Segundo a Classificação Internacional de Doenças (CID - 10): A00 (cólera), A01 (febres tifóide e paratifoide), A02 (outras infecções por <i>Salmonella</i>), A03 (shigelose), A06 (amebíase), A09 (diarreia e gastroenterite origem infecciosas presumível) e A04-A09 (outras doenças infecciosas intestinais).

Fonte: (Autor, 2025).

3.5 Limitações da Coleta e Estratégias Complementares

A presente pesquisa enfrentou desafios metodológicos relacionados à realização de coletas sistemáticas ao longo do tempo ou sazonal, porque fatores logísticos e restrições temporais e financeiras limitaram a execução do plano inicial, resultando na realização de única coleta. Para mitigar essa limitação e assegurar a robustez da análise, apoiou-se na revisão de literatura e na análise comparativa de dados de estudos anteriores sobre a qualidade da água na Bacia do Rio Pindaré (MA), permitindo uma interpretação dos resultados não restrita a análise pontual e uma avaliação crítica das tendências históricas e dos fatores de impacto ambiental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Socioeconomia e os Direitos Fundamentais ao Saneamento e à Saúde

Na área de estudo contextualizada, os municípios de Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim e Monção mostraram as maiores proporções de domicílios particulares permanentes ocupados de caráter rural e os menores valores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), contudo Pindaré-Mirim e Santa Inês têm caráter urbano e os maiores valores do IDHM (Tabelas 1 e 2). Monção apresentou alto número de internações por diarreia por mil habitantes, que evidencia desafios no acesso aos serviços básicos de saneamento e saúde.

Tabela 1. Valores do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* (R\$) e número de domicílios particulares permanentes ocupados, por classe de rendimento médio mensal domiciliar *per capita*, nos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia (MA).

Município	Domicílios		PIB <i>per capita</i> (R\$)		Distribuição percentual (%), por classe de rendimento mensal domiciliar <i>per capita</i> em 2010 (salário mínimo)								
	Urbano	Rural	2010	2021	SR	Até ½	½ - 1	∑SR até 1	1-2	2-5	5-10	>10	>20
Pindaré-Mirim	5.661	2.093	3.584.19	8.926.87	4.91	14.37	26.05	45.33	28.72	19.87	4.76	0.99	0.32
Bom Jardim	4.117	5.493	4.007.38	9.793.62	18.94	19.40	23.93	62.27	23.48	11.57	1.88	0.51	0.10
Santa Inês	19.229	1.035	8.581.36	16.303.11	3.85	6.01	23.58	33.44	30.13	26.90	6.83	1.98	0.71
Monção	2.733	4.737	2.981.22	7.604.26	8.11	26.73	23.94	58.78	26.35	13.11	1.43	0.44	0.07
Tufilândia	695	678	3.973.90	10.236.98	9.98	21.41	24.47	55.86	29.35	13.11	1.17	0.44	0.07
Alto Alegre	2.404	4.868	3.150.77	7.876.42	15.46	24.64	24.59	64.69	22.50	10.74	1.69	0.29	0.10
Mínimo	695	678	2.981.22	7.604.26	3.85	6.01	23.58	33.44	22.50	10.74	1.17	0.29	0.07
Máximo	19.229	5.493	8.581.36	16.303.11	18.94	26.73	26.05	64.69	30.13	26.90	6.83	1.98	0.71
Média	5.807.50	3.150.67	4.379.80	10.123.54	10.21	18.76	24.43	53.40	26.76	15.88	2.96	0.78	0.23
Mediana	3.425	3.415	3.779.05	9.360.25	9.05	20.41	24.21	57.32	27.54	13.11	1.79	0.48	0.10
Dev. Padrão	6785.13	2.128.90	2.100.29	3.198.04	5.95	7.58	0.88	11.87	3.19	6.29	2.30	0.64	0.25
Erro Padrão	2.770.02	869.12	857.44	1.305.59	2.43	3.09	0.36	4.85	1.30	2.57	0.94	0.26	0.10
CV (%)	116.85	67.57	47.95	9777.89	58.25	40.41	3.60	22.23	11.93	39.59	77.84	82.18	111.40
SW (<i>p</i> valor)	<0.012 ^B	<0.18 ^B	0.004 ^B	0.042 ^B	0.59 ^A	0.61 ^A	0.18 ^A	0.34 ^A	0.36 ^A	0.09 ^A	0.05 ^B	0.03 ^B	0.01 ^B

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: coeficiente de variação; SW: teste de normalidade de Shapiro-Wilk. SR: sem rendimento.

Fonte: Elaborada pelo autor (2025), a partir da análise do Censo do IBGE (2010; 2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pindare-mirim/panorama>. Acesso em: 29.03.2025.

Os municípios de Pindaré-Mirim e Santa Inês apresentam os menores percentuais de rendimento médio mensal domiciliar *per capita* de até um salário mínimo (Tabela 1). Caracterizam-se pelo adensamento urbano significativo, maior parte da população residente em áreas urbanas, densidade demográfica mais elevada e valores do IDHM. Revelam-se as assimetrias sócio-espaciais e socioeconômicas entre o rural e urbana, no âmbito da área de estudo, que refletem questões estruturais que afetam o acesso aos direitos fundamentais.

Tabela 2. Aspectos demográficos e distribuição dos valores dos indicadores socioeconômicos e de das condições sociais de saúde e saneamento básicos dos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia, no médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré.

a) Aspectos demográficos e valores do Produto Interno Bruto (PIB) ou da dinâmica econômica, com base na análise e interpretação estatística descritiva dos dados do IBGE (2010; 2022).

Município	População						Densidade demográfica (hab. Km ²)		Produto Interno Bruto - PIB (x 1000) R\$	
	Total	Rural (%)	Urbana (%)	Total	Rural (%)	Urbana (%)	2010	2022	2010	2021
	2010	2010	2010	2022	2022	2022				
Pindaré-Mirim	31.152	8.735	22.417	31.429	8.800	22.629	116.24	117.15	111.629.00	296.247.10
B. Jardim	39.049	22.663	16.386	33.100	19.198	13.902	5.93	5.02	156.660.00	411.429.90
Santa Inês	77.282	4.085	73.197	85.014	4.251	80.763	98.20	108.07	670.908.00	1.466.089.75
Monção	31.738	19.979	11.759	27.751	17.483	10.268	25.47	22.28	94.648.00	257.693.03
Tufilândia	5.596	2.864	2.732	5.507	2.806	2.701	20.66	20.33	22.282.00	60.070.65
Alto Alegre	31.057	21.228	9.829	25.710	17.483	8.227	16.54	13.71	97.762.00	251.785.50
Mínimo	5.60	2.86	2.73	5.51	2.81	2.70	5.93	5.02	22.282.00	60.070.65
Máximo	77.28	22.66	73.20	85.01	19.20	80.76	116.24	117.15	670.908.00	1.466.089.75
Média	35.98	13.26	22.72	34.75	11.67	23.08	47.17	47.76	192.314.83	457.219.322
Mediana	23.26	9.05	25.59	26.56	7.30	29.02	23.07	21.31	104.695.50	276.970.07
Desv. Pad.	31.45	14.36	14.07	29.59	13.14	12.09	47.30	50.68	238.421	507.063
Erro Pad.	64.64	68.28	112.63	76.42	62.51	125.74	19.31	20.69	97.34	240.12
CV (%)	0.21	0.13	0.02	0.08	0.15	0.01	100.27	106.10	123.97	221.43
SW (<i>p valor</i>)	0,10 ^A	0,15 ^A	0,02 ^B	0,08 ^A	0,31 ^A	0,31 ^A	0,05 ^A	0,02 ^B	0,0028 ^B	<0,0004 ^B

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: coeficiente de variação; SW: Shapiro-Wilk.

b) Condições socioeconômicas e valores de indicadores de saúde e de saneamento básico, com base na análise e a interpretação estatística descritiva dos dados do IBGE (2010; 2022).

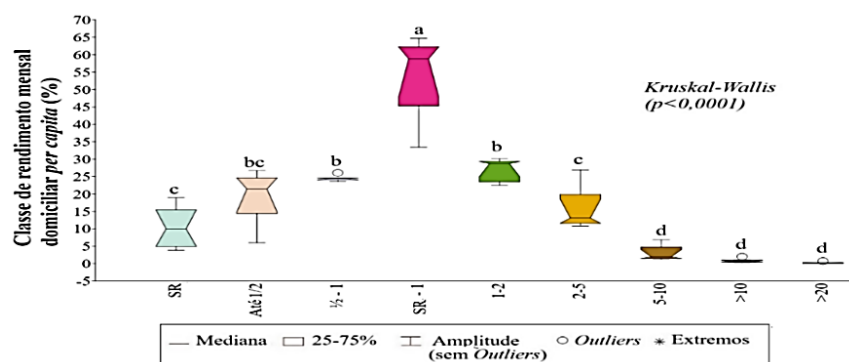
Município	População		PIB <i>per capita</i> (R\$)		IDH-M			Esgotamento Sanitário Adequado (%)		Internações por diarreia/ 100 mil habit.
	2010	2022	2010	2021	1991	2000	2010	2010	2022	2022
Pindaré	31.152	31.429	3.584,19	8.926,87	0.339	0.459	0.633	7.38	7.20	25.50
B. Jardim	39.049	33.100	4.007,38	9.793,62	0.237	0.332	0.538	3.94	4.10	99.70
Santa Inês	77.282	85.014	8.581,36	16.303,11	0.408	0.512	0.674	36.06	35.60	67.00
Monção	31.738	27.751	2.981,22	7.604,26	0.248	0.366	0.546	7.60	7.50	479.30
Tufilândia	5.596	5.507	3.973,90	10.236,98	0.214	0.370	0.555	5.24	4.80	109.00
Alto Alegre	31.057	25.710	3.150,77	7.876,42	0.190	0.366	0.555	9.53	9.10	10.66
Mínimo	5.60	5.51	2981,220	7604,260	0.19	0.33	0.55	3.94	4.10	10.66
Máximo	75.28	85.01	8581,360	16303,110	0.41	0.51	0.674	36.06	35.60	479.30
Média	35.65	34.75	4379,80	10123,54	0.27	0.40	0.546	11.63	11.38	131.86
Mediana	31.445	29.59	3779,045	9360,245	0.24	0.37	0.59	7.49	7.35	83.35
Desv. Pad.	22.55	26.56	2100,290	3198,035	0.08	0.07	2196,13	12.13	12.01	174.63
Erro Pad.	9.21	10.84	0.86	1.31	0.03	0.03	896,57	4.95	4.90	71.29
CV (%)	63,26	76,42	47,96	31,59	30,63	17,23	244,79	104,33	105,46	132,44
SW (<i>p valor</i>)	0,24 ^A	0,07 ^A	0,004 ^B	0,004 ^B	0,32 ^A	0,15 ^A	0,00002 ^B	0,002 ^B	0,0014 ^B	0,01 ^B

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: coeficiente de variação; SW: Shapiro-Wilk (*p valor*).

Fonte: Elaborada pelo autor (2025), a partir da análise do Censo do IBGE (2010; 2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pindare-mirim/panorama>. Acesso em: 29.03.2025.

Em continuidade, verifica-se um domínio dos rendimentos médios mensais domiciliares *per capita* na classe de até 1 salário mínimo, seguido pelas classes de 1 a 2 e de 2 a 5 salários mínimos nos municípios da área de estudo contextualizada (Figura 4). Essas informações refletem a presença das assimetrias nas condições socioeconômicas da população, as diferentes realidades vividas, os significados atribuídos ao território e a territorialização na área de estudo contextualizada (MA).

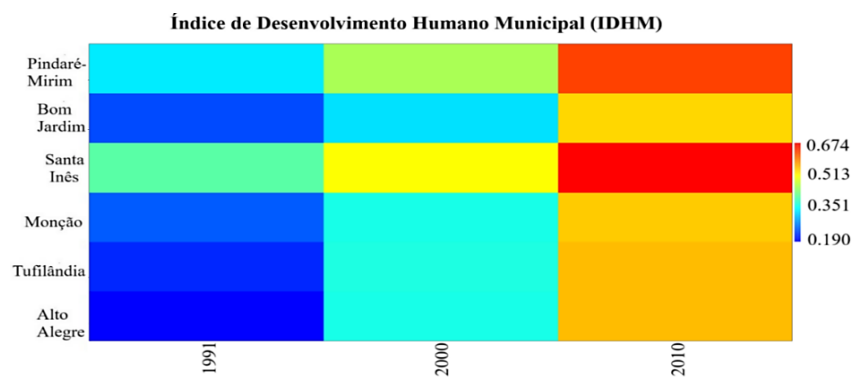
Figura 4. Diagram de dispersão do Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios (IDHM) de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia (MA).



Fonte: Elaborada pelo autor (2025), a partir da análise do Censo do IBGE (2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pindare-mirim/panorama>. Acesso em: 29.03.2025.

Ademias, os valores do IDHM indicavam um desenvolvimento humano muito baixo em 1991, exceto em Santa Inês, em 2000 (Figura 5). Contudo, em 2010, os valores do IDHM de Pindaré-Mirim e Santa Inês condizem com o médio desenvolvimento humano. No Estado do Maranhão, os valores do IDH partiram de 0,357 (muito baixo), em 1991, para 0,639 (médio), em 2010 (IBGE, 2022).

Figura 5. Diagrama de *box-plot* da distribuição percentual da renda por classe de rendimento *per capita* mensal, em média, nos domicílios particulares permanentes ocupados dos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia (MA).

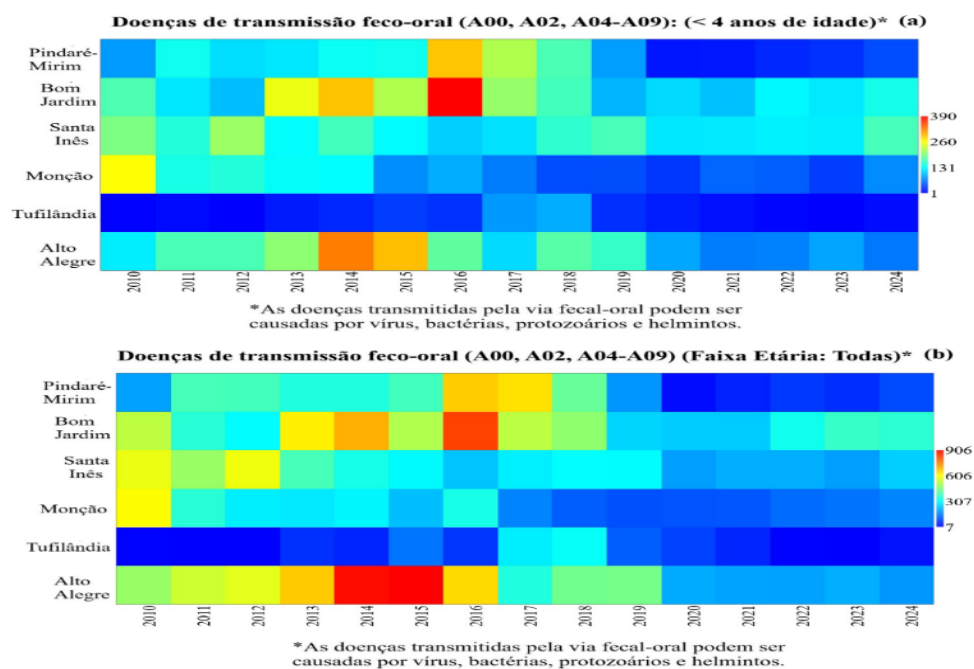


Fonte: Elaborada pelo autor (2025), a partir da análise do Censo do IBGE (2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pindare-mirim/panorama>. Acesso em: 29.03.2025.

Outrossim, aponta-se que os municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim e Tufilândia apresentaram, em 2022, com base nas informações censitárias do IBGE (2022), valores de cobertura de esgotamento sanitário adequado inferiores a 10% (Tabela 2b). Essa condição ameaça os usos possíveis da natureza e à saúde. A diarreia constitui uma questão de saúde pública e coletiva, relacionada ao cerceamento de direitos fundamentais e às múltiplas determinações da saúde (Kuiava *et al.*, 2019; Nascimento, 2019).

Nesse contexto, empreende-se uma abordagem estatística e crítica das internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI) na área de estudo contextualizada (Tabelas 2 b e 3). As internações associadas às Doenças de Transmissão Feco-Oral (Morbidades – CID-10: A00, A02, A04-A09), em especial àquelas decorrentes de diarreia, foram mais críticas, no geral, entre 2010 e 2018, nos municípios de Santa Inês, Alto Alegre do Pindaré e Pindaré-Mirim. No entanto, observou-se o declínio do número de internações hospitalares por diarreia entre os anos de 2019 e 2024 (Figura 6).

Figura 6. Matriz de dispersão das internações por diarreia no contexto das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), considerando o ano processamento nos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia (MA) (2010-2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def> . Acesso em: 29.03.2025.

Tabela 3. Internações por diarreia, no contexto das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), considerando o ano processamento dos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia, no Estado do Maranhão (2010-2024).

a) Doenças de transmissão feco-oral (CID 10: A00, A02, A04-A09) (< 4 anos de idade)*.

Município	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Pindaré	80	138	114	119	136	138	290	220	169	82	12	13	21	26	40
B. Jardim	170	119	98	251	291	220	390	207	165	94	112	99	127	120	141
Sta. Inês	194	149	210	132	165	129	106	116	154	167	119	120	124	122	166
Monção	259	143	149	133	131	73	89	64	40	41	29	53	50	32	72
Tufilândia	2	6	1	14	21	32	26	79	89	25	16	9	4	1	7
A. Alegre	122	168	168	202	326	293	179	112	175	158	86	64	67	85	62
Min.	2.00	6.00	1.00	14.00	21.00	32.0	26.00	64.00	40.0	25.00	12.00	9.00	4.00	1.00	7.00
Máx.	259.0	168.0	210.0	251.0	326.0	293.0	390.	220.0	175.0	167.0	119.0	120.0	127.0	122.0	166.0
Média	137.8	120.5	123.33	141.8	178.3	147.5	180.0	133.0	132.0	94.50	62.33	59.67	65.50	64.33	81.33
Mediana	146.0	140.5	131.5	132.5	150.5	133.5	142.5	114.0	159.5	88.00	57.50	58.50	58.50	58.50	67.00
DP	90.46	58.30	71.92	80.7	112.66	95.66	136.9	65.50	54.96	58.54	49.05	44.71	51.40	51.72	60.70
EP	36.93	23.80	29.36	33.0	45.99	39.05	55.9	26.74	22.44	23.90	20.02	18.25	20.98	21.12	24.78
CV (%)	65.63	48.38	58.31	56.9	63.17	64.9	76.0	49.25	41.64	61.95	78.69	74.93	78.47	80.40	74.63
SW	0.99 ^A	0.02 ^B	0.78 ^A	0.73 ^A	0.62 ^A	0.84 ^A	0.7 ^A	0.22 ^A	0.1 ^A	0.47 ^A	0.14 ^A	0.6 ^A	0.42 ^A	0.30 ^A	0.64 ^A

b) Doenças de transmissão feco-oral (CID 10: A00, A02, A04-A09) (Todas as faixas etária)*.

Município	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Pindaré	196	389	386	345	345	382	665	641	427	183	20	47	73	60	94
B. Jardim	530	354	305	623	699	514	828	529	475	257	246	245	327	371	359
Sta. Inês	584	487	590	389	333	302	237	289	308	304	194	212	212	193	250
Monção	608	355	287	281	297	231	335	162	116	101	105	110	134	142	166
Tufilândia	10	8	7	64	50	145	71	288	314	117	83	51	10	7	29
A. Alegre	486	549	574	669	893	906	650	345	439	445	209	199	197	213	185
Mínimo	10.00	8.00	7.00	64.00	50.00	145.0	71.00	162.0	116.0	101.0	20.00	47.00	10.00	7.00	29.00
Máximo	608.0	549.0	590.0	669.0	893.0	906.0	828.0	641.0	475.0	445.0	246.0	245.0	327.0	371.0	359.0
Média	402.3	357.0	358.2	395.2	436.2	413.3	464.3	375.7	346.5	234.5	142.8	144.0	158.8	164.3	180.5
Mediana	508.0	372.0	345.5	367.0	339.0	342.0	492.5	317.0	370.5	220.0	149.5	154.5	165.5	167.5	175.5
DP	242.9	187.9	215.6	224.6	305.0	272.6	293.3	176.5	132.1	129.6	86.88	86.10	111.98	128.1	116.1
EP	99.18	76.73	88.00	91.68	124.53	111.3	119.7	72.04	53.92	52.89	35.47	35.15	45.72	52.29	47.38
CV (%)	60.38	52.64	60.18	56.83	69.93	65.95	63.16	46.97	38.12	55.25	60.82	59.79	70.50	77.95	64.30
SW	0.13 ^A	0.17 ^A	0.51 ^A	0.72 ^A	0.54 ^A	0.33 ^A	0.63 ^A	0.58 ^A	0.29 ^A	0.62 ^A	0.67 ^A	0.26 ^A	0.97 ^A	0.86 ^A	0.98 ^A

c) Contribuição das internações hospitalares por diarreia e gastroenterite origem infecciosas presumível ou de outras doenças infecciosas intestinais para o total de registros de internações hospitalares por doenças de transmissão feco-oral, no contexto das DRSAI, (MA) (2010-2024)*.

Município	Doenças de transmissão feco-oral ^A		Diarreia e gastroenterite origem infecciosas presumível		Outras doenças infecciosas intestinais	
	Total (nº. de obs.)	Total (nº. de obs.)	Percentual do total das doenças de transmissão feco-oral (%)	Total (nº. de obs.)	Percentual do total das doenças de transmissão feco-oral (%)	
Pindaré	4.253	3.890	91.46	361	8.49	
B. Jardim	6.663	1.004	15.07	5.652	84.83	
Sta. Inês	4.887	2.295	46.96	2.576	52.71	
Monção	3.447	1.692	49.09	1.732	50.25	
Tufilândia	1.254	761	60.69	493	39.31	
A. Alegre	6.982	4.709	67.44	2.232	31.97	
Mínimo	1.25	1.00	15.07	1.73	8.49	
Máximo	6.98	761.00	91.46	493.00	84.83	
Média	4.58	129.10	55.12	144.37	44.59	
Mediana	4.57	3.09	54.89	4.11	44.78	
DP	2.13	309.57	25.34	222.88	25.33	
EP	0.87	126.38	10.34	90.99	10.34	
CV (%)	46.47	239.79	45.97	154.38	56.80	
SW	0.75 ^A	0.00002 ^B	0.91 ^A	0.01 ^B	0.91 ^A	

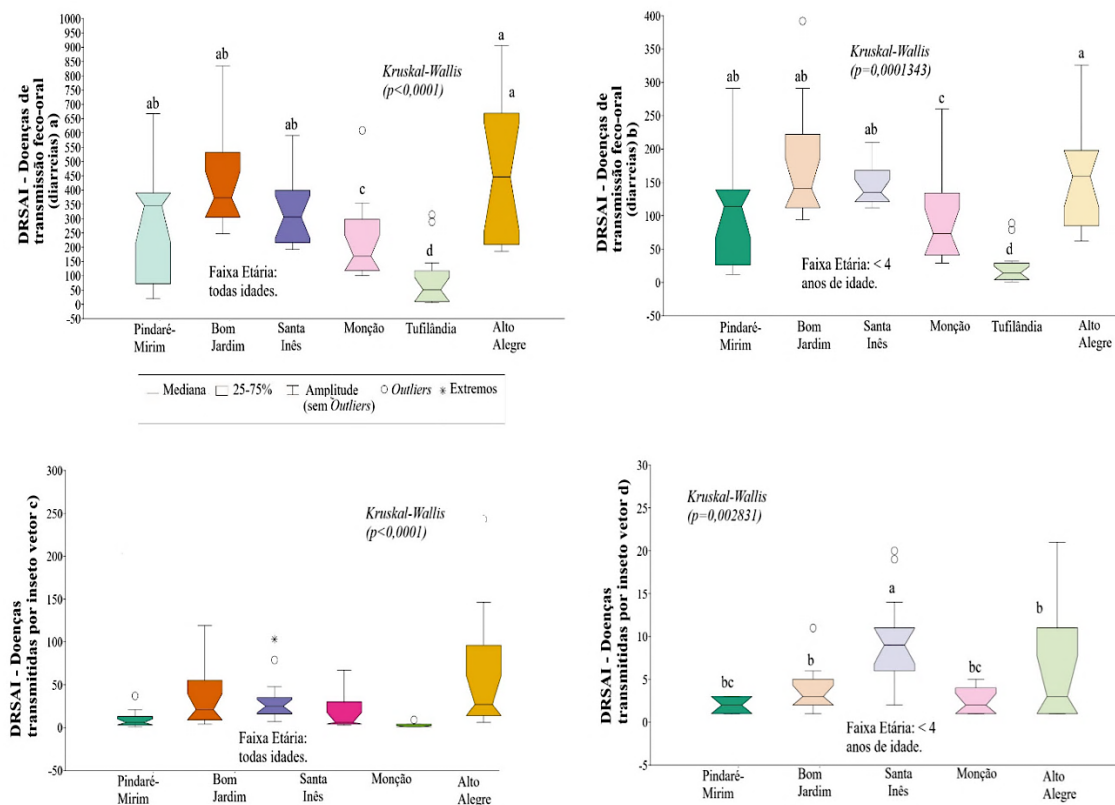
^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Resolução do CONAMA nº. 357/05 (Brasil, 2005); DP: Desvio Padrão. EP: Erro Padrão; CV: coeficiente de variação; SW: teste de Shapiro-Wilki (*p* valor).

* Morbidades - CID-10: cólera (A00), febres tifóide e paratifoide (A01), shigelose (A03), amebíase (A06), diarreia e gastroenterite origem infecc. presumível (A09) e outras doenças infecciosas intestinais (A04-A09).

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def> . Acesso em: 29.03.2025.

Revela-se uma maior contribuição das internações associadas à classe *Diarreia e Gastroenterite de Origem Infecciosa Presumível* (CID-10: A09) nos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré e Tufilândia (Tabela 3). Contudo, destaca-se o aporte de internações da classe *Outras Doenças Infecciosas Intestinais* (CID-10: A09) no município de Bom Jardim. Observa-se o maior volume de internações associadas às *Doenças de Transmissão Feco-Oral* nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Pindaré-Mirim, Bom Jardim e Santa Inês, no período compreendido entre 2010 e 2024 (Figura 7). Pode-se, além disso, identificar certa proximidade na dispersão dos valores das medianas entre as internações por diarreia e as associadas às *Doenças Transmitidas por Insetos*, no período de 2010 a 2024, na área de estudo contextualizada (MA).

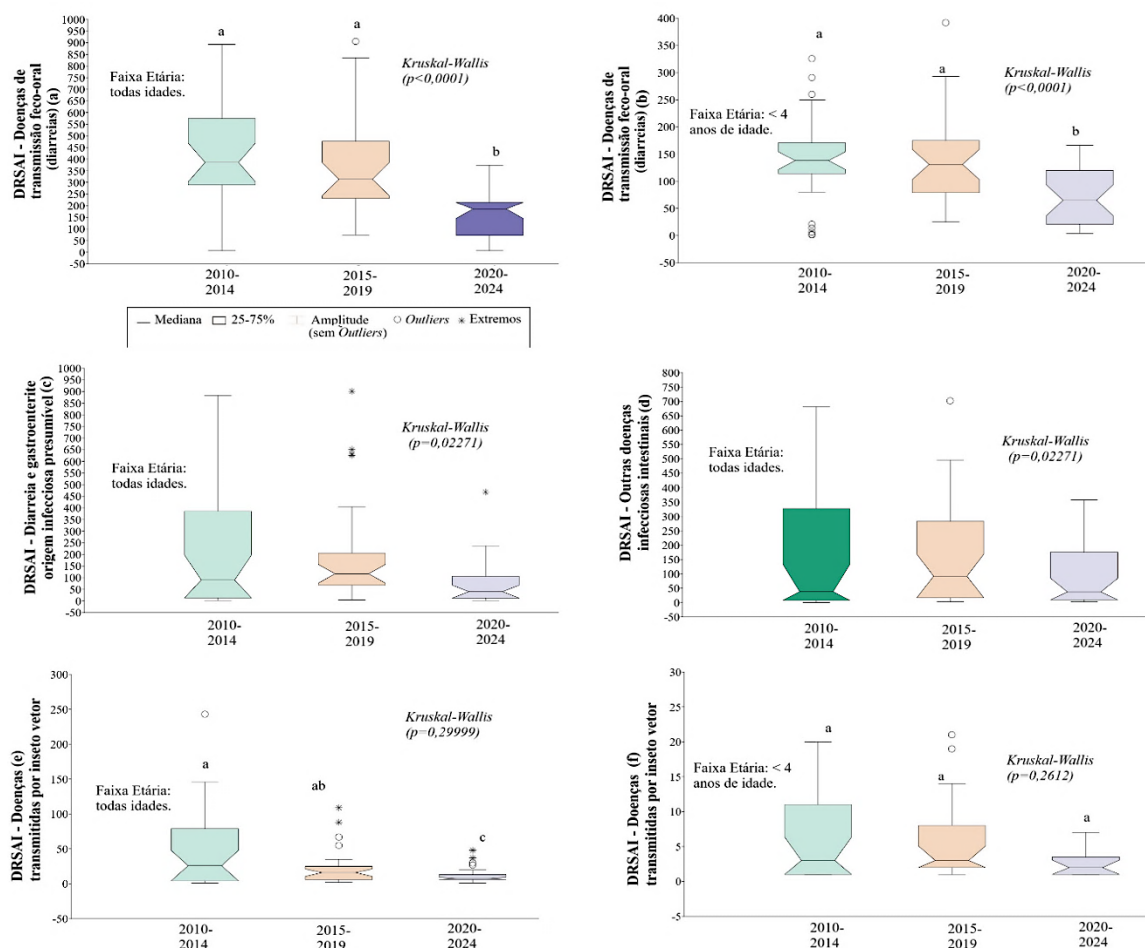
Figura 7. Diagrama de *box-plot* da distribuição do número de internações por diarreia, no contexto das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), considerando os municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia, na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, Maranhão (2010-2024).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def> . Acesso em: 29.03.2025.

Verifica-se uma tendência de redução dos valores das medianas das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), quando se consideram os municípios que compõem a área de estudo contextualizada, seja na categoria de internações por *Doenças de Transmissão Feco-Oral*, seja na categoria das *Doenças Transmitidas por Insetos* (Tabela 4; Figura 8). Além disso, registra-se haver uma oscilação nos valores da mediana das classes de internações por *Diarreia e Gastroenterite de Origem Infeciosa Presumível e Outras Doenças Infeciosas Intestinais* entre os anos de 2015 e 2019, seguida de uma redução no quinquênio que sintetiza as informações entre 2020 e 2024.

Figura 8. Diagrama de *box-plot* comparativo da distribuição do número de internações por diarreia, no contexto das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), em unidades que agrupam as informações de cinco anos, entre 2010 e 2024, considerando os municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia, na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def>. Acesso em: 29.03.2025.

Tabela 4. Abordagem estatística comparativa do número de internações por diarreia, no contexto das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), considerando os municípios de Pindaré-Mirim (210850), Alto Alegre (210047), Bom Jardim (210200), Santa Inês (211227), Monção (210690) e Tufilândia (211227), no Maranhão. Os dados são apresentados em unidades que agrupam as informações em períodos de cinco anos, entre 2010 e 2024.

a) Internações por doenças de transmissão feco-oral na área de estudo contextualizada.

Estimador Amostral	Doenças de transmissão feco-oral*			Doenças de transmissão feco-oral*		
	Faixa Etária: < 4 anos de idade			Faixa Etária (todas): < 4 anos até > 80 ou mais anos de idade		
	2010-2014	2015-2019	2020-2024	2010-2014	2015-2019	2020-2024
Tamanho (N° de observações)	30	30	30	30	30	30
Mínimo	1.00	25.00	1.00	7.00	71.00	7.00
Máximo	326.00	390.00	166.00	893.00	906.00	371.00
Média	140.37	137.40	66.63	389.77	366.87	157.77
Mediana	137.00	122.50	63.00	370.50	311.00	175.50
Desvio Padrão	81.50	86.29	48.70	223.44	212.25	100.17
Erro Padrão	14.88	15.75	8.89	40.79	38.75	18.29
Coefficiente de Variação (%)	58.06	62.80	73.08	57.33	57.86	63.49
Shapiro-Wilk(p valor)	0.16 ^A	0.04 ^B	0.04 ^B	0.31 ^A	0.07 ^A	0.18 ^A

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Res. do CONAMA nº. 357/05 (Brasil, 2005).

* Morbidades - CID-10: cólera (A00), febres tifóide e paratifoide (A01), shigelose (A03), amebíase (A06), diarreia e gastroenterite origem infec. presumível (A09) e outras doenças infecciosas intestinais (A04-A09).

b) Diarreia e gastroenterite origem infecciosas presumível ou Outras doenças infecciosas intestinais.

Estimador Amostral	Diarreia e gastroenterite origem infecciosas presumível*			Outras doenças infecciosas intestinais**		
	Faixa Etária (todas): < 4 anos até > 80 ou mais anos de idade			Faixa Etária (todas): < 4 anos até > 80 ou mais anos de idade		
	2010-2014	2015-2019	2020-2024	2010-2014	2015-2019	2020-2024
Tamanho (N° de observações)	30	30	29	28	30	30
Mínimo	2.00	4.00	2.00	1.00	3.00	3.00
Máximo	883.00	901.00	468.00	681.00	702.00	357.00
Média	213.27	199.43	78.28	188.57	166.90	91.97
Mediana	77.00	112.00	40.00	41.50	88.50	32.50
Desvio Padrão	247.95	226.07	100.29	221.47	183.94	106.66
Erro Padrão	45.27	41.27	18.62	41.85	33.58	19.47
Coefficiente de Variação (%)	116.26	113.35	128.12	117.45	110.21	115.97
Shapiro-Wilk(p valor)	0.00011 ^B	0.00001 ^B	0.00001 ^B	0.00011 ^B	0.00027 ^B	<0.0001 ^B

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Res. do CONAMA nº. 357/05 (Brasil, 2005).

* Morbidades - CID-10: diarreia e gastroenterite origem infecciosas presumível (A09);

** Morbidades - CID-10: outras doenças infecciosas intestinais (A04-A09).

c) Internações por doenças transmitidas por insetos (vetor) na área de estudo contextualizada.

Estimador Amostral	Doenças transmitidas por inseto (vetor)*			Doenças transmitidas por inseto (vetor)*		
	Faixa Etária (todas): 4 anos de idade			Faixa Etária (todas): < 4 anos até > 80 ou mais anos de idade		
	2010-2014	2015-2019	2020-2024	2010-2014	2015-2019	2020-2024
Tamanho (N° de observações)	22	21	14	29	30	24
Mínimo	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00
Máximo	20.00	21.00	7.00	243.00	109.00	48.00
Média	5.50	5.81	2.79	46.60	22.67	11.20
Mediana	3.00	3.00	2.00	26.00	15.00	7.50
Desvio Padrão	5.28	5.78	1.93	55.84	25.56	10.93
Erro Padrão	1.13	1.26	0.52	10.19	4.67	2.00
Coefficiente de Variação (%)	96.00	99.42	69.23	119.82	112.75	97.63
Shapiro-Wilk(p valor)	0.0008 ^B	0.0002 ^B	0.0135 ^B	<0.0001 ^B	<0.0001 ^B	<0.0001 ^B

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Res. do CONAMA nº. 357/05 (Brasil, 2005).

* Morbidades - CID-10: febre amarela (A95), dengue clássica (A90), febre hemorrágica devida ao vírus da dengue (A91), malária por *Plasmodium falciparum* (B50), malária por *Plasmodium vivax* (B51), malária por *Plasmodium malariae* (B52), outras formas malária conf exames parasitológicas (B53), malária não especificada (B54), leishmaniose visceral (B55), leishmaniose cutânea (B55.1), leishmaniose cutâneo-mucosa (B55.2), leishmaniose não especificada (B55.9), tripanossomíase - doença de Chagas (B56) e filariose (B74).

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def>. Acesso em: 29.03.2025.

Observa-se, no contexto das categorias das DRSAl, nos municípios da área de estudo contextualizada, uma redução nos registros de internações associadas às *Doenças Relacionadas com a Higiene* (Morbidades - CID-10: A71 e H10), às *Doenças Transmitidas pelo Contato com a Água* (Morbidades - CID-10: B65, A27, A27.8 e A27.9) e às *Doenças de Pele e Geo-helmintíases* (Morbidades - CID-10: B76, B83, B66, B67 e B73), quando comparadas às internações registradas para Doenças de Transmissão Feco-Oral entre 2010 e 2025 (Tabela 5). Destaca-se o maior número de internações associadas às *Doenças de Pele e Geo-helmintíases*.

Tabela 5. Abordagem comparativa das internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado associadas à higiene, às doenças transmitidas pela água, pele e helmintíase nos municípios de Pindaré-Mirim (210850), Alto Alegre (210047), Bom Jardim (210200), Santa Inês (211227), Monção (210690) e Tufilândia (211227), no Estado do Maranhão (2010-2024).

a) Doenças transmitidas através do contato com a água (Faixa Etária: todas).

Município	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Pindaré	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	2
B. Jardim	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	0
Sta. Inês	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	1
Monção	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1
Tufilândia	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	2	1	AUS.	1	AUS.	AUS.	1	AUS.	1	1	AUS.	7
A. Alegre	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	0

* Morbidades - CID-10: esquistossomose (B65) e leptospirose (A27, A27.8 e A27.9).

b) Doenças relacionadas com higiene – Tracoma e Conjuntivite (Faixa Etária: todas).

Município	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Pindaré	AUS.	AUS.	1	2	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	2	AUS.	6
B. Jardim	AUS.	AUS.	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	2
Sta. Inês	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	0
Monção	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	2	4
Tufilândia	AUS.	AUS.	1	2	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	2	AUS.	6
A. Alegre	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	0

* Morbidades – CID-10: tracoma (A71) e conjuntivite (H10).

c) Doenças de pele e helmintíase - Geo-helmintíase e Teníase (Faixa Etária: todas).

Município	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Pindaré	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	2	AUS.	AUS.	AUS.	1	4
B. Jardim	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	1
Sta. Inês	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	3	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	7
Monção	AUS.	AUS.	1	8	1	AUS.	AUS.	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	2	2	15
Tufilândia	AUS.	AUS.	1	AUSENTE	AUS.	AUS.	AUS.	1	8	1	2	AUS.	6	1	21
A. Alegre	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	3

* Morbidades – CID-10: outras helmintíases (B83); ausência de registro de internações por: ancilostomíase (B76), outras infestações por trematódeos (B66), equinococose (B67) ou oncocercose (B73).

d) Doenças de pele e helmintíase - Micoses (Faixa Etária: todas).

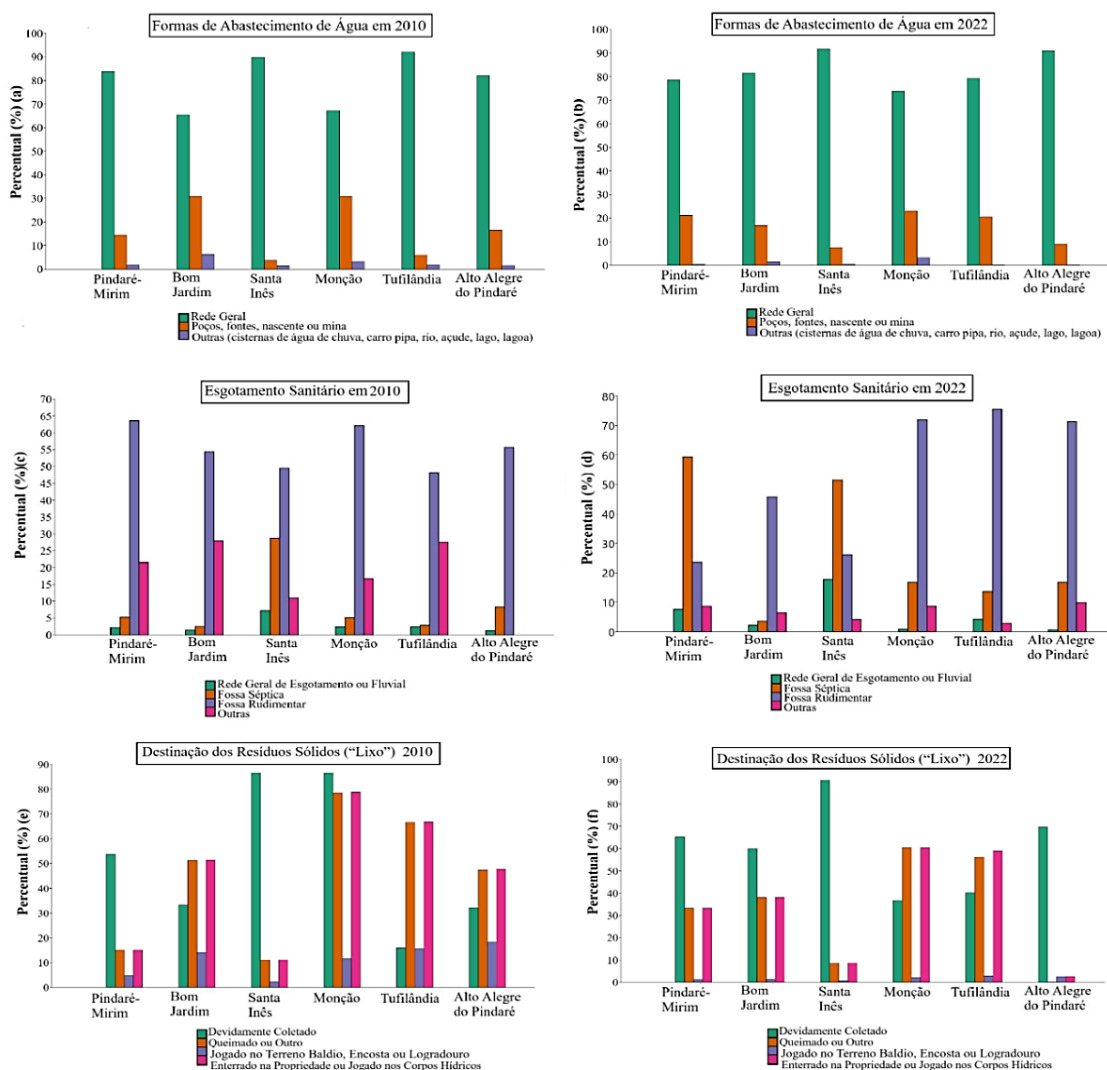
Município	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Pindaré	1	6	10	9	2	1	2	8	6	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	1	47
B. Jardim	AUS.	AUS.	AUS.	1	2	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	1	1	1	1	1	9
Sta. Inês	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	1	3	1	AUS.	AUS.	AUS.	6
Monção	AUS.	1	3	1	AUS.	AUS.	3	AUS.	1	AUS.	1	AUS.	AUS.	AUS.	2	12
Tufilândia	2	15	54	5	AUS.	3	6	3	1	1	1	10	8	1	2	109
A. Alegre	AUS.	1	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	2

* Morbidades – CID-10: micoses (B35, B36).

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def> . Acesso em: 29.03.2025.

Aponta-se, em relação os serviços de saneamento básico no município de Pindaré-Mirim e demais municípios da área de estudo contextualizada (MA), uma ampliação da oferta do abastecimento público de água pela rede geral, tendendo a universalização deste serviço de saneamento básico, no intervalo entre os Censos do IBGE de 2010 e 2022 (IBGE, 2010; 2022) (Tabela 6). Outrossim, observa-se a ampliação do uso de poços artesianos, poços rasos, cacimbas, fontes naturais e minas, na captação de água, no abastecimento, nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Santa Inês e Tufilândia (Figura 9).

Figura 9. Síntese comparativa das informações sobre os serviços de saneamento básico dos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre, Bom Jardim, Santa Inês, Monção e Tufilândia, no curso médio da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (MA).



Fonte: Elaborada pelo autor (2025), a partir da análise do Censo do IBGE (2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pindare-mirim/panorama>. Acesso em: 29.03.2025.

Verifica-se, no âmbito dos serviços de saneamento básico, a ampliação do número de domicílios com ligação à rede geral de esgotamento sanitário nos municípios de Pindaré-Mirim e Santa Inês, entre 2010 e 2022 (Tabela 6). Registra-se, ademais, o aumento do uso de fossas sépticas na área de estudo contextualizada (Figura 9). Esses municípios têm reduzido o uso de fossas rudimentares e ampliado o uso de fossas sépticas e da rede geral de abastecimento público de água, ao passo que tal mudança permanece como questão a ser enfrentada nos municípios de Monção, Tufilândia e Alto Alegre. Gonçalves *et al.* (2022b) consideram que a adoção de fossas rudimentares e o despejo de efluentes líquidos *in natura* nos corpos hídricos são práticas ambientalmente insustentáveis porque ameaçam os usos da água e à saúde.

Demonstra-se, igualmente, uma melhoria na cobertura do serviço de saneamento básico voltado à destinação adequada dos resíduos sólidos nos municípios analisados (Figura 9). No entanto, a redução da queima de resíduos sólidos deve ser priorizada, uma vez que essa prática pode diminuir a poluição do ar, evitar o número de atendimentos de urgência por problemas respiratórios e promover a saúde da população na área de estudo contextualizada (MA).

Com isso, como não se indignar com a reflexão que uma parcela das internações associadas às doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, como as internações por diarreia, poderia ser evitada por meio da melhoria no acesso aos serviços de saneamento básico, junto a elevação da condição socioeconômica e da educação higiênico-sanitária dos responsáveis por crianças de até 5 anos? As crianças nessa faixa etária já possuem certa autonomia motora, tornando-se mais vulneráveis à exposição aos riscos à saúde ao brincarem em áreas impactadas pelas lacunas no saneamento básico, ou ingerirem alimentos ou consumirem água imprópria (Gonçalves *et al.*, 2023).

Lubchenco *et al.* (1991) destacam que as dimensões da sociedade, saúde, economia e justiça social têm aspectos complexos, onde a compreensão das relações entre saúde, ambiente e sociedade não pode ser negligenciada. Esta é a abordagem política, dialógica e ética adotada na presente pesquisa.

Tabela 6. Serviços de saneamento básico por domicílios particulares permanentes ocupados nos municípios Pindaré-Mirim, Bom Jardim, Santa Inês, Monção, Tufilândia e Alto Alegre (MA), Brasil.

a) Abastecimento de água, em 2010, dos municípios no médio curso da Bacia do rio Pindaré.

Município	Total de Domicílios	Abastecimento de Água – Rede Geral (%)	Forma de Abastecimento de Água			
			Poços artesianos, rasos, freático ou cacimba, ou fontes, nascente ou mina	Águas em Cisternas (Chuvus)/Outros	Carro Pipa	Rio, açudes, córregos, lagos (as), igarapé e outros
Pindaré-Mirim	7.754	6.501 (83.84%)	1.125 (14.51%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	128 (1.65%)
Bom Jardim	9.592	6.284 (65.51%)	2.964 (30.90%)	6 (0.06%)	308 (3.21%)	299 (3.12%)
Santa Inês	20.262	19.196 (89.90%)	791 (3.76%)	1 (0.005%)	54 (0.27%)	250 (1.23%)
Monção	7.473	5.023 (67.22%)	2.199 (30.90%)	1 (0.01%)	1 (0.01%)	249 (3.33%)
Tufilândia	1.373	1.265 (92.13%)	84 (6.12%)	0 (%)	0 (0.0%)	24 (1.75%)
Alto Alegre	7.272	5.969 (82.08%)	1.197 (16.46%)	1 (0.04%)	0 (0.0%)	105 (1.44%)

b) Abastecimento de água, em 2022, dos municípios no médio curso da Bacia do rio Pindaré.

Município	Total de Domicílios	Abastecimento de Água – Rede Geral (%)	Forma de Abastecimento de Água			
			Poços artesianos, rasos, freático ou cacimba, ou fontes, nascente ou mina	Águas em Cisternas (Chuvus)/Outros	Carro Pipa	Rio, açudes, córregos, lagos (as), igarapé e outros
Pindaré-Mirim	9.431	7.409 (78.56%)	1.990 (21.1%)	0 (0%)	1 (0.01%)	31 (0.32 %)
Bom Jardim	9.753	7.959 (81.61%)	1.643 (16.86%)	0 (0%)	60 (0.62%)	91 (0.93%)
Santa Inês	26.886	24.700 (91.86%)	2.026 (7.54%)	2 (0.01 %)	109 (0.41%)	49 (0.18 %)
Monção	7.956	5.836 (73.86 %)	1.834 (23.05 %)	0 (0%)	2 (0.03 %)	244 (3.07%)
Tufilândia	1.567	1.242 (79.26 %)	323 (20.61 %)	0 (0%)	1 (0.01%)	2 (0.13 %)
Alto Alegre	7.425	6.755 (90.98 %)	661 (8.91 %)	0 (0%)	1 (0.01%)	8 (0.11 %)

c) Existência de banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário adequado ou inadequado, em 2010.

Município	Total de Domicílios	Não tinham banheiro/sanitário	Existência de banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário			
			Rede Geral de esgoto ou pluvial	Fossa do tipo séptica	Fossa do tipo rudimentar	Vala, rio, lago, mar e outros
Pindaré-Mirim	7.754	581 (7.49%)	162 (2.09%)	410 (5.29%)	4.932 (63.61%)	1.669 (21.52%)
Bom Jardim	9.592	1.316 (13.72%)	136 (1.42%)	242 (2.52%)	5.219 (54.41%)	2.679 (27.93%)
Santa Inês	20.262	710 (3.50%)	1.468 (7.25%)	5.838 (28.81%)	10.024 (49.47%)	2.222 (10.97%)
Monção	7.473	1.009 (13.50%)	179 (2.40%)	389 (5.21%)	4.647 (62.18%)	1.249 (16.71%)
Tufilândia	1.373	261 (19.01 %)	33 (2.40%)	39 (2.84%)	662 (48.22%)	378 (27.53%)
Alto Alegre	7.272	1.214 (16.70%)	92 (1.27%)	601 (8.26%)	4.048 (55.66%)	1.317 (18.11%)

d) Existência de banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário adequado ou inadequado, em 2022.

Município	Total de Domicílios	Não tinham banheiro/sanitário	Existência de banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário			
			Rede Geral de esgoto ou pluvial	Fossa do tipo séptica	Fossa do tipo rudimentar	Vala, rio, lago, mar e outros
Pindaré-Mirim	9.431	72 (0.76%)	719 (7.62%)	5.593 (59.32%)	2.229 (23.63%)	818 (8.67%)
Bom Jardim	9.753	218 (2,24%)	346 (3.55%)	3.825 (42.07%)	4.451 (45.64%)	635 (6.51%)
Santa Inês	26.886	77 (0.29%)	4.790 (17.82%)	13.864 (51.56%)	7.034 (26.16%)	1.121 (4.17%)
Monção	7.956	133 (1,67%)	64 (0.80%)	1.333 (16.75%)	5.733 (72.06%)	693 (8.71%)
Tufilândia	1.567	57 (3.64%)	68 (4.34%)	214 (13.66%)	1.183 (75.49%)	45 (2.87%)
Alto Alegre	7.425	105 (1.41%)	50 (0.67%)	1.244 (16.75%)	5.292 (71.27%)	734 (9.9%)

e) Destinação do lixo, em 2010, dos municípios situados no curso médio da Bacia do rio Pindaré.

Município	Total de Domicílios	Devidamente Coletado	Destinação dos Resíduos Sólidos ("Lixo")			
			Enterrado (no terreno)	Jogado nos corpos hídricos (rio/lago/mar)	Jogado no terreno Baldio, encosta ou logradouro	Queimado (na propriedade), ou outro
Pindaré-Mirim	7.754	4.168 (53.75%)	45 (0.58%)	1 (0.01%)	374 (4.82%)	1.166 (15.04%)
Bom Jardim	9.592	3.192 (33.28%)	113 (1.2%)	17 (0.18%)	1.350 (14.07%)	4.920 (51.04%)
Santa Inês	20.262	17.538 (86.6%)	30 (0.15%)	6 (0.03%)	445 (2.20%)	2.243 (11.07%)
Monção	7.473	569 (86.56%)	154 (2.1%)	13 (0.17%)	865 (11.58%)	5.872 (78.58%)
Tufilândia	1.373	219 (15.95%)	23 (1.68%)	2 (0.15%)	214 (15.59%)	915 (66.64%)
Alto Alegre	7.272	2.332 (32.07%)	89 (1.22%)	22 (0.30%)	1.341 (18.44%)	3.448 (47.41%)

f) Destinação do lixo, em 2022, dos municípios situados no curso médio da Bacia do rio Pindaré.

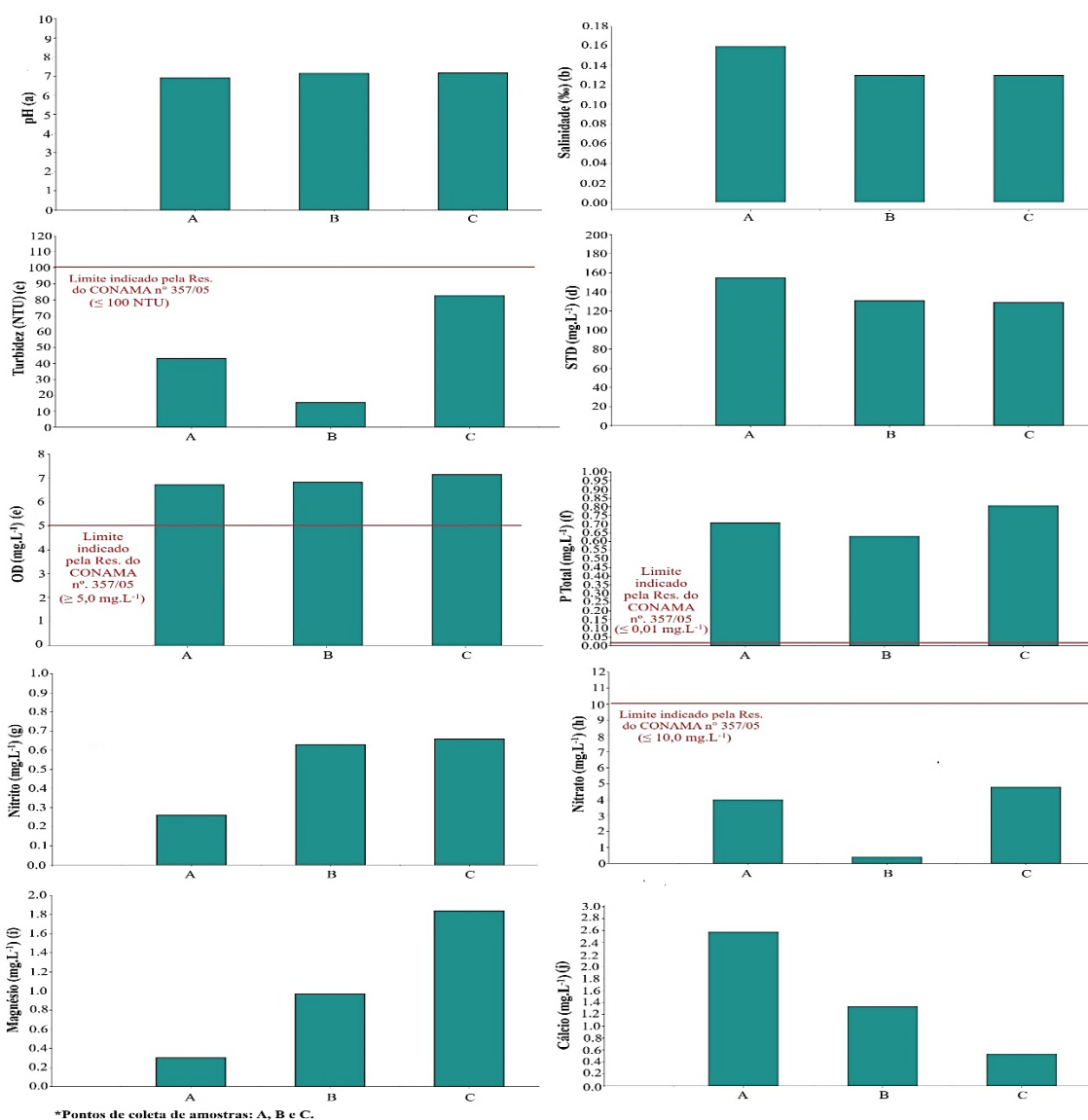
Município	Total de Domicílios	Devidamente Coletado	Destinação dos Resíduos Sólidos ("Lixo")			
			Enterrado na propriedade (no terreno)	Jogado nos corpos hídricos (rio/lago/mar)	Jogado no terreno Baldio, encosta ou logradouro	Queimado ou outro
Pindaré-Mirim	9.431	6.156 (65.3%)	13 (0.14 %)	0 (0%)	115 (1.22%)	3.147 (33.3%)
Bom Jardim	9.753	5.842 (59.9%)	62 (0.64%)	0 (0%)	128 (1.31 %)	3.721 (38.2%)
Santa Inês	26.886	24.381 (91%)	18 (0.07%)	0 (0%)	174 (0.65 %)	2.413 (8.60%)
Monção	7.956	2.926 (36.8%)	66 (0.83%)	0 (%)	159 (2.0%)	4.805 (60.4%)
Tufilândia	1.567	630 (40.2%)	3 (0.19%)	10 (0.64%)	45 (2.87%)	879 (56.09%)
Alto Alegre	7.540	5.171 (69.6%)	35 (0.47%)	182 (2.45%)	182 (2.45%)	10 (0.13 %)

Fonte: Elaborada pelo autor (2025), a partir da análise do Censo do IBGE (2010; 2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pindare-mirim/panorama>. Acesso em: 29.03.2025.

4.2 Variáveis Físico-Químicas e Nutrientes

Obteve-se uma síntese estatística descritiva e inferencial das medidas das variáveis físico-químicas e nutrientes da água do Rio Pindaré, que foram coletadas no município de Pindaré-Mirim (MA) (Tabela 7). Veficou-se águas levemente ácidas a neutras, cujos valores do pH foram de 6,92 (Ponto A) a 7,17 (Ponto C) e os valores da salinidade distribuem-se entre 0,13 a 0,16 PSU, que permitiu a caracterização dessas águas na classe das águas doces ($\leq 0,5$ PSU) (Figura 10), com base na Resolução do CONAMA n° 357/05 (Brasil, 2005).

Figura 10. Variação espacial dos níveis das variáveis físico-químicas e dos nutrientes nas água do Rio Pindaré, coletada no município de Pindaré-Mirim, no Estado do Maranhão.



Fonte: (Autor, 2025).

Tabela 7. Comparação dos valores das variáveis físico-químicas e de nutrientes das amostras de água entre a pesquisa atual (estiagem) e estudos anteriores (integração de dados de períodos sazonais diversos - chuvoso e de estiagem) na área de estudo contextualizada, no Maranhão.

a) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes nas água coletadas em Pindaré-Mirim (**Atual**)

Estimador Amostrai (n=3)	pH ^(C)	°C		PSU Sal ^(C)	NTU Turb. ^(C)	µS.cm ⁻¹ CE ^(D)	mg.L ⁻¹						
		Temp. ^(D)					OD ^(D)	STD ^(C)	N-NO ₃ ^(C)	N-NO ₂ ^(C)	P Total ^(C)	Ca ²⁺ ^(C)	Mg ²⁺ ^(C)
Mínimo	6.92	30.01		0.13	13.00	260.00	6.83	129.00	0.095	0.08	0.60	0.54	0.30
Máximo	7.17	30.72		0.16	69.00	312.00	7.15	155.00	1.15	0.92	0.77	2.58	1.84
Média	7.08	30.26		0.14	39.00	279.33	6.94	138.33	2.14	1.20	0.68	1.48	1.04
Mediana	7.16	30.05		0.13	36.00	266.00	6.85	131.00	0.89	0.20	0.67	1.33	0.97
Desvio Padrão	0.14	0.40		0.02	0.28	28.45	0.18	14.47	0.55	0.45	0.07	1.03	0.77
Erro Padrão	0.08	0.23		0.01	0.16	16.42	0.10	8.35	0.32	0.26	0.05	0.59	0.44
CV (%)	1.99	1.32		12.37	71.56	10.18	2.58	10.46	77.23	113.61	12.2	69.34	74.48
Shapiro-Wilk(p valor)	-	0.096 ^A		-	-	0.20 ^A	0.11 ^A	-	-	-	-	-	-

Água Doces - Resolução do CONAMA n.º. 357/05 (Brasil, 2005)

Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤ 0.5	≤40.00	50.0-75.0	≥ 5.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 0.01	-	-
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤ 0.5	≤100.0	75.0-100.0	≥ 6.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 0.014	-	-

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: Coeficiente de Variação; ^C Pesquisa de campo (amostragem de 2023); ^D Variáveis físico-químicas (mediana) da água do Rio Pindaré, em Pindaré-Mirim (Mendeiros e Santos, 2024).

b) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes na água coletada no município Pindaré-Mirim.

Estimador Amostrai (n=6)	pH ^(C)	°C		NTU Turbidez ^(C)	µS.cm ⁻¹ CE ^(C)	mg.L ⁻¹					
		Temp. ^(C)				OD ^(C)	STD ^(C)	N-NO ₃ ^(C)	N-NO ₂ ^(C)	N-NH ₄ ⁺ ^(C)	P Total ^(C)
Mínimo	6.10	26.00		18.30	176.00	5.52	114.40	0.14	0.001	0.07	0.36
Máximo	6.50	32.70		29.60	326.00	7.30	211.90	0.21	0.025	0.14	0.85
Média	6.32	29.78		25.93	224.50	6.72	145.93	0.17	0.007	0.095	0.56
Mediana	6.35	30.00		29.20	212.50	6.85	138.13	0.17	0.0045	0.09	0.52
Desvio Padrão	0.20	2.32		5.36	57.75	0.62	37.54	0.031	0.009	0.024	0.19
Erro Padrão	0.08	0.95		2.19	23.58	0.25	15.32	0.013	0.004	0.010	0.08
CV (%)	3.23	7.80		20.65	25.72	9.17	25.73	17.64	120.33	25.57	34.99
Shapiro-Wilk(p valor)	0.02 ^B	0.68 ^A		0.006 ^B	0.12 ^A	0.03 ^B	0.12 ^A	0.13 ^A	0.005 ^B	0.22 ^A	0.41 ^A

Água Doces - Resolução do CONAMA n.º. 357/05 (Brasil, 2005)

Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤40.00	≤40.00	≥ 5.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 3.70	≤ 0.10
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤100.0	≤100.0	≥ 6.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 0.014	≤ 0.14

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: Coeficiente de Variação; ^C Silva *et al.* (2017).

c) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes na água coletada no município Tufilândia.

Estimador Amostrai (n=8)	pH ^(C)	°C		NTU Turbidez ^(C)	µS.cm ⁻¹ CE ^(C)	mg.L ⁻¹					
		Temp. ^(C)				OD ^(C)	STD ^(C)	N-NO ₃ ^(C)	N-NO ₂ ^(C)	N-NH ₄ ⁺ ^(C)	P Total ^(C)
Mínimo	5.50	15.20		24.00	180.00	5.30	117.00	0.19	0.001	0.05	0.38
Máximo	6.90	31.30		29.50	359.00	7.54	233.35	0.91	0.008	0.14	0.88
Média	6.29	23.85		27.06	241.82	6.82	156.76	0.40	0.005	0.09	0.52
Mediana	6.25	24.25		27.50	217.50	7.15	139.88	0.32	0.006	0.09	0.42
Desvio Padrão	0.45	6.68		2.15	64.71	0.85	42.12	0.25	0.002	0.04	0.18
Erro Padrão	0.16	2.36		0.76	22.88	0.30	14.89	0.09	0.001	0.01	0.07
CV (%)	7.19	27.99		7.93	26.76	12.53	26.87	63.47	44.78	41.19	35.13
Shapiro-Wilk(p valor)	0.97 ^A	0.83 ^A		0.89 ^A	0.88 ^A	0.02 ^B	0.15 ^A	0.06 ^A	0.50 ^A	0.13 ^A	0.02 ^B
Monte Carlo (p valor)	0.90 ^A	0.06 ^A		0.25 ^A	0.21 ^A	0.02 ^B	0.16 ^A	0.09 ^A	0.36 ^A	0.17 ^A	0.018 ^B

Água Doces - Resolução do CONAMA n.º. 357/05 (Brasil, 2005)

Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤40.00	≤40.00	≥ 5.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 3.70	≤ 0.10
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤100.0	≤100.0	≥ 6.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 0.014	≤ 0.14

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: Coeficiente de Variação; ^C Silva *et al.* (2017).

d) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes na água coletada em Alto Alegre do Pindaré.

Estimador Amostrai (n=6)	pH ^(C)	°C		NTU Turbidez ^(C)	µS.cm ⁻¹ CE ^(C)	mg.L ⁻¹					
		Temp. ^(C)				OD ^(C)	STD ^(C)	N-NO ₃ ^(C)	N-NO ₂ ^(C)	N-NH ₄ ⁺ ^(C)	P Total ^(C)
Mínimo	5.80	19.60		28.00	155.00	6.28	100.75	0.15	0.004	0.04	0.42
Máximo	7.70	32.10		30.00	357.00	8.24	232.05	0.18	0.025	0.09	0.72
Média	6.85	26.43		29.25	249.83	7.24	162.39	0.17	0.01	0.07	0.54
Mediana	6.90	28.25		29.25	248.50	7.10	161.53	0.17	0.014	0.075	0.52
Desvio Padrão	0.87	5.26		0.76	73.27	0.67	47.63	0.01	0.01	0.02	0.10
Erro Padrão	0.36	2.15		0.31	29.61	0.27	19.44	0.005	0.004	0.01	0.04
Coefficiente de Variação (%)	12.72	19.91		2.59	29.33	9.29	29.33	7.90	63.97	25.56	19.35
Shapiro-Wilk(p valor)	0.80 ^A	0.86 ^A		0.90 ^A	0.99 ^A	0.86 ^A	0.98 ^A	0.06 ^A	0.27 ^A	0.61 ^A	0.64 ^A

Água Doces - Resolução do CONAMA n.º. 357/05 (Brasil, 2005)

Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤40.00	≤40.00	≥ 5.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 3.70	≤ 0.10
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤100.0	≤100.0	≥ 6.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.00	≤ 0.014	≤ 0.14

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; CV: Coeficiente de Variação; ^C Silva *et al.* (2017).

Fonte: Autor (2025).

No presente estudo tentou-se, enquanto aproximação, o enquadramento da água do Rio Pindaré, coletada no município de Pindaré-Mirim, com base na interpretação dos resultados das análises laboratoriais e no dispõe a Resolução do CONAMA nº. 357/05 (Tabela 7). Pôde-se associar as amostras dos Pontos A e B, em relação as níveis de OD e turbidez, com a categoria das Águas Doces – Classe 1, ao passo que amostra do Ponto C, em relação a turbidez, pertenceu as Águas Doces - Classe 2. Essas amostras foram classificadas, outrossim, na classe das Águas Doces-Classe 4 em relação a CE ($CE > 150 \mu S.cm^{-1}$).

A amostra de água do Rio Pindaré do Ponto A apresentou o valor mais expressivo das variáveis STD e CE, além de um valor do pH de 6.92, que pode ser considerado ligeiramente ácido (Figura 10). Esta condição do pH pode refletir a influência de múltiplos fatores, a exemplo da remoção da vegetação florestal ciliar, no contexto da vegetação ripária, do assoreamento das margens, nesse curso de água, do clima, das atividades urbanas agrícolas próximas e dos impactos ambientais negativos das lacunas no saneamento básico, que persistem no municípios de Pindaré-Mirim e na área de estudo contextualizada. Considera-se, ademais, a influência da sinergia desses impactos junto ao aporte de matéria orgânica sobre o pH, STD e a turbidez, que promovem a deterioração ecológica e ambiental da qualidade e restrições aos usos da água.

A variável STD representa uma medida da concentração total de sólidos dissolvidos na água, que incluem substâncias diversas, como minerais, sais, íons orgânicos e inorgânicos dissolvidos na água. Na amostra do Ponto A, o valor de STD foi de $155 mg.L^{-1}$, sendo relativamente alto e passível de afetar a qualidade e os usos da água (Figura 10 c). Isto porque um nível relativamente alto de sólidos totais dissolvidos na água pode torná-la inadequada ao consumo humano e prejudicial aos ecossistemas aquáticos. A presença de níveis altos de STD pode ser atribuída a fontes múltiplas, a julgar pelo escoamento agrícola, atividades industriais, lixiviação de solos e descarga de efluentes urbanos.

Obteve-se uma valor dos STD de $129 mg.L^{-1}$ na amostra do Ponto C, que foi considerado, relativamente, o menor valor de STD nos pontos amostrais. Isso sugere uma maior diluição dos sólidos dissolvidos na água nesse ponto,

possivelmente devido à contribuição de águas mais limpas de afluentes, ou fontes subterrâneas, ou a maior distância de fonte (s) pontual (is) de poluição. No entanto, a variação dos níveis de STD ao longo de seu curso do Rio Pindaré reflete as diferentes influências de fontes de poluidoras e contaminadoras da água, de modo que podem comprometerem a qualidade e os usos da água, além de requerer medidas de controle e gestão para evitar impactos negativos.

Enquanto que condutividade elétrica da água apresenta, como esperado, o mesmo comportamento de STD e da salinidade (Figura 10). Estes parâmetros físico-químicos da água são indicadores da quantidade de íons dissolvidos na água. Com isso, a variação na CE na Bacia Hidrográfica do rio Pindaré pode fornecer *insights* sobre a qualidade e a composição da água em diferentes pontos de coleta. Um alta CE pode ser indicativa da presença de sais minerais, nutrientes, materiais orgânicos ou poluentes na água e de perda de qualidade. Nas águas naturais, os valores da CE variam de 10 e 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, atindo níveis de até 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em ambientes sob a influência dos impactos negativos da poluição da água por efluentes domésticos ou industriais (Von Sperling, 2005).

A turbidez foi de 35,6 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) na amostra de água coletada no Ponto A, indicando um nível elevado de partículas em suspensão (Figura 10 c). Na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, a variação na turbidez pode refletir mudanças nas condições da água ao longo dos pontos de coleta. Os altos valores da turbidez pode ser atribuída à proximidade com a margem do rio, onde lacunas no esgotamento, a disposição final de lixo, ou a erosão do solo e outros processos adicionam sedimentos na coluna de água.

A variação na turbidez ao longo do rio Pindaré pode ser influenciada pelas atividades humanas, características geográficas e sazonais. Por isso, assume-se que o controle e monitoramento da turbidez são essenciais na avaliação das ameaças à saúde e da qualidade físico-química e microbiológica da água na bacia hidrográfica do Rio Pindaré (MA), ou na identificação de fontes potenciais de poluição da água, ou na implementação de medidas adequadas de proteção e

conservação das águas e da biota aquática. Isso inclui práticas de manejo do solo, controle da erosão, proteção de áreas ripárias e adoção de medidas de tratamento de água, garantindo o provimento de serviços ecossistêmicos, a julgar pela oferta de água limpa e segura, com qualidade, e seus múltiplos usos.

A amostra do Ponto C apresentou o maior nível do fósforo total (P Total), fosfato (PO_4), no entanto os níveis desse nutriente excederam o limite da Resolução do CONAMA 357/05 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) das águas doces classificadas nas classes 1 e 2 nos pontos amostrais (Figura 10 f). Esses níveis de P Total das amostras pode refletir a influência de fontes diversas, como o escoamento urbano e a descarga de efluentes domésticos e industriais. Além disso, elevados níveis de fosfato pode prover a eutrofização desse ecossistema aquático lótico, do Rio Pindaré, e, além disso, indicar uma possível poluição atribuída a aplicação de fertilizantes fosfatados nas áreas agrícolas, porque a área próxima à margem do rio pode ser mais suscetível às fontes de poluição.

No entanto, a compreensão do problema socioecológico e ambiental da eutrofização e poluição da água no município de Pindaré-Mirim, ou na área de estudo contextualizada, ver a Tabela 7, demanda que se considere as múltiplas escalas de análise e distribuição espacial das questões das atividades humanas e das fontes poluidoras da água ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré. Portanto, faz-se crucial a gestão territorial e a implementação de medidas de controle e mitigação da poluição por fosfato na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, incluindo as práticas agrícolas sustentáveis, tratamento de efluentes e melhorias das condições de saneamento básico e monitoramento contínuo da qualidade da água, visando a proteção e a conservação dos ecossistemas aquáticos e o provimento de água segura para os uso das comunidades locais.

Em relação ao nitrito (NO_2^-) nas amostras dos Pontos A, B e C, verificou-se modificações significativas nos níveis desta variável ao longo do Rio Pindaré (Tabela 7). O menor nível de nitrito foi obtido na amostra do Ponto A, ao passo que os maiores níveis do nitrito foram obtidos nos Pontos B e C (Figura 10g). Esse resultado indica haver uma possível fonte de introdução de nitrito no rio,

com um aumento gradual do nível desta variável à medida que se afasta da margem e segue-se a montante, sendo sugestivo de perturbação na água por uma fonte de poluição recente. Pode tal perturbação no corpo hídrico decorrer de fontes diversas de poluição da água, como atividades agrícolas, descarga de efluentes industriais ou domésticos, inclusive ligadas a processos naturais. O nitrato e demais compostos nitrogenados são nutrientes da biota aquática, mas níveis altos destes promovem a eutrofização e deterioração socioecológica da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos (Gonçalves *et al.*, 2025).

Obteve-se um valor de nitrato de $0,92 \text{ mg.L}^{-1}$, na amostra do Ponto A (Margem do Rio), que foi considerado o maior valor obtido nesse estudo (Figura 10h). Além disso, verifica-se um nível do nitrato menor no Ponto B, que volta a aumentar no Ponto C, que reflete a presença de fontes poluidoras a montante do rio. Essa variação no nível do nitrato pode ser atribuída às contribuições das atividades agrícolas, industriais, urbanas e despejos de efluente líquidos domésticos *in natura* na água na área de estudo contextualizada.

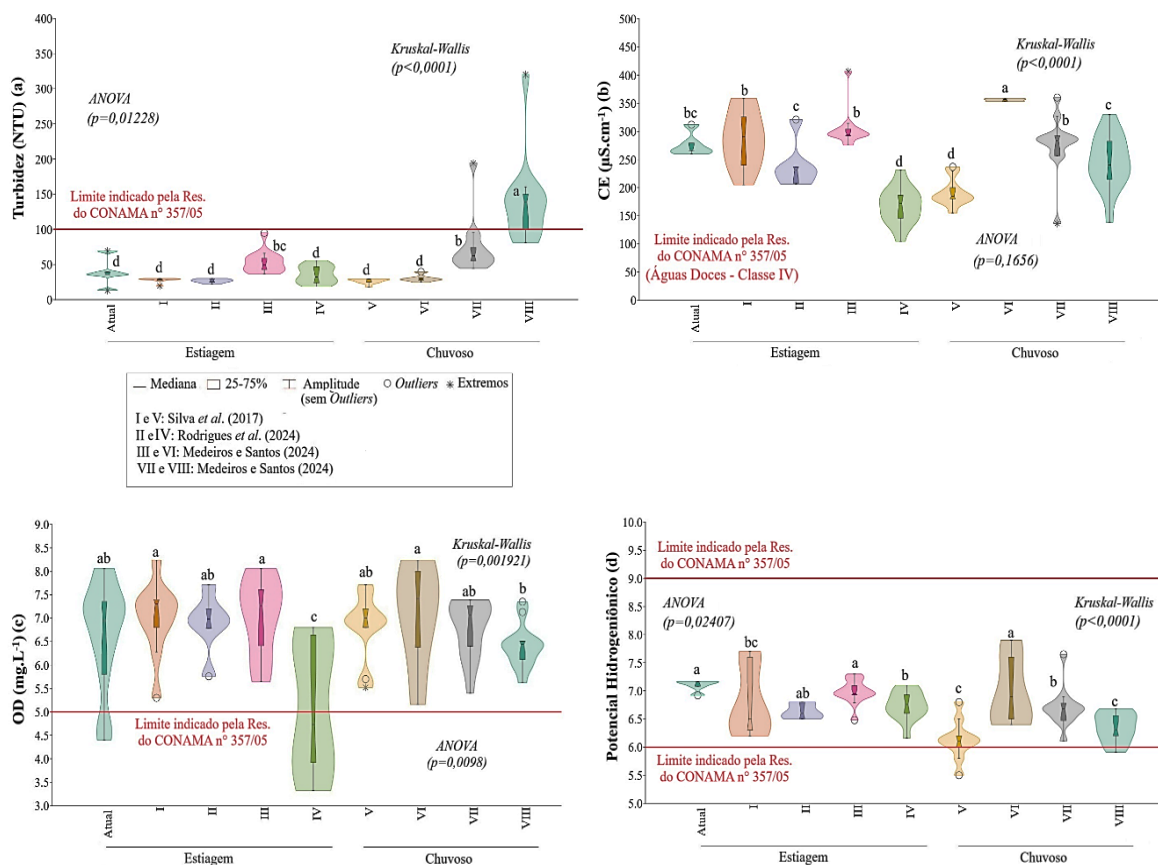
A menor concentração do magnésio foi descrita na amostra do Ponto A e os níveis desta variável aumentam nos Pontos B e C, ao longo do curso do Rio Pindaré (Figura 10 i). Esse comportamento do magnésio no Rio Pindaré deve ser melhor compreendido em estudos posteriores, bem como se responde, dentre outros, ao estado de conservação da natureza e da cobertura vegetal das margens, do contexto socioecológico da área de estudo contextualizada, além da troca de bases entre a água deste rio e as águas continentais, ou subterrânea. Ademais, verifica-se a similaridade entre o comportamento das variáveis magnésio e nitrito. Questiona-se sobre qual seria o papel de atividades humanas, como a agricultura, desmantamento, urbanização, industrialização, nas variações dos níveis de magnésio na água do Rio Pindaré?

Em relação a variável cálcio, verifica-se que sua maior concentração se deu no Ponto A, que pode ser atribuída tanto às atividades humanas, como as práticas agrícolas, usos da terra urbano e cemitérios, quanto influência do intemperismo químico dos minerais presentes na geologia local (Figura 10 j). Outrossim, salienta-se que a diminuição do nível de cálcio na amostra B, reflete

uma possível ação de processos de diluição da água, de modo que a aflúências de água de fontes diversas, como córregos ou riachos, ou sbterrâneas, podem explicar a presença de águas com características diferentes. Propõe-se que a variação no nível de cálcio na água do Rio Pindaré pode ser atribuída a ação de fatores geológicos, hidrológicos, climáticos, edáficos, bióticos e antrópicos.

Em contibuidade, estabeleceu-se uma aproximação crítica entre os valores de variáveis físico-químicas e nutrientes da água no estudo atual, realizada no município de Pindaré-Mirim, e a interpretação dos resultados de estudos anteriores, onde se buscou a compreensão da variabilidade temporal e sazonal da qualidade da água do Rio Pindaré (Tabelas 7 e 8; Figura 11).

Figura 11. Variação espacial dos níveis das variáveis físico-químicas e dos nutrientes nas amostras de água coletadas no município de Pindaré-Mirim (estudo atual) e os resultados de estudos anteriores que contemplam município situados na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, no Maranhão.



***Sobre a coleta de amostras:**

Atual: outubro (estiagem) de 2023;
Silva *et al.* (2017): agosto/novembro (estiagem) e maio (chuvoso) de 2010 e 2011;
Rodrigues *et al.* (2024): e outubro (2011) e maio (chuvoso);
Medeiros e Santos (2024): outubro e junho (estiagem) 2019 e 2021; e
Medeiros e Santos (2024): dezembro (chuvoso) 2019 e 2020.

Fonte: Autor (2025).

Tabela 8. Valores das variáveis físico-químicas e de nutrientes da água da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré - BHRP, nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Caibri, Monção e Tufilândia (MA).

a) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes da água da BHRP coletada nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim e Tufilândia, Maranhão (Estiagem: outubro de 2011) .

Estimador Amostrai (n=6)	pH ^(C)	°C		NTU Turbidez ^(C)	µS.cm ⁻¹ CE ^(C)	(mg.L ⁻¹)				
		Temp. ^(C)				OD ^(C)	STD ^(C)	N-NO ₃ ^(C)	N-NO ₂ ^(C)	N-NH ₄ ^(C)
Mínimo	6.40	25.00	24.60	353.00	5.16	229.45	0.025	0.0013	0.059	0.0058
Máximo	7.90	39.90	39.50	359.00	8.24	233.35	0.069	0.0113	0.098	0.0088
Média	6.70	26.50	28.90	356.00	7.06	231.29	0.047	0.0068	0.079	0.0065
Mediana	6.97	26.73	30.17	355.83	7.30	231.40	0.050	0.0067	0.079	0.0061
Desvio Padrão	0.34	1.35	5.07	2.56	1.14	1.70	0.02	0.0034	0.014	0.0011
Erro Padrão	0.26	0.55	2.07	1.05	0.46	0.68	0.007	0.0014	0.056	0.0005
Coefficiente de Variação (%)	9.15	5.05	16.81	0.72	16.13	0.72	35.37	49.55	17.23	17.54
Shapiro-Wilk(p valor)	0.84 ^A	0.93 ^A	0.27 ^A	0.38 ^A	0.57 ^A	0.38 ^A	0.90 ^A	0.83 ^A	0.98 ^A	0.001 ^B
Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤ 40.00	50 - 75	≥ 5.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.0	≤ 3.70	≤ 0.10
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤ 100.00	75 -100	≥ 6.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.0	≤ 0.014	≤ 0.14

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Rodrigues *et al.* (2024); ^D Água Doces - Resolução do CONAMA nº. 357/05.

b) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes da água da BHRP coletada nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim e Tufilândia, Maranhão (Chuvoso: maio de 2011).

Estimador Amostrai (n=6)	pH ^(C)	°C		NTU Turbidez ^(C)	µS.cm ⁻¹ CE ^(C)	(mg.L ⁻¹)				
		Temp. ^(C)				OD ^(C)	STD ^(C)	N-NO ₃ ^(C)	N-NO ₂ ^(C)	N-NH ₄ ^(C)
Mínimo	6.50	26.10	22.30	206.00	5.76	133.90	0.014	0.0019	0.322	0.0042
Máximo	6.80	30.50	30.20	321.00	7.71	208.65	0.061	0.0092	0.694	0.0058
Média	6.63	28.15	26.82	239.00	6.89	155.35	0.038	0.0050	0.182	0.0047
Mediana	6.60	27.65	26.95	231.00	6.96	150.15	0.037	0.0051	0.076	0.0044
Desvio Padrão	0.14	1.81	2.89	42.21	0.64	27.44	0.0161	0.0029	0.25	0.0006
Erro Padrão	0.06	0.74	1.18	17.23	0.26	11.20	0.0066	0.0012	0.10	0.0003
Coefficiente de Variação (%)	20.60	6.43	10.76	17.66	9.33	17.66	42.16	56.31	139.73	13.98
Shapiro-Wilk(p valor)	0.093 ^A	0.34 ^A	0.84 ^A	0.025 ^B	0.48 ^A	0.02 ^B	0.95 ^B	0.67 ^B	0.001 ^B	0.08 ^A
Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤ 40.00	50 - 75	≥ 5.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.0	≤ 3.70	≤ 0.10
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤ 100.00	75 -100	≥ 6.00	500.0	≤ 10.00	≤ 1.0	≤ 0.014	≤ 0.14

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Rodrigues *et al.* (2024); ^D Água Doces - Resolução do CONAMA nº. 357/05.

c) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes da água da BHRP coletada nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Caibri, Monção e Tufilândia Maranhão (Estiagem 2019-2021).

Estimador Amostrai (n=13)	Estiagem (setembro/outubro de 2019)						Estiagem (maio/junho de 2021)					
	pH	°C Temp.	NTU Turb.	µS.cm ⁻¹ CE	mg.L ⁻¹ OD STD		pH	°C Temp.	NTU Turb.	µS.cm ⁻¹ CE	mg.L ⁻¹ OD STD	
Mínimo	6.48	28.66	36.70	275.40	5.64	179.01	6.16	28.64	18.56	104.60	3.32	67.99
Máximo	7.30	31.38	95.05	406.50	8.06	264.23	7.10	30.80	55.78	231.78	6.80	150.66
Média	6.99	30.33	53.61	304.22	7.06	197.74	6.74	29.65	35.83	167.68	5.09	108.99
Mediana	6.95	30.78	48.99	294.6	7.27	191.49	6.76	29.56	32.22	171.9	4.73	111.74
Desvio Padrão	0.21	0.88	15.74	32.30	0.84	21.00	0.26	0.71	12.29	33.1	1.38	21.52
Erro Padrão	0.06	0.25	4.37	8.96	0.23	5.82	0.07	0.2	3.41	9.18	0.38	5.97
Coefficiente de Variação (%)	3.03	2.92	29.37	10.62	11.85	10.62	3.79	2.4	34.29	19.74	27.21	19.74
Shapiro-Wilk(p valor)	0.302 ^A	0.052 ^A	0.036 ^B	0.0781 ^A	0.23 ^A	0.0781 ^A	0.492 ^A	0.20 ^A	0.34 ^A	0.996 ^A	0.04 ^B	0.995
Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤ 40.00	50 - 75	≥ 5.00	500.0	6.0 - 9.0	-	≤ 40.00	50.0-75.0	≥ 5.00	500.0
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤ 100.00	75 -100	≥ 6.00	500.0	6.0 - 9.0	-	≤ 100.00	75.0-100.0	≥ 6.00	500.0

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Mendeiros e Santos (2024); ^D Água Doces - Resolução do CONAMA nº. 357/05.

d) Valores das variáveis físico-químicas e nutrientes da água da BHRP coletada nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Caibri, Monção e Tufilândia Maranhão (Período chuvoso 2019-2020).

Estimador Amostrai (n=13)	Chuvoso (novembro/dezembro de 2019)						Chuvoso (dezembro de 2020)					
	pH	°C Temp.	NTU Turb.	µS.cm ⁻¹ CE	mg.L ⁻¹ OD STD		pH	°C Temp.	NTU Turb.	µS.cm ⁻¹ CE	mg.L ⁻¹ OD STD	
Mínimo	6.11	28.78	44.50	136.30	5.40	88.60	5.91	26.54	80.90	138.60	5.62	90.09
Máximo	7.74	31.50	959.15	763.00	7.39	495.95	6.68	30.74	320.13	330.20	7.35	214.63
Média	6.77	30.16	140.67	314.90	6.79	204.69	6.35	29.03	138.25	246.15	3.40	160.00
Mediana	6.69	30.45	65.18	285.90	7.06	185.84	6.31	29.25	139.14	240.4	6.44	156.26
Desvio Padrão	0.44	0.88	248.95	173.84	0.63	93.50	0.26	1.24	61.05	49.36	0.46	32.09
Erro Padrão	0.12	0.24	69.05	39.89	0.17	25.93	0.07	0.34	16.93	13.69	0.13	8.90
Coefficiente de Variação (%)	6.64	2.91	176.97	45.68	9.23	45.68	4.08	4.28	44.16	20.05	7.23	20.05
Shapiro-Wilk (p valor)	0.012 ^B	0.35 ^A	<0.0001 ^B	<0.0001 ^B	0.04 ^B	<0.0001 ^B	0.41 ^A	0.46 ^A	0.00 ^B 1	0.699 ^A	0.38 ^A	0.70 ^A
Classe 1	6.0 - 9.0	-	≤ 40.00	50 - 75	≥ 5.00	500.0	6.0 - 9.0	-	≤ 40.00	50 - 75	≥ 5.00	500.0
Classe 2	6.0 - 9.0	-	≤ 100.00	75 -100	≥ 6.00	500.0	6.0 - 9.0	-	≤ 100.00	75 -100	≥ 6.00	500.0

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Mendeiros e Santos (2024); ^D Água Doces - Resolução do CONAMA nº. 357/05.

Fonte: Autor (2025).

Deste modo, tem-se que os valores da turbidez na água do Rio Pindaré, em Pindaré-Mirim na pesquisa atual aproximam-se do que foi descrito nos estudos anteriores nesse ecossistema lótico, tendo sido, ao que parece, pouco influenciada pela sazonalidade (Figura 11), exceto quando comparado aos níveis descritos no período chuvoso no estudo de Mendeiros e Santos (2024).

Destaca-se que os níveis de OD ou da CE nas amostras de água do Rio Pindaré na pesquisa atual ou em outros municípios situados no médio curso da BHRP, mostraram-se, no geral, condizentes ao que se verificou em estudos anteriores na estiagem ou no períodos chuvoso (Figura 11). Outrossim, aponta-se, ao se considerar a abordagem temporal e sazonal, que os níveis de OD estiveram abaixo do limite que dispõe a Resolução do CONAMA nº 357/05 nas amostras de água coletadas em junho de 2021 (estiagem), na pesquisa atual, ou quando comparada aos resultados dos estudos desenvolvidos por Silva *et al.* (2017), Mendeiros e Santos (2024) e Rodrigues *et al.* (2024) na BHRP.

4.3 Parâmetros Microbiológicos

No que diz respeito aos resultados da microbiologia, a detecção de coliformes termotolerantes e a presença de indol nas três amostras indicam um potencial contaminação fecal na água coletada (Tabela 9). Ademais, o teste de indol positivo aponta a capacidade das bactérias em metabolizar o triptofano para produzir indol, que indica a presença de coliformes termotolerantes. Os coliformes termotolerantes são frequentemente utilizados como indicadores de poluição fecal, porque sua presença sugere a possibilidade de contaminação por microrganismos patogênicos associados às fezes humanas e animais.

Tabela 9. Resultados Microbiológicos das Amostras de Água Analisadas pelo COLITEST.

Amostra	Coliformes	Indol	Contagem de Colônias (meio BEM)
Amostra A	Positivo (+)	Positivo (+)	8
Amostra B	Positivo (+)	Positivo (+)	136
Amostra C	Positivo (+)	Positivo (+)	168

Fonte: (Autor, 2024).

A contagem de colônias do COLITEST em meio BEM é particularmente preocupante, pois revela a quantidade de coliformes fecais presentes na água.

A amostra do Ponto B apresentou uma contagem mais alta em comparação com as amostras coletadas nos Pontos A e C (Tabela 9), o que parece sugerir uma maior carga microbiana nessa área específica da bacia hidrográfica. Isso pode ser atribuído a diversas fontes de contaminação, a julgar pela descarga de efluentes líquidos *in natura* (“esgoto”) doméstico ou industrial, além do carreamento de resíduos agrícolas pela lixiviação e escoamento das águas superficiais (*runoff*), a deposição de dejetos de animais e atividades urbanas.

Esses resultados têm implicações significativas para a saúde pública e o ambiente. A contaminação microbiológica da água representa um risco direto para a saúde da população que utiliza essa água para consumo, recreação ou atividades agrícolas. Além disso, a presença de coliformes fecais pode indicar a presença de outros patógenos transmitidos pela água, como vírus, parasitas e bactérias patogênicas, que podem causar doenças gastrointestinais e infecciosas, que pode ser suportada pela interpretação dos resultados da síntese estatística das doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, em especial das internações por diarreia (ver as Tabelas 3 e 4).

Revelou-se, portanto, a existência de níveis a serem observados de nitratos e níveis de fósforo total e coliformes termotolerantes em desconformidade ao que dispõem a Resolução do Conama nº. 357/2008, para as águas doces Classe 1 e Classe 2, ou da Portaria do Ministério da Saúde nº. 888/2021, que trata da qualidade da água destinada ao consumo humano. Esses resultados das análises laboratoriais da qualidade da águas da pesquisa de campo, na presente pesquisa, desenvolvida no baixo curso do Rio Pindaré (MA), situado, em especial, no contexto sócio-espacial do município de Pindaré-Mirim, puderam ser corroborados pelos resultados de estudos anteriores realizados, como as investigações de Medeiros e Santos (2014), Silva *et al.* (2017), Rodrigues *et al.* (2024), nesse município e nos seus vizinhos municipais, que se situam na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré.

Diante disso, é fundamental adotar medidas urgentes para mitigar os impactos ambientais negativos da poluição e da contaminação microbiológica da água na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré. Isso inclui investimentos em sistemas de tratamento de esgoto eficientes, controle e fiscalização de

atividades humanas para que se possa reduzir a poluição da água, além de educação ambiental e da implementação de práticas agrícolas sustentáveis que visem reduzir o escoamento de resíduos agrícolas na água.

4.4 Discussões e Encaminhamentos

A análise da qualidade da água na bacia do Rio Pindaré expõe uma série de desafios críticos que têm implicações profundas tanto para o ambiente quanto para a saúde pública. Esses desafios destacam a necessidade urgente de intervenção e revelam a complexidade da interação entre fatores naturais e antropogênicos.

A poluição por nutrientes, evidenciada pelos níveis elevados de nitratos e fosfatos, sugere impacto significativo das atividades humanas sobre o ecossistema aquático (Mendes; Oliveira, 2004). Esteves (2011) esclarece que a eutrofização, desencadeada por excesso de nutrientes pode levar a uma série de consequências negativas, como a proliferação descontrolada de algas, denominada "blooms". Esse fenômeno, *blooms* deterioram a qualidade da água e afetam a fauna aquática, reduz a biodiversidade e prejudica o equilíbrio ecológico (Carpenter *et al.*, 1998). A decomposição da biomassa dessas algas consome oxigênio dissolvido, que pode resultar em zonas de hipóxia ou anóxia, condição adversas a parte da vida aquática.

Além disso, a alta turbidez observada sugere um aumento na carga de sedimentos, que pode resultar da erosão do solo e do escoamento urbano. Essa turbidez compromete a penetração da luz na água, afetando a fotossíntese das plantas aquáticas e, conseqüentemente, alterando a estrutura das comunidades biológicas (Vidal *et al.*, 2016). Os sedimentos também podem atuar como veículos para a transferência de poluentes químicos e patógenos, exacerbando ainda mais a degradação ambiental.

A contaminação microbiológica da água representa um risco significativo para a saúde das populações que dependem desse recurso. A presença de coliformes fecais e outros indicadores de poluição fecal revela a potencial presença de patógenos que podem causar uma variedade de doenças infecciosas e gastrointestinais. A exposição a esses patógenos pode levar a surtos de doenças transmitidas pela água, como diarreia, hepatite e febre tifóide, particularmente entre grupos vulneráveis como crianças e idosos (Henze *et al.*, 2002).

O impacto na saúde pública é exacerbado pela falta de acesso a água tratada e saneamento adequado. A poluição fecal não apenas afeta diretamente a qualidade da água consumida, mas também pode comprometer os ecossistemas de água potável, tornando a água tratada mais cara e menos acessível para as comunidades afetadas. Além disso, o estresse ambiental resultante da poluição pode agravar problemas de saúde preexistentes, criando um ciclo vicioso de degradação ambiental e impacto negativo na saúde.

A presença de lixo nas margens dos rios observado na coleta (foto em apêndice) também tem implicações diretas para a saúde pública. Resíduos sólidos podem ser focos de proliferação de vetores de doenças, como mosquitos e roedores, que podem transmitir doenças infecciosas aos seres humanos. A decomposição de resíduos orgânicos contribui para a contaminação do solo e da água, podendo aumentar a carga de patógenos na água que é utilizada para consumo ou recreação (Santos *et al.*, 2020).

Além disso, o lixo pode impactar a qualidade da água de maneira indireta ao interferir nas infraestruturas de tratamento e distribuição. O entupimento de sistemas de drenagem e o aumento da carga de poluentes podem comprometer o tratamento adequado da água, elevando o risco de doenças transmitidas pela água entre as comunidades que dependem dessa fonte para suas necessidades diárias.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as taxas de internação por diarreias em Pindaré foram registradas em 25 internações por 1000 habitantes no ano de 2022. Esse dado é particularmente significativo, dado que taxas acima de 20 internações por 1000 habitantes frequentemente indicam problemas sérios de saúde pública relacionados à água e saneamento (IBGE, 2023).

A diarreia é uma doença frequentemente associada à ingestão de água contaminada com patógenos, incluindo coliformes fecais. Essa relação é sustentada por diversos estudos que mostram que a presença de coliformes na água pode resultar em surtos de diarreia e outras doenças gastrointestinais (World Health Organization, 2017).

Os dados de internação por diarreias em Pindaré, conforme os registros do IBGE, indicam uma taxa de 25 internações por 1000 habitantes. Esta taxa é elevada e pode estar associada à contaminação microbiológica da água observada nas amostras coletadas, onde a presença de coliformes fecais foi significativa. A relação entre a qualidade da água e as taxas de internação sugere que a contaminação da água está contribuindo para a alta incidência de doenças diarreicas na região.

A situação é ainda mais preocupante quando se considera que áreas com infraestrutura de saneamento inadequada e práticas de descarte de resíduos inadequadas são propensas a altos níveis de poluição da água (Santos *et al.*, 2020). A falta de tratamento adequado de esgoto e o escoamento de resíduos sólidos para os corpos d'água são fatores críticos que intensificam a contaminação e contribuem para o aumento das taxas de internação por doenças relacionadas à água.

A presença de coliformes fecais na água sugere a existência de patógenos que podem causar doenças diarreicas, como indicado pelos dados de internação. As doenças diarreicas são uma das principais causas de morbidade e mortalidade, especialmente em crianças e populações vulneráveis. A correlação entre a qualidade da água e as taxas de internação por diarreias destaca a necessidade urgente de melhorar a infraestrutura de saneamento e aumentar o acesso a água potável segura.

Além disso, a poluição da água não apenas contribui para doenças diarreicas, mas também pode ter efeitos prolongados na saúde geral da população, como desidratação crônica e comprometimento do estado nutricional. A gestão eficaz dos recursos hídricos e a melhoria das condições de saneamento são essenciais para reduzir a incidência de doenças relacionadas à água e melhorar a qualidade de vida na região.

Para enfrentar os desafios identificados, é necessário adotar medidas abrangentes que incluam melhoria da Infraestrutura de saneamento como investir em sistemas de tratamento de esgoto e em infraestrutura de água potável para garantir que a água consumida seja segura e livre de contaminantes microbiológicos, promover a educação sobre a importância do saneamento básico e do descarte adequado de resíduos para reduzir a poluição da água, estabelecer

programas de monitoramento regular da qualidade da água para identificar e controlar fontes de contaminação de forma eficaz, colaborar com órgãos governamentais e organizações locais para desenvolver e implementar políticas públicas que visem a proteção dos recursos hídricos e a melhoria das condições de saúde pública.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a taxa de esgotamento sanitário em Pindaré é de 40%, o que indica que apenas 40% da população tem acesso a sistemas de tratamento adequado de esgoto, enquanto 60% não conta com infraestrutura adequada para o tratamento de seus resíduos (IBGE, 2022). Esta baixa cobertura de esgotamento sanitário é um fator crítico que contribui para a poluição da água e tem implicações diretas para a saúde pública.

A relação entre esgotamento sanitário e qualidade da água é bem documentada. A falta de tratamento adequado de esgoto frequentemente resulta em escoamento de resíduos e efluentes não tratados para corpos d'água, o que aumenta a carga de contaminantes microbiológicos na água (Santos *et al.*, 2020). Essa situação está refletida nos dados de internação por diarreias, que, conforme o IBGE, apresenta uma taxa de 25 internações por 1000 habitantes em Pindaré.

A presença de coliformes fecais na água sugere contaminação fecal, o que está diretamente associado ao aumento de doenças gastrointestinais, incluindo diarreias. Dados demonstram que uma alta incidência de coliformes na água pode contribuir para taxas elevadas de internação por doenças relacionadas, como observado em Pindaré. A baixa cobertura de esgotamento sanitário intensifica esses problemas, uma vez que a ausência de tratamento adequado para os resíduos aumenta a poluição dos corpos d'água e a exposição da população a patógenos (World Health Organization, 2017).

A elevada taxa de internação por diarreias (25 por 1000 habitantes) é indicativa de um problema significativo de saúde pública que está intrinsecamente ligado à qualidade da água e à falta de infraestrutura sanitária. A baixa taxa de esgotamento sanitário contribui para a contaminação da água e, conseqüentemente, para o aumento das taxas de doenças diarreicas.

Além dos impactos diretos na saúde, a presença de lixo visível nas margens dos rios durante a coleta evidencia uma questão adicional: a poluição ambiental. O lixo, que inclui plásticos, resíduos orgânicos e materiais diversos, não só compromete a qualidade da água, mas também afeta os ecossistemas aquáticos e terrestres. A presença de resíduos sólidos pode levar à degradação dos habitats, impactando a fauna e flora local e exacerbando os problemas relacionados à saúde e saneamento.

A combinação da baixa cobertura de esgotamento sanitário e a poluição visível nas margens dos corpos d'água demonstra uma necessidade urgente de intervenção. A falta de tratamento adequado de esgoto e a presença de resíduos sólidos contribuem para a degradação ambiental e a proliferação de patógenos na água, impactando a saúde pública e a qualidade de vida na região.

Para abordar esses desafios, é essencial implementar uma abordagem integrada que inclua, expansão da Infraestrutura de saneamento como aumentar a cobertura de esgotamento sanitário para garantir que mais áreas da população tenham acesso a tratamento adequado de esgoto, melhorar a gestão de resíduos sólidos e promover práticas de descarte adequado para reduzir a poluição das margens dos corpos d'água, desenvolver campanhas de conscientização para informar a população sobre a importância do saneamento e do descarte adequado de resíduos, estabelecer programas de monitoramento contínuo da qualidade da água e fortalecer políticas públicas para proteger os recursos hídricos e promover a saúde ambiental.

A resposta a esses desafios deve ser multifacetada e envolver uma combinação de políticas de gestão integrada de recursos hídricos, educação pública e implementação de tecnologias de tratamento. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o uso reduzido de fertilizantes e técnicas de manejo de resíduos, é crucial para minimizar o escoamento de nutrientes. As regulamentações e normas estabelecidas por órgãos como o CONAMA devem ser rigorosamente seguidas e adaptadas conforme a necessidade para garantir a proteção dos recursos hídricos (Resolução CONAMA nº 357/2005).

Além disso, é essencial investir em infraestrutura de saneamento e tratamento de água para garantir que os recursos hídricos possam ser utilizados de forma segura e sustentável. A promoção de campanhas de conscientização para a comunidade local pode também desempenhar um papel vital na redução da poluição e na proteção dos ecossistemas aquáticos.

A gestão eficaz e a preservação dos recursos hídricos exigem uma abordagem colaborativa e adaptativa, reconhecendo as interdependências entre o meio ambiente, a saúde pública e as atividades humanas. Somente através de esforços coordenados será possível reverter os impactos adversos e assegurar a qualidade da água para as gerações futuras.

4.5 Limitações e Desafios Enfrentados

Durante o desenvolvimento deste estudo, enfrentamos limitações significativas, como já mencionado na metodologia, especialmente no que diz respeito à disponibilidade de recursos financeiros e laboratoriais. A ausência de laboratórios locais de apoio e as dificuldades logísticas limitaram a frequência e o número de amostras que puderam ser coletadas e analisadas. Para contextualizar essas restrições e destacar a relevância das parcerias institucionais, apresentamos abaixo (Quadro 3) uma síntese de estudos anteriores que enfrentaram desafios semelhantes na região.

O quadro apresentado evidencia a diversidade de estudos e abordagens realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, trazendo contribuições relevantes para diferentes aspectos do manejo e gestão dos recursos hídricos (Quadro 3). Ele apresenta uma síntese do estado atual do conhecimento científico sobre a região, abordando desde questões de qualidade da água e vulnerabilidades ambientais até os impactos socioeconômicos e a percepção da comunidade local. Essa multiplicidade de enfoques permite construir um panorama abrangente sobre os desafios enfrentados pela bacia, como poluição, desmatamento, fragmentação ambiental, uso inadequado de recursos e intrusão salina.

Quadro 3 – Panorama de Estudos Científicos sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré: contribuições para a Gestão dos Recursos Hídricos.

Autores	Ano	Título do Artigo	Objetivos	Metodologia	Problemas Identificados	Propostas de Soluções	Subsídios à Gestão Hídrica
Francisco Lages <i>et al.</i>	2011	Relatório Diagnóstico do Município de Pindaré-Mirim, Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Maranhão.	Cadastrar e avaliar as fontes de abastecimento de água subterrânea no município de Pindaré-Mirim.	Cadastro de 62 poços tubulares; análise da qualidade da água subterrânea (CE, STD).	Baixa eficiência na gestão de poços subterrâneos, contaminação por lixos e fossas em locais inadequados.	Recuperação de poços desativados, melhoria no monitoramento de qualidade e implementação de práticas de proteção sanitária.	Subsídio para a melhoria do abastecimento de água subterrânea no município e para o gerenciamento sustentável das águas.
Ricardo Madeira Tannús	2012	Planejamento Ambiental da Sub-Bacia Zutiua, Pindaré, Região Pré-Amazônica, Maranhão	Contribuir com o planejamento ambiental da Sub-Bacia do Zutiua, fornecendo informações ambientais.	Uso de imagens Landsat 5 TM para mapeamento de uso e cobertura do solo e de conectividade funcional dos fragmentos florestais.	Fragmentação florestal, alta perda de cobertura vegetal, erosão do solo, desmatamento, e baixa conectividade.	Proposta de criação de Comitês de Bacias Hidrográficas para gerenciar e conservar a sub-bacia.	Fornecer dados sobre a degradação e fragmentação da sub-bacia, incentivando a criação de políticas locais para manejo sustentável.
Beatriz Ventura Abreu	2013	Estudos Hidrológicos da Bacia do Rio Pindaré-Mirim	Avaliar a disponibilidade hídrica da Bacia do Rio Pindaré-Mirim, visando subsidiar decisões de gerenciamento.	Análise de dados pluviométricos e fluviométricos; chuvas intensas e séries temporais de vazão, avaliação de curva-chave.	Baixa disponibilidade hídrica para atender demandas, variações sazonais, enchentes e secas extremas.	Implementação de políticas de manejo sustentável das águas, subsídios ao monitoramento e gestão integrada de bacias.	Contribuição para o planejamento e manejo da bacia, oferecendo dados para intervenções ambientais e gestão das águas.
Eduardo Henrique <i>et al.</i>	2015	Variação temporal do fitoplâncton em um rio tropical pré-amazônico (Rio Pindaré, Maranhão, Brasil)	Analisar a variação temporal do fitoplâncton no médio curso do Rio Pindaré.	Coleta de amostras de água em seis pontos ao longo do médio curso durante os picos de chuva e estiagem.	Alta densidade fitoplanctônica durante a chuva, menor na estiagem. Desmatamento e ação antrópica.	Monitoramento da biodiversidade fitoplanctônica; controle de desmatamento para prevenir assoreamento.	Contribui para entender como mudanças sazonais afetam a biodiversidade e a qualidade da água, fornecendo dados para gestão ambiental.
Milena Mária <i>et al.</i>	2016	Diagnóstico socioambiental de uma população ribeirinha urbana do rio Pindaré, no Maranhão	Analisar a percepção dos moradores sobre os problemas ambientais e sanitários na área urbana ribeirinha de Pindaré-Mirim.	Pesquisa exploratória e descritiva com aplicação de questionários a 103 famílias; análise qualitativa e quantitativa.	Falta de saneamento, acúmulo de lixo e poluição do rio Pindaré.	Implementação de planejamento integrado entre moradores e poder público; criação de um programa de coleta e tratamento de resíduos sólidos e líquidos.	Contribui para identificar necessidades socioambientais, fornecendo subsídios para ações de saneamento e planejamento sustentável.
Walter Luis Muedas Yauri, Barbieri	2022	Intrusão salina em um sistema rio-planície de inundação tropical influenciado por macromarés – Rio Pindaré (MA)	Avaliar a intrusão salina no baixo curso do Rio Pindaré, considerando o impacto das macromarés.	Seis campanhas de coleta em sete pontos ao longo do baixo curso, com análise de parâmetros físico-químicos (TSS, salinidade, condutividade, pH, OD).	Influência das marés de sizígia no aumento da salinidade e condutividade elétrica em até 40 km da foz, especialmente no período seco.	Controle da intrusão salina através da manutenção do fluxo hídrico durante o período seco e reflorestamento das margens para controle da erosão.	Contribui para o entendimento da dinâmica de intrusão salina e seus impactos na qualidade da água, auxiliando no gerenciamento das águas no baixo curso do Rio Pindaré.
Saiane Oliveira <i>et al.</i>	2021	Estudo de vulnerabilidade dos recursos hídricos por agrotóxicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, João Lisboa, Maranhão.	Estimar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas por agrotóxicos na Bacia Hidrográfica do Pindaré.	Aplicação dos modelos EPA, GUS e GOSS para prever contaminação por agrotóxicos; levantamento com 60 produtores rurais.	40% dos agrotóxicos têm alto risco de contaminação dos recursos hídricos, afetando principalmente a água subterrânea.	Substituição de agrotóxicos de alto risco e maior rigor na fiscalização, oferta de educação ambiental.	Fornecer subsídios ao monitoramento ambiental e controle do uso de agrotóxicos e proteção das águas.
Rafael Medeiros e Luiz Carlos Santos	2024	Qualidade das águas, uso e cobertura da terra: subsídios para a gestão das águas da Bacia do Rio Pindaré, Maranhão – Brasil	Avaliar a qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, correlacionando com o uso da terra.	Coleta em 13 pontos da bacia; análise de turbidez, OD, pH, e condutividade.	Alta turbidez, baixa oxigenação, despejo de esgoto <i>in natura</i> e "lixo".	Monitoramento contínuo, redução de despejo de resíduos, reflorestamento de áreas ripárias.	Dados servem como subsídio para comitês de bacias hidrográficas e para políticas de conservação e manejo sustentável.

Fonte: (Autor, 2025).

Esta sistematização oferece um alicerce teórico que enriquece as análises e discussões, ao mesmo tempo que preenche lacunas metodológicas ou informativas que eu possa não ter abordado diretamente. Os dados sobre qualidade da água, uso da terra, intrusão salina e contaminação por agrotóxicos, por exemplo, dialogam diretamente com meu objetivo de compreender os impactos da degradação hídrica na Bacia do Pindaré, oferecendo parâmetros para comparações e validações.

Além disso, o quadro destaca a importância da integração entre conhecimento científico e políticas públicas, com propostas que vão desde a criação de comitês de bacia até o monitoramento contínuo e a educação ambiental. Essas sugestões reforçam a necessidade de pensar em soluções interdisciplinares e sustentáveis, alinhadas à realidade socioeconômica da região.

Assim como evidenciado em estudos anteriores (Correia Filho *et al.*, 2011; Tannús, 2012; Abreu, 2013), a falta de infraestrutura local e de financiamento suficiente impacta diretamente a capacidade de realizar coletas frequentes e abrangentes. A pesquisa buscou otimizar os recursos disponíveis, seguindo rigorosamente os protocolos científicos, mas reconhecemos que a ampliação das coletas seria benéfica para maior robustez dos resultados. A criação de um laboratório de apoio regional poderia mitigar essas dificuldades em estudos futuros, promovendo o monitoramento contínuo da qualidade da água.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água do rio Pindaré evidenciou uma estreita relação entre as ações humanas e a degradação socioecológica e ambiental, o que desvela a demanda por gestão ambiental, gestão territorial e proteção e conservação da água da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, no Maranhão. Além disso, com base no horizonte de sentidos da Ecologia Política, em uma abordagem complexa e ampla da realidade social desta bacia compreende-se que a superação desse quadro de deterioração socioecológica e ambiental exige e o enfrentamento das relações sociais, de poder e de saber, que reproduzem as assimetrias sócio-espaciais no acesso aos direitos fundamentais, a julgar pelos direitos fundamentais à saúde, ao ambiente salubre, a água potável e ao saneamento básico e ambiental.

A análise sócioeconômica da área de estudo contextualizada evidenciou a existência de assimetrias sócio-espaciais entre as áreas rural e urbana, as quais, conforme nossa interpretação, refletem as questões estruturais e políticas que residem nas relações sociais. Demonstrou-se que os municípios com caráter rural revelaram os menores valores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), ao passo que os municípios com perfil urbano registraram os maiores valores do IDHM e os menores percentuais de rendimento médio mensal domiciliar *per capita* de até um salário mínimo, como Alto Alegre, Santa Inês e Pindaré-Mirim.

Develou-se, no âmbito investigação temporal das assimetrias sócio-espaciais no acesso aos direitos fundamentais (2010 a 2024), a julgar pelo direito à saúde, na área de estudo contextualizada. O cenário epidemiológico das internações hospitalares associadas às doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, em especial daquelas associadas a diarreia, foi crítico nos municípios de Santa Inês, Alto Alegre do Pindaré e Pindaré-Mirim, entre os anos de 2010 e 2018. Observou-se que o número de internações por diarreia por mil habitantes foi mais desafiador no município de Monção, na área de estudo contextualizada. Esses resultados confirmam a relevância de estudos sobre as relações entre as assimetrias sócio-espaciais e os direitos fundamentais, como o direito à saúde.

No âmbito da análise das assimetrias sócio-espaciais no acesso aos serviços de saneamento básico, verificou-se que, em 2022, os municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre do Pindaré, Bom Jardim e Tufilândia apresentaram índices de cobertura de esgotamento sanitário adequado inferiores a 10%, conforme dados censitários do IBGE (2022). Essa condição sanitária ameaça os usos sustentáveis da natureza e à saúde pública, além de revelar uma situação de vulnerabilidade socioambiental. Diante desse cenário, futuros estudos poderão aprofundar a análise das relações entre as condições sanitárias, os indicadores sociais de saúde, os usos da terra e a qualidade da água e socioecológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (MA). Recomenda-se, para tanto, a adoção de uma abordagem multiescalar e integrada, que considere as múltiplas dimensões territoriais, sociais e ambientais envolvidas.

Esse quadro é agravado pela baixa cobertura de esgotamento sanitário na região, conforme demonstram os dados do IBGE (2010; 2022) e do DataSUS (2010

a 2024). A ausência de infraestrutura adequada leva aos despejos de efluentes líquidos *in natura* nos corpos hídricos, que polui a água, promove a eutrofização, restrições aos usos da água e o aumento das internações por doenças diarreicas. A interligação entre saneamento precário, poluição hídrica e agravos à saúde demanda por políticas públicas de melhoria da infraestrutura básica nos municípios Pindaré-Mirim, Bom Jardim, Santa Inês, Monção, Tufilândia e Alto Alegre.

Outro fator alarmante é a presença atrelada a destinação final inapropriada dos resíduos sólidos (“lixo”) nas margens do rio Pindaré, que evidencia as falhas na gestão de resíduos sólidos e a demanda por educação ambiental. Os resíduos sólidos poluem visualmente e quimicamente o ambiente aquático, além de interferir no equilíbrio socioecológico, afetando sua funcionalidade e a biodiversidade local.

Demonstrou-se, com base na leitura e interpretação das análises laboratoriais, e de estudos anteriores, a existência de sinais que indicam um ecossistema aquático em desequilíbrio e exige intervenções ecológicas-ambientais. A presença de nutrientes como nitrato e fosfato está associada à eutrofização, que compromete a oxigenação da água e afeta drasticamente a fauna e flora aquáticas. Enquanto que a contaminação microbiológica por coliformes termotolerantes, indicadora de resíduos orgânicos de origem humana e animal, refletiu, em grande medida, os desafios das falhas do saneamento básico, que representam, em conjunto, riscos à saúde pública, de doenças de veiculação hídrica, como gastroenterites e hepatites.

Desvelou-se a presença de níveis a serem observados de nitratos e níveis de fósforo total e coliformes termotolerantes em desconformidade ao que dispõem a Resolução do Conama nº. 357/2008, para as águas doces Classe 1 e Classe 2, ou da Portaria do Ministério da Saúde nº. 888/2021, que trata da qualidade da água destinada ao consumo humano. Esses resultados das análises laboratoriais da qualidade da águas da pesquisa de campo, na presente pesquisa, desenvolvida no baixo curso do Rio Pindaré (MA), situado, em especial, no contexto sócio-espacial do município de Pindaré-Mirim, puderam ser corroborados pelos resultados de estudos anteriores realizados, como as investigações de Medeiros e Santos (2014), Silva *et al.* (2017), Rodrigues *et al.* (2024), nesse município e nos seus vizinhos municipais, que se situam no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré.

Esses municípios compõem o que, nesta pesquisa, foi denominado área de estudo contextualizada, que se encontra sob a influência dos impactos ambientais negativos de práticas agrícolas insustentáveis, da urbanização, assimetrias sócio-espaciais no acesso aos direitos fundamentais e das falhas na oferta e na qualidade dos serviços de saneamento básico, com ênfase no esgotamento sanitário e a destinação final de resíduos sólidos, que alteram a qualidade da água do Rio Pindaré, e na saúde, que foi demonstrada na análise das internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, que incluem as internações hospitalares por diarreia, que atemoriza a população na área de estudo.

Nesse contexto, torna-se indispensável uma abordagem integrada de gestão dos recursos hídricos. Investimentos em saneamento básico, controle de poluentes, práticas agrícolas mais sustentáveis, e educação ambiental, as quais devem ser consideradas medidas prioritárias. A promoção de campanhas de sensibilização e a participação ativa das comunidades locais, aliadas à ação governamental e do setor privado, poder ser estratégias importantes para a reversão desse cenário.

Recomenda-se a elaboração de um plano de monitoramento contínuo da qualidade da água, das condições sanitárias e o estabelecimento de gestão territorial e gestão integrada das águas doces, a proteção e a conservação dos ecossistemas aquáticos. Somente através de uma abordagem abrangente e colaborativa é possível garantir água limpa e segura e a efetividade dos direitos humanos fundamentais, a exemplo do direito à água portátil, ao saneamento, ao ambiente salubre e à saúde para as gerações presentes e futuras.

Deste modo, ressalta-se a demanda pela assunção do dever ético e por um pacto político-social entre os poderes federal, estadual e municipal voltadas à melhoria da educação, da distribuição de renda e da expectativa de vida ao nascer, do saneamento básico, a promoção da saúde e a efetividade dos direitos humanos nos municípios de Pindaré-Mirim, Alto Alegre de Pindaré, Bom Jardim, Santa Inês e Tufilândia, no Estado do Maranhão, Brasil. Reforça-se a necessidade de ações corretivas e preventivas para conter a degradação da água do rio Pindaré, que é basilar para a melhoria da condições de vida das populações vulneráveis. Proteger a água é preservar a saúde pública, o ambiente e o futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, B. V. Estudos Hidrológicos da Bacia do Rio Pindaré-Mirim. São Luís: Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Brasil 2021. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/qualidade-das-aguas/relatorios-de-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 20 jun. 2024.

ALMEIDA, C. A.; RODRIGUES, L. C.; SILVA, D. F. A gestão da qualidade da água e os desafios para o desenvolvimento sustentável. Revista de Estudos Ambientais, v. 21, n. 3, p. 87-98, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington, D.C.: APHA, 2018.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water. 6. ed. 2013.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Brasil. Brasília, 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2023. Brasília: ANA, 2023.

ARANTES, R. L. *et al.* Monitoramento da qualidade da água: abordagens e metodologias. São Paulo: Editora Ambiental, 2020.

ASSUNÇÃO, M. M.; BARRETO, L. N.; ADDUM, F. M.; FEITOSA, A. C.; RODRIGUES, Z. M. R. Diagnóstico socioambiental de uma população ribeirinha urbana do rio Pindaré, estado do Maranhão. Rev. Bras. Geogr. Física, v. 9, n. 1, p. 269-283, 2016.

ATLAS DO MARANHÃO. Atlas do Maranhão. São Luís: Editora Estadual, 2002.

AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. 6. ed. Denver: AWWA, 2013.

BARBOSA, L. A. Erosão do solo e seus impactos nos cursos d'água. São Paulo: Editora Ambiental, 2017.

BEZERRA FILHO, J. G.; KERR, L. R. F. S.; MINÁ, D. D. L.; BARRETO, M. L. Distribuição espacial da taxa de mortalidade infantil e principais determinantes no Ceará, Brasil, no período 2000-2002. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 1173- 1185, 2007.

BOELEN, Rutgerd; ZWARTEVEEN, Margreet. Property, legal pluralism, and water rights: the critical analysis of water governance and the politics of recognizing “local” rights. *The Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law*, v. 47, n. 3, p. 456-475, 2015. BOYD, C. E. *Water Quality: An Introduction*. 3. ed. New York: Springer, 2020.

BRAGA, B.; CONEJO, J. G. L.; TUNDISI, J. G. *Introdução à engenharia ambiental*. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2017.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. *et al.* *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAGA, Benedito et al. *Introdução à engenharia ambiental*. In: *Introdução à engenharia ambiental*. 2010. p. 318-318.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). Índice de qualidade das águas. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Divisão territorial do Brasil. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2024.

BRASIL. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC). Informações sobre a bacia hidrográfica do Rio Pindaré.

BRASIL. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da CF, e altera o art. 1º da Lei no. 8.001, de 13 de março de 1990 que modificou a Lei no. 7.990 de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*, 9 jan. 1997.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*, 1 dez. 2000.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, p. 58-63. 2005.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2021. Brasília: Ministério das Cidades, 2021.

BRITO, P. de L. Subsídios para a conservação e planejamento territorial da subbacia Zutiua, Maranhão, Brasil. 2011. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Maranhão, São Luis.

CARPENTER, S. R.; CARPENTER, S. R.; CARPENTER, S. R. Eutrophication of lakes and rivers: a global problem. Ecological Applications, v. 8, n. 2, p. 265-279, 1998.

CARVALHO, J. R. et al. Qualidade da água e seus usos: um estudo crítico. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2007.

CARVALHO, P. N. et al. Métodos de análise da qualidade da água: uma abordagem prática. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de Qualidade das Águas. São Paulo, 2009.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005

CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini et al. Hidrogeoquímica do aquífero guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP). Geociências, v. 28, n. 1, p. 65-77, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357/2005. Brasília: CONAMA, 2005.

COSTA, S. O.; SOUZA, C. N.; ORLANDA, J. F. F. Estudo da vulnerabilidade dos recursos hídricos por agrotóxicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, João

Lisboa, Maranhão, Brasil. Rev. Bras. Agropec. Sustentável, v. 11, n. 2, p. 1-15, 2021.

COSTA, Karina Suzana Pinheiro et al. Estudo da potencialidade hídrica da Amazônia maranhense através do comportamento de vazões. In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. Amazônia Maranhense: diversidade e conservação. Belém, Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011. p. 70-88.

COSTA, P. M. et al. Eficácia de estratégias de monitoramento hídrico. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 2, p. 87-103, 2021.

COSTA, Saiane Oliveira; SOUZA, Caio Nunes; ORLANDA, José Fábio França. Estudo da vulnerabilidade dos recursos hídricos por agrotóxicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, João Lisboa, Maranhão, Brasil. 2021.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, É. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. Relatório Diagnóstico do Município de Pindaré-Mirim, Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Maranhão. São Luís: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2011.

DELUQUE, S. M. L. A Educação Ambiental e os Aspectos Legais e Institucionais para a Proteção e Preservação dos Recursos Hídricos na Bacia do Alto Paraguai. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 2., Campo Grande, 2002. Anais... CD-ROM.

DO MARANHÃO, MARANHÃO–Atlas. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO/UEMA). São Luis: GEPLAN, 2002.

DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: status, threats, and conservation. Biological Reviews, v. 94, n. 1, p. 1-33, 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Análise físico-química da água. Brasília, 2011.

EMBRAPA. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água, 2011.

ENERGIA PESQUISA E PLANEJAMENTO (EPE). Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Drinking Water Standards and Health Advisories. Washington, D.C.: U.S. EPA, 2019.

ESTEVEES, F. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing Systems at Risk. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

FEITOSA, F. A. C; FILHO, João Manoel. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Coord. Obra Fernando AC, 2000.

KEMPER, K. L. Institutional Frameworks for Integrated Water Resources Management in Brazil. *Water Policy*, v. 7, p. 79-97, 2005.

GARRIDO, A.; Schmidt, A. Gestão Integrada dos Recursos Hídricos: Perspectivas e Desafios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 191-207, 2012.

GLEICK, P. H. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York: Oxford University Press, 1996.

GLEICK, Peter H. *et al*. The World's Water Volume 8. The Biennial Report on Freshwater Resources, v. 8, 2014.

GONÇALVES, M. V. P.; SANTOS, R. A.; CRUZ, M. J. M.; PORCIÚNCULA, D. C.L. Condições Sociais de Saúde, Saneamento e Qualidade das Águas Subterrâneas de Itaparica e Vera Cruz, Região Metropolitana de Salvador, Bahia (BR).

Geoiingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM), v. 13, n. 1, p.121-145, 2021.

GONÇALVES, M.V.P.; CRUZ, M. J.M.; NASCIMENTO, S.A.M.; SANTOS, R.A.; PORCIÚNCULA, D.C.L.; BATISTA, F.S. Nitrato, qualidade microbiológica das águas subterrâneas e falhas no esgotamento sanitário de municípios do Oeste da Bahia, Brasil. **Conjecturas**, v.2, n.3, p.323-348, 2022a.

GONÇALVES, M. V. P.; PORCIÚNCULA, D. C. L.; ALENCAR, C. M. M.; CRUZ, M. J. M.; RAMOS SILVA, A. B.; SANTOS, R. A.; SILVA, A. C. M.; BATISTA, F. S.; RAMOS, V. M.L.; SIQUEIRA, T. G.; MOREIRA, G. A.V. Socio-Spatial Inequalities and Environmental and Sociocultural Existential Minimum in the Metropolitan Region of Salvador, Bahia, Brazil: fundamental rights, sanitation challenges and social health conditions. **International Journal of Human Sciences Research**, v. 2, n. 33, p.1-27, 2022b. <https://doi.org/10.22533/at.ed.5582332218105>

GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal. Desigualdades sócio-espaciais no acesso ao saneamento básico e às ameaças à saúde da população do Baixo Sul da Bahia, Brasil. **Conjecturas**, v. 23, n. 1, p. 255-281, 2023.

GONÇALVES, M. V. P.; SILVA, A. C. M.; TINÔCO, M. S.; ALENCAR, C. M. M.; PORCIUNCULA, D. C. L.; ALMADA, D. V.; GONÇALVES, M. N.; COSTA, M. V. P. C.; CERQUEIRA, R. N. Condições socioecológicas, composição do Fitoplâncton e qualidade da água da Lagoa de Pituaçu, Salvador, RMS, Bahia, Brasil. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 1, p. e8781-e8781, 2025.

GOMES, M. A. F. *et al.* Aspectos qualitativos da água do Rio Pindaré na Amazônia Maranhense. *Terceira Margem Amazônia*, v. 8, n. 19, p. 253-269, 2022.

GUNKEL, G. *et al.* Impactos das atividades industriais na qualidade da água. *Journal of Environmental Management*, v. 84, n. 2, p. 205-220, 2007.

HENZE, M.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; EKAMA, G. A.; MATTSON, E. W. *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing, 2002.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS; SEMATUR – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. Relatório sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré. Brasília, 1991.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Taxa de esgotamento sanitário em Pindaré. IBGE, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Taxa de internação por diarreias em Pindaré. IBGE, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da pecuária municipal – 2010b: Maranhão.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS. Anuário Estatístico do Maranhão. V. 1 (1968). São Luís: IMESC, 2010.

JACOBI, Pedro R. O papel das comissões de bacias hidrográficas na gestão dos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ABRH, 2004. p. 1-10.

KUIAVA, V. A.; PERIN, A. T.; CHIELLE, E. O. Hospitalização e taxas de mortalidade por diarreia no Brasil: 2000-2015. **Ciência & Saúde**, v. 12, n. 2, p. e30022-e30022, 2011.

LEFF, Enrique. Ecologia Política: uma perspectiva latino-americana. *Desenvolvimento e meioambiente*, v. 35, p. 29-64, 2015.

LIMA, J. et al. Contaminação das águas por nutrientes e metais pesados. Recife: Editora Pernambuco, 2020.

LINTON, Jamie; BUDDS, Jessica. The Hydrosocial Cycle: Defining and Mobilizing a Relational-Dialectical Approach to Water. *Geoforum*, v. 57, p. 170-180, 2014.

LOPES, J. B. et al. Aspectos ambientais e uso do solo na Bacia do Rio Pindaré. São Luís: Editora Maranhense, 2015.

LÖWY, Michael. Crisis ecológica, crisis capitalista, crisis civilizatoria: la alternativa ecosocialista. *Razón y Revolución*, n. 29, p.59-69, 2016.

LUBCHENCO, J.; OLSON, A. M.; BRUBAKER, L. B.; CARPENTER, S. R.; HOLLAND, M. M.; HUBBELL, S. P.; LEVIN, S. A.; PETERSON, C. H.; PULLIAM, R. H.; REAL, L. A.; REGAL, P. L.; RISSER, P. G. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda: a report from the Ecological Society of America. *Ecologia*, v.72, n.2, p.371-412, 1991

MARA, D. D. et al. Qualidade da água e seus usos. São Paulo: Editora Ambiental, 2021.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente. Recursos hídricos. Disponível em: <http://www.sema.ma.gov.br/paginas/view/paginas.aspx?c=107>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Laboratório de Geoprocessamento. Atlas do Maranhão. São Luís, 2006.

MEDEIROS, R. B.; DOS SANTOS, L. C. A. Qualidade das águas e uso e cobertura da terra: subsídios para a gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Pindaré, Maranhão–Brasil. *Agua y territorio = Water and Landscape*, n. 24, p. 11, 2024.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para o consumo humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas, 2004.

MENDONÇA, R. M.; OLIVEIRA, J. M. Qualidade da água em bacias hidrográficas: um estudo comparativo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2021.

MOLION, L. C. B. Planejamento Ambiental e Sustentabilidade. Brasília: Editora Acadêmica, 2018.

MORAES, M. R. et al. A influência dos nutrientes na qualidade da água em ecossistemas aquáticos. *Journal of Water Resources*, v. 35, n. 4, p. 300-315, 2020.

MOREIRA, G. A. V.; GONÇALVES, M. V. P.; PORCIÚNCULA, D. C. O compromisso social da Educação Ambiental no âmbito da escassez hídrica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 389-414, 2022.

MUDAS, Yauri W. L.; BARBIERI, R. Intrusão salina em um sistema rio-planície de inundação tropical influenciado por macromarés – Rio Pindaré (MA). *Estuar. Coast Shelf Sci.*, v. 270, p. 107969, 2022.

NASCIMENTO, D. S. **Fatores Socioambientais Associados a Doença Diarreica em Crianças**. Dissertação (Mestrado), Mestrado Profissional em Planejamento Ambiental, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2019.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e seus efeitos na qualidade da água. São Paulo: Editora Clima, 2019.

NOGUEIRA, A. et al. Análise microbiológica da água: métodos e aplicações. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

OLIVEIRA, R. S. et al. Alterações na qualidade da água: diagnóstico e tendências. *Boletim Técnico de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 3, p. 45-59, 2021.

ONU. United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. Paris: UNESCO, 2021.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). *State of the global climate 2023*. Genebra: Organização Meteorológica Mundial, 2023. Acesso em: 14 jan. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). *Water in a changing world*. London, 2009. 349p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O COMÉRCIO E DESENVOLVIMENTO (UNCTAD). Review of Maritime Transport 2021. Genebra: UNCTAD, 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). World Health Statistics 2020. Geneva: WHO, 2020.

OSTROM, Elinor. Understanding Institutional Diversity. Princeton: Princeton University Press, 2005.

PAHL-WOSTL, C. Water governance in the face of global change: From understanding to transformation. Springer International Publishing, 2017.

PANE, A.; BRONDI, S. Sedimentos e processos ecológicos em corpos d'água. São Paulo: Editora Ambiental, 2008.

PARRON, L. P.; MUNIZ, M. S.; PEREIRA, C. P. Parâmetros físico-químicos na avaliação da qualidade da água. Rio de Janeiro: Editora Saúde Ambiental, 2011.

PEIXOTO, José. Gestão de Recursos Hídricos: Uma Perspectiva Crítica. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2016.

PEREIRA, M. G. Métodos Empregados em Epidemiologia. In: _____. Epidemiologia Teoria e Prática. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. Cap. 12, p. 269-288.

PEREIRA, T. R. et al. Monitoramento hídrico: importância e metodologias. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 14, n. 1, p. 23-38, 2020.

PEREIRA, T. R. et al. Qualidade das águas e estratégias de monitoramento. Brasília: Editora Científica, 2007.

PIRES, D. S. et al. Poluição por fertilizantes e pesticidas: Impactos na qualidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 521-532, 2019.

PORCIÚNCULA, Débora Carol Luz da. O fenômeno das águas doces na Região Metropolitana do Salvador: usos, alterações e abandono. 2017.

PORTO-GONÇALVES, C. W. De caos sistêmico e de crise civilizatória: tensões territoriais em curso. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 22, n. 2, p. 103-132, 2020.

PORTO, M. F.; MARTINEZ-ALIER, J. Ecologia política, economia ecológica e saúde coletiva: interfaces para a sustentabilidade do desenvolvimento e para a promoção da saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, p. S503-S512, 2007.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

REBOUÇAS, A. C. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

ROCKSTRÖM, J. et al. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, p. 32-45, 2019.

RODRIGUES, L. A. et al. O impacto do agronegócio nos recursos hídricos brasileiros. *Estudos Avançados*, v. 32, n. 92, p. 65-81, 2018.

RODRIGUES, Eduardo Henrique Costa; BARRETO, Larissa Nascimento; FERREIRA-CORREIA, Maria Marlúcia; CHAGAS SILVA, Maria Raimunda. *Variação temporal do fitoplâncton em um rio tropical pré-amazônico (Rio Pindaré, Maranhão, Brasil)*. 2015.

SALES, M. G. et al. Qualidade da água e ocupação do solo: um estudo integrado. *Estudos Avançados em Gestão Ambiental*, v. 9, n. 1, p. 77-91, 2020.

SANTANA, S. H. C. et al. Estudo de parâmetros de qualidade de água e análise de imagens do Landsat5 referente ao oeste da região do Sub-médio São Francisco. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011. Anais... Curitiba, 2011.

SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, J. L. Impactos ambientais e saúde pública: a influência do lixo urbano na qualidade da água. *Journal of Environmental Management*, v. 253, p. 113-124, 2020.

SANTOS, Fernando; SILVA, Bruno. Poluição das águas e a crise de abastecimento no Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 89-104, 2017.

SCHULZ, R. et al. Presença de fármacos em corpos d'água e seus efeitos. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 15, p. 18750-18760, 2020.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Relatório Diagnóstico do Município de Pindaré-Mirim. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado do Maranhão. São Luís: CPRM, 2003. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/15567/1/rel-pindare-mirim.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2025.

SEMATUR. Diagnóstico dos Principais Problemas Ambientais do Estado do Maranhão. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Turismo, São Luís, 1991. p. 19.

SHIVA, Vandana. **Guerras por água**: privatização, poluição e lucro. São Paulo: Radical, 2006.

SILVA, F. R. et al. Impactos da agricultura na qualidade da água na bacia do Rio Pindaré. *Journal of Environmental Science*, v. 30, n. 2, p. 200-210, 2021.

SILVA, J. F.; COSTA, L. S. Análise físico-química e microbiológica de corpos d'água. Rio de Janeiro: Editora Científica, 2020.

SILVA, L. R. Ação da pecuária e desmatamento na qualidade da água. Fortaleza: Editora Nordeste, 2015.

SILVA, L. R.; MENEZES, E. A. Efeitos dos metais pesados na saúde humana e ambiental. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, v. 21, n. 4, p. 341-355, 2018.

SOBRAL, M. C. M. Estratégia de gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 7, n. 2, p. 76-82, 2011.

SOUZA, M. A.; PEREIRA, T. S. Metodologia de monitoramento de águas superficiais. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019.

SWYNGEDOUW, Erik. The Political Economy of Water: Neoliberalism, Privatization and the Commodification of Water. *Capitalism Nature Socialism*, v. 20, n. 2, p. 1-18, 2009.

TANNÚS, R. M. Planejamento Ambiental da Sub-Bacia Zutiua, Pindaré, Região Pré-Amazônica, Maranhão. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2012.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 4. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2017.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: Ciência e Prática. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. Review of Maritime Transport. New York: UNCTAD, 2021.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Environment Outlook: Regional Assessments. Nairobi: UNEP, 2016.

UNESCO. United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. Paris: UNESCO, 2020.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. 2016..

VIDAL, T. S.; MARTINS, M. S.; LOPES, A. A. The impact of turbidity on aquatic ecosystems: case studies and mitigation measures. *Water Research*, v. 101, p. 19-26, 2016.

VETTER, D. M.; SIMÕES, C. C. da S. Acesso à infra-estrutura de saneamento básico e mortalidade. **Revista Brasileira de Estatística, Rio de Janeiro**, v. 42, n. 165, p. 17-35, 1981.

VIEIRA, M. R. Urbanização e seus impactos sobre os recursos hídricos. São Paulo: Editora Metropolitana, 2016.

VON SPERLING, M. Introdução ao tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018.

VON SPERLING, M. Introdução ao tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-water Quality. 4. ed. Geneva: WHO, 2017.

YAURI, Walter Luis Muedas; BARBIERI, Ricardo. Intrusão salina em um sistema rio-planície de inundação tropical influenciado por macromarés – Rio Pindaré (MA). 2022.

ZHAO, X.; HUANG, G.; LI, Y.; ZHANG, B. Statistical methods for comprehensive understanding of water resources: Applications and implications. *Environmental*

Science and Technology, v. 46, n. 8, p. 4125-4130, 2012. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2040332>. Acesso em: 27 jun. 2024.

ZHAO, Y. et al. Ferramentas estatísticas para o monitoramento dos recursos hídricos. *Environmental Statistics Journal*, v. 13, n. 2, p. 113-126, 2012.

APÊNDICE

Apêndice I. Registro fotográfico da coleta de amostras de água e diagnóstico ambiental no baixo curso da Rio Pindaré, no município de Pindaré-Mirim e adjacências, no Estado do Maranhão, Brasil.

Foto A – Amostragem e vista, ao fundo, da margem direita, assoreada, do Rio Pindaré (MA).



Foto B – Amostragem e vista, ao fundo, da margem esquerda, assoreada, do Rio Pindaré (MA).



Foto C – Coleta de água do Rio Pindaré e vista, ao fundo, do município de Pindaré-Mirim, no Maranhão.



Apêndice II. Registro fotográfico da coleta de amostras de água e impactos ambientais no baixo curso da Rio Pindaré, no município de Pindaré-Mirim e adjacências, no Estado do Maranhão, Brasil

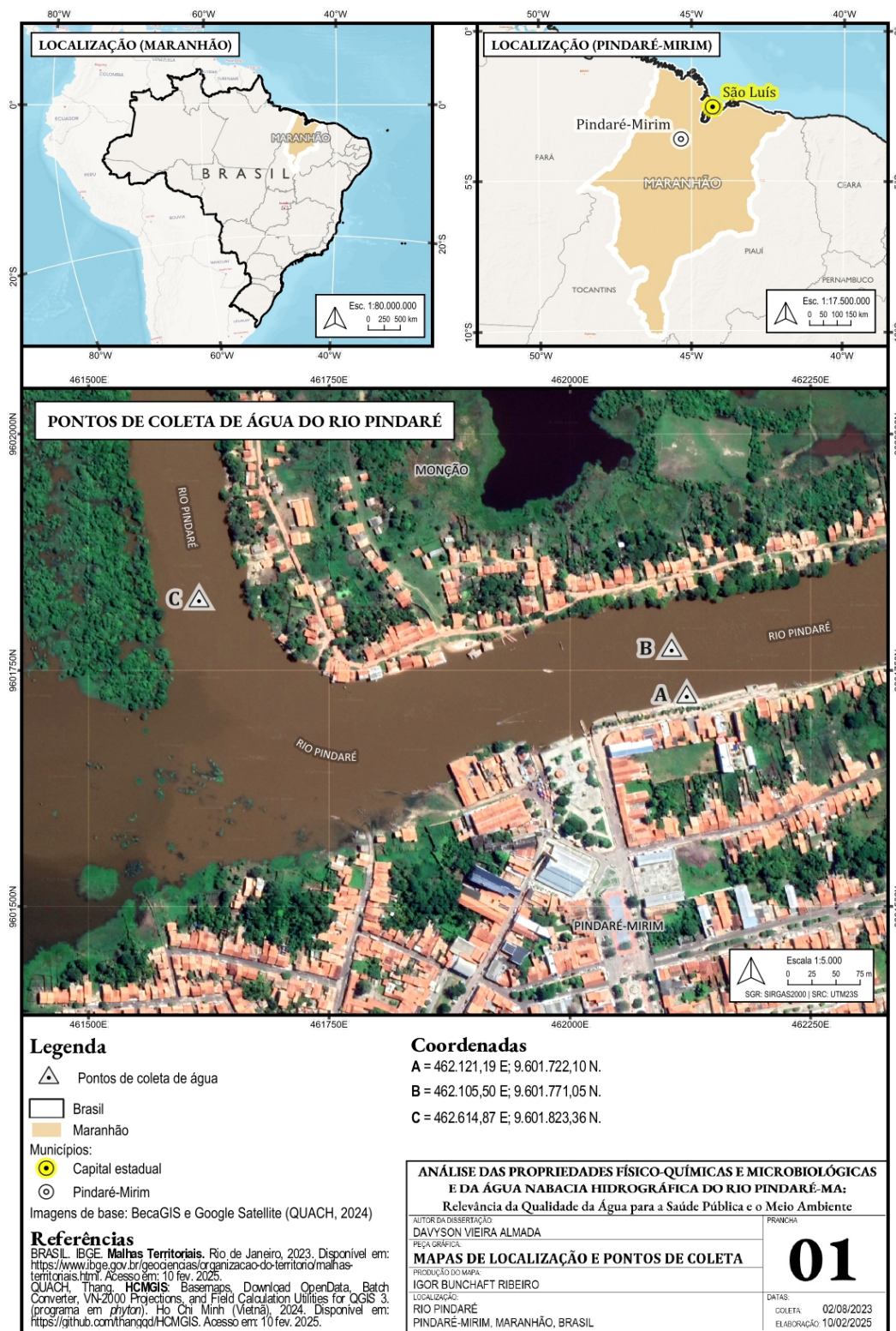
Foto A – Amostragem e registro de evidências da presença de resíduos sólidos, em especial plásticos, nas margens do Rio Pindaré, no município de Pindaré-Mirim (MA).



Foto B – Amostragem e registro de evidências da presença de resíduos sólidos (“lixo”), em especial plásticos, despejo de efluentes líquidos (“esgoto”) e de margens assoreadas do Rio Pindaré, no município de Pindaré-Mirim (MA).



Apêndice III. Mapa de situação e localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, no Maranhão, com destaque para os locais de coleta de amostras de água no município de Pindaré-Mirim e adjacências.



ANEXO

Anexo I. Distribuição de frequência das internações hospitalares por diarreia e gastroenterite origem infecciosa presumível dos municípios Pindaré-Mirim, Bom Jardim, Santa Inês, Monção, Tufilândia e Alto Alegre, situados no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, no Maranhã.

a) Doenças de transmissão feco-oral (CID 10: A00, A02, A04-A09) (todas as idades - geral).

Município	Período compreendido entre 2010 A 2024															Total
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Pindaré	196	389	386	345	345	382	665	641	427	183	20	47	73	60	94	4.253
Bom Jardim	530	354	305	623	699	514	828	529	475	257	246	245	327	371	359	6.663
Santa Inês	584	487	590	389	333	302	237	289	308	304	194	212	212	193	250	4.887
Monção	608	355	287	281	297	231	335	162	116	101	105	110	134	142	166	3.447
Tufilândia	10	8	7	64	50	145	71	288	314	117	83	51	10	7	29	1.254
Alto Alegre	486	549	574	669	893	906	650	345	439	445	209	199	197	213	185	6.982

b) Diarreia e gastroenterite origem infecciosa presumível (A09) (todas as idades - geral)

Município	Período compreendido entre 2010 A 2024															Total	X%
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Pindaré-Mirim	183	383	386	332	331	365	651	626	404	97	13	7	12	34	66	3.890	91.46
Bom Jardim	10	27	13	13	18	18	126	205	39	90	227	145	40	13	20	1.004	15.07
Santa Inês	125	442	578	64	6	19	143	85	86	95	100	101	46	468	237	2.295	49.96
Monção	9	22	57	99	90	161	314	137	107	83	98	106	128	123	158	1.692	49.09
Tufilândia	2	7	7	56	47	135	68	169	117	44	46	35	7	2	19	761	60.69
Alto Alegre	447	539	567	655	883	901	631	52	4	11	5	-	2	3	9	4.709	67.44

c) Diarreia e gastroenterite origem infecciosa presumível (CID 10: A09) (<1 ou 1-4 anos de idade)

Município	Período compreendido entre 2010 A 2024															Total	X%
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Pindaré-Mirim	78	136	114	115	132	130	283	218	164	45	10	2	4	22	30	1.483	38.12
Bom Jardim	4	9	7	5	7	11	67	81	8	32	105	54	12	5	14	421	41.93
Santa Inês	95	144	205	6	4	5	65	27	31	52	71	64	31	104	161	1.065	
Monção	7	13	27	44	20	49	87	58	38	36	26	51	48	28	68	600	
Tufilândia	1	5	1	11	20	28	24	50	11	4	4	4	3	1	4	171	
Alto Alegre	117	163	168	197	325	292	178	14	2	3	1	-	-	1	4	1.465	

d) Diarreia e gastroenterite origem infecciosa presumível (CID 10: A09) (todas as idades - geral)

Município	Período compreendido entre 2010 A 2024															Total	X%
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Pindaré-Mirim	183	383	386	332	331	365	651	626	404	97	13	7	12	34	66	3.890	91.5
Bom Jardim	10	27	13	13	18	18	126	205	39	90	227	145	40	13	20	1.004	15.1
Santa Inês	125	442	578	64	6	19	143	85	86	95	100	101	46	468	237	2.295	49.9
Monção	9	22	57	99	90	161	314	137	107	83	98	106	128	123	158	1.692	49.1
Tufilândia	2	7	7	56	47	135	68	169	117	44	46	35	7	2	19	761	60.7
Alto Alegre	447	539	567	655	883	901	631	52	4	11	5	-	2	3	9	4.709	67.4

e) Outras doenças infecciosas intestinais (CID-10: A04-A09) (todas as idades - geral).

Município	Período compreendido entre 2010 A 2024															Total	X%
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Pindaré-Mirim	13	6	-	12	14	17	14	15	23	85	7	40	61	26	28	361	8.49
Bom Jardim	520	327	292	608	681	496	702	324	436	166	19	100	286	357	338	5.652	84.83
Santa Inês	458	45	11	324	327	283	92	204	222	208	93	109	162	25	13	2.576	52.71
Monção	599	333	229	182	206	69	21	23	9	18	6	4	6	19	8	1.732	50.25
Tufilândia	8	1	-	8	3	10	3	119	197	73	37	16	3	5	10	493	39.31
Alto Alegre	38	10	7	12	6	4	17	292	435	430	203	197	195	210	176	2.232	31.97

*Morbidades - CID-10: cólera (A00), febres tifóide e paratifoide (A01), shigelose (A03), amebíase (A06), diarreia e gastroenterite origem infec. presumível (A09) e outras doenças infecciosas intestinais (A04-A09).

Município: 210047 Alto Alegre do Pindare, 210200 Bom Jardim, 210690 Moncao, 210850 Pindare-Mirim, 210990 Santa ines, 211227 Tufilandia. Lista Morb CID-10: Cólera, Febres tifóide e paratífóide, Amebíase, Shigelose, Diarreia e gastroenterite origem infec. presumível, Outras doenças infecciosas intestinais, Faixa Etária 1: Menor 1 ano, 1 a 4 anos. Período: Jan/2008-Jan/2025.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrbr.def> . Acesso em: 29.03.2025.