



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE



UFMA



UFPI



UFC



UFERSA



UFRN



UFPB



UFPE



UFS



UESC

RUBENILSON AMORIM MARTINS

**QUALIDADE, GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS: IMPLICAÇÕES NOS
USOS E CONFLITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU,
MARANHÃO**

Teresina

2026

RUBENILSON AMORIM MARTINS

**QUALIDADE, GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS: IMPLICAÇÕES NOS
USOS E CONFLITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU,
MARANHÃO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – (PRODEMA), Associação plena em rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Leonardo Silva Soares
Prof. Dr.

Coorientador: Caio Brito Lourenço
Prof. Dr.

Teresina

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

M386q Martins, Rubenilson Amorim.
Qualidade, governança e gestão das águas: Implicações nos
usos e conflitos na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão
/ Rubenilson Amorim Martins. – 2026.
185 f.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de
Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente ,
Teresina, 2026.
“Orientador: Prof. Dr. Leonardo Silva Soares”.
“Coorientador: Prof. Dr. Caio Brito Lourenço”.

1. Recursos Hídricos - Gerenciamento. 2. Água - Monitoramento da
qualidade. 3. Gestão hídrica. 4. Conflitos Hídricos. I. Soares, Leonardo
Silva. II. Lourenço, Caio Brito. III. Título.

CDD 333.91

RUBENILSON AMORIM MARTINS

**QUALIDADE, GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS: IMPLICAÇÕES NOS
USOS E CONFLITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU,
MARANHÃO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – (PRODEMA), Associação plena em rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Tecnologias para o desenvolvimento sustentável

Orientador(a): Prof. Dr. Leonardo Silva Soares

Aprovado em 25 de março de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO SILVA SOARES**
Data: 29/04/2026 14:27:45-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Leonardo Silva Soares, Prof. Dr. (UFMA)
Presidente – Orientador

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS ANTONIO TAVARES LIRA**
Data: 29/04/2026 17:21:08-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

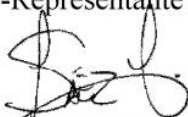
Marcos Antonio Tavares Lira, Prof. Dr. (UFPI)
Examinador-Representante local do Prodema

Documento assinado digitalmente
 **PATRICIA MARIA MARTINS NAPOLIS**
Data: 04/05/2026 11:53:25-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Patrícia Maria Martins Nápolis, Prof^a Dra. (UFPI)
Examinadora-Representante da Rede Prodema

Documento assinado digitalmente
 **JAMES WERLLEN DE JESUS AZEVEDO**
Data: 04/05/2026 09:20:54-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

James Werllen de Jesus Azevedo, Prof. Dr. (UFMA)
Examinador-Representante da Rede Prodema



Felipe Andrés Sáez Ardura, Prof. Dr. (UFRO)
Examinador-Representante de instituição externa a Rede Prodema

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus,

Agradeço a minha família, pelo incentivo, amizade e exemplos que dela recebi.

Agradeço a minha esposa, Angélica Valony, pela compreensão, dedicação e ajuda dada nesta longa caminhada.

Agradeço ao orientador pela confiança na minha pesquisa, compreensão, orientações e direcionamentos durante a construção da Tese.

Agradeço ao coorientador por acreditar no meu trabalho, pelos conselhos, orientações, direcionamentos e parceria nas atividades de campo e análise de dados.

Agradeço a banca examinadora pelas pertinentes contribuições durante a avaliação.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão – FAPEMA pela bolsa concedida.

"A natureza pode suprir todas
as necessidades do homem,
menos a sua ganância"

Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	11
GENERAL ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2 OBJETIVOS E HÍPOTESES	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 ÁGUA NO MUNDO.....	18
3.2 ÁGUA NO BRASIL.....	21
3.3 ALTERAÇÃO NO USO E COBERTURA DA TERRA E OS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS.....	24
3.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM APLICAÇÃO DE ÍNDICES (IQA-NSF, IQA-CCME, IET).....	26
3.4.1 Índice de qualidade da água – IQA-NSF	26
3.4.2 Índice de qualidade da água - IQA-CCME.....	28
3.4.3 Índices de estado trófico-IET's	30
3.5 USOS DA ÁGUA E CONFLITOS HÍDRICOS	32
3.6 GESTÃO E GOVERNANÇA DA ÁGUA.....	34
3.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU	38
REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO I	57
TÍTULO DO CAPÍTULO	57
RESUMO.....	57
ABSTRACT	58
1 INTRODUÇÃO.....	59
2 MATERIAIS E MÉTODOS	61
2.1 ÁREA DE ESTUDO	61
2.2 PROCESSAMENTO DE DADOS PARA USO E COBERTURA DA TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA	63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
3.1 USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU.....	65
3.2 QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU E SUA RELAÇÃO COM O USO E COBERTURA DA TERRA-----	73
4 CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS	83
CAPÍTULO II.....	87

TÍTULO DO CAPÍTULO.....	87
RESUMO.....	87
ABSTRACT	88
1 INTRODUÇÃO.....	89
2 MATERIAIS E MÉTODOS	91
2.1 ÁREA DE ESTUDO	91
2.2 ESTRATÉGIA AMOSTRAL	92
2.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE	92
2.4. VARIÁVEIS AMBIENTAIS	93
2.4.1 Precipitação pluviométrica e vazão.....	93
2.4.2 Variáveis físicas e químicas	94
2.4.3 Variáveis biológicas	94
2.5 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA IQA-NSF-----	94
2.6 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA IQA-CCME	95
2.7 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO –IET	97
2.8 DETERMINAÇÃO DO TRIX	98
2.9 CONFECÇÃO DE MAPAS, GRÁFICOS E TRATAMENTO DE DADOS ESTATÍSTICOS.....	98
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
3.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU.....	100
3.2 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA-NSF e IQA-CCME-----	105
3.3 ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO – IET e TRIX-----	109
3.4 PADRÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BACIA HDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU	113
4 CONCLUSÕES.....	119
REFERÊNCIAS	120
CAPÍTULO III	126
TÍTULO DO CAPÍTULO	126
RESUMO.....	126
ABSTRACT	126
1 INTRODUÇÃO.....	127
2 MATERIAIS E MÉTODOS	130
2.1 ÁREA DE ESTUDO	130
2.2 VARIÁVEIS AMBIENTAIS -----	130

2.2.1 Precipitação pluviométrica e vazão-----	131
2.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	132
2.4 DEFINIÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	132
2.5 MENSURAÇÃO DA CONDIÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	133
2.6 CENÁRIOS DE RISCOS DE CONFLITOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	134
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	135
3.1 USOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU-----	135
3.2 BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	138
3.3 CONDIÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	142
3.4 CENÁRIOS DE RISCOS DE CONFLITOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	145
3.4.1 Cenários de riscos de conflitos hídricos pela redução da quantidade de água disponível -----	145
3.4.2 Cenários de riscos de conflitos hídricos pela perda de qualidade da água-----	147
4 CONCLUSÕES	151
REFERÊNCIAS	152
CAPÍTULO IV.....	156
TÍTULO DO CAPÍTULO	156
RESUMO.....	156
ABSTRACT	157
1 INTRODUÇÃO.....	158
2 MATERIAIS E MÉTODOS	160
2.1 ÁREA DE ESTUDO	160
2.2 QUADRO DE INDICADORES DE GOVERNANÇA DA ÁGUA DA OCDE	161
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	164
3.1 PONTOS FORTES DA GOVERNANÇA DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU	168
3.2 PONTOS FRACOS (LACUNAS) DA GOVERNANÇA DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU -----	173
4 CONCLUSÕES.....	179

REFERÊNCIAS	181
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	184

RESUMO GERAL

QUALIDADE, GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS: IMPLICAÇÕES NOS USOS E CONFLITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU, MARANHÃO

Autor: Rubenilson Amorim Martins

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Silva Soares

Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Teresina-PI, Março de 2026.

A água proporciona as condições ambientais e biológicas para a manutenção da biodiversidade e para a sobrevivência da espécie humana, apesar da grande importância e da inexistência de elemento que a substitua, o avanço da escassez, a insegurança hídrica e a degradação da qualidade da água, desencadeadas pela mudança na cobertura da terra, intensificação dos usos da água, poluição hídrica e mudanças climáticas, são realidades comuns e crescentes em grande parte dos países. A pesquisa teve como objetivo analisar a qualidade, governança e gestão das águas e as implicações nos usos e conflitos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. A área de estudo compreendeu o alto, médio e baixo curso da referida bacia hidrográfica, localizada na parte centro-leste do estado do Maranhão. Para analisar a relação entre uso e cobertura da terra e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, foi feita a comparação das classes de uso e cobertura da terra, definidas a partir da confecção de mapas temáticos, desenvolvidos com imagens do satélite Landsat 8 dos anos de 2003 e 2023, com os dados de qualidade de água, obtidos no Portal HidroWeb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) com a série histórica de 2003 a 2023. A condição de qualidade da água foi definida por meio dos Índices de Qualidade da Água -IQA-NSF e IQA-CCME e dos Índices de Estado Trófico – IET e TRIIX, os dados de qualidade da água utilizados nos índices, foram levantados em campanhas de coletas de amostras de água realizadas na da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com periodicidade bimestral, ao longo do ano de 2023, totalizando seis campanhas, três no período chuvoso e três no período de estiagem. Os usos da água foram identificados a partir de observações *in loco* e da análise das outorgas de uso da água ativas, e os cenários de conflitos hídricos foram identificados por meio do balanço hídrico e da condição de qualidade da água dos principais rios da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. A avaliação da eficácia e eficiência da governança e gestão da água, foi realizada a partir da aplicação dos indicadores de governança da água desenvolvidos pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE. Os resultados demonstraram que existe relação entre alteração no uso e cobertura da terra e perda de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com o alto curso, trecho da bacia hidrográfica com menor alteração na cobertura natural da terra, apresentando melhor qualidade da água e os trechos com maiores alterações na cobertura natural da terra, médio e baixo curso, apresentando maior degradação da qualidade da água. A condição de qualidade da água definida a partir dos índices de qualidade da água e dos índices de estado trófico, também ratificou esse padrão espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica, com o alto curso apresentado menor degradação e os cursos médio e baixo maior. Os principais usos da água identificados com base na quantidade de outorgas emitidas foram, pecuária representando 51,19%, irrigação 18,86%, aquicultura 5,98%, indústria 5,38%, esgotamento sanitário (diluição) 3%, mineração 1,79%, abastecimento público (urbano e rural) 0,89% e lazer 0,59%. Verificaram-se cenários com baixa probabilidade de ocorrência de conflitos pela redução da quantidade de água, por outro lado, constatou-se maior probabilidade de ocorrência de conflitos pela perda progressiva da qualidade da água. Os indicadores de governança da água da OCDE, mostraram a existência de muitas lacunas na governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente ligadas ao monitoramento e à

avaliação de políticas da água, à transparência, à inovação da governança, à equidade e proteção dos utilizadores da água, e por outro lado, destacaram como principais pontos fortes (eficácia e eficiência), a existência de políticas, leis e instituições envolvidas na governança da água, bem como a regulação, por meio de políticas e normas. Os resultados obtidos nesta pesquisa poderão ser utilizados como uma importante ferramenta para subsidiar a tomada de decisão, pelas organizações ligadas a gestão da água e ordenamento territorial, gestores públicos e do comitê da bacia hidrográfica, de modo a nortear o planejamento da gestão e governança da água no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Palavras-Chave: Alteração na cobertura da terra, Monitoramento da qualidade da água, Conflitos Hídricos, Gestão hídrica.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável–ODS’s: 02- Fome Zero e Agricultura Sustentável; 06- Água Potável e Saneamento; 11- Cidades e Comunidades Sustentáveis; 13- Ação contra a mudança global do clima; 14- Vida na Água; 15- Vida Terrestre.

GENERAL ABSTRACT

WATER QUALITY, GOVERNANCE AND MANAGEMENT: IMPLICATIONS ON USES AND CONFLICTS IN THE ITAPECURU RIVER BASIN, MARANHÃO

Autor: Rubenilson Amorim Martins

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Silva Soares

Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Teresina-PI, Março de 2026.

Water provides the environmental and biological conditions necessary for maintaining biodiversity and ensuring human survival. Despite its fundamental importance and the absence of any substitute, increasing water scarcity, water insecurity, and the degradation of water quality—driven by land cover change, intensified water use, water pollution, and climate change—have become common and growing realities in many countries. This study aimed to analyze water quality, governance, and management, as well as their implications for water uses and conflicts in the Itapecuru River basin. The study area comprised the upper, middle, and lower courses of the basin, located in the central-eastern region of the state of Maranhão, Brazil. To analyze the relationship between land use and land cover and water quality in the Itapecuru River basin, a comparison was conducted between land use and land cover classes—defined from thematic maps produced using Landsat 8 satellite images from 2003 and 2023—and water quality data obtained from the HidroWeb Portal of the National Water Resources Information System (SNIRH), covering the historical series from 2003 to 2023. Water quality conditions were determined using the Water Quality Indices (WQI-NSF and WQI-CCME) and the Trophic State Indices (TSI and TRIX). The water quality data used to calculate the indices were obtained through field sampling campaigns conducted in the Itapecuru River basin on a bimonthly basis throughout 2023, totaling six sampling campaigns, three during the rainy season and three during the dry season. Water uses were identified through in situ observations and the analysis of active water use permits, while potential water conflict scenarios were identified through water balance assessments and the analysis of water quality conditions in the main rivers of the basin. The effectiveness and efficiency of water governance and management were evaluated based on the water governance indicators developed by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). The results showed a relationship between land use and land cover changes and the loss of water quality in the Itapecuru River basin. The upper course, characterized by lower levels of alteration in natural land cover, exhibited better water quality conditions, whereas the middle and lower courses—where greater land cover changes have occurred—showed more pronounced water quality degradation. The water quality and trophic state indices confirmed this spatial pattern, indicating lower degradation in the upper course and higher degradation in the middle and lower courses of the basin. The main water uses identified based on the number of issued permits were livestock farming (51.19%), irrigation (18.86%), aquaculture (5.98%), industry (5.38%), sanitation (effluent dilution) (3%), mining (1.79%), public water supply (urban and rural) (0.89%), and recreation (0.59%). Scenarios with a low probability of conflicts due to water quantity reduction were identified; however, a higher probability of conflicts related to the progressive deterioration of water quality was observed. The OECD water governance indicators revealed several gaps in water governance in the Itapecuru River basin, particularly related to monitoring and evaluation of water policies, transparency, governance innovation, equity, and the protection of water users. On the other hand, the existence of policies, legal frameworks, and institutions involved in water governance, as well as regulatory mechanisms through policies and standards, were identified as key strengths in terms of effectiveness and efficiency. The results obtained in this study may serve as an important tool to support decision-making by organizations involved in water

management and land-use planning, as well as by public managers and the river basin committee, thereby guiding the planning of water management and governance within the Itapecuru River basin.

Keywords: Land cover change, Water quality monitoring, Water conflicts, Water management.

Sustainable Development Goals: 2 - Sustainable Agriculture; 6 - Clean Water and Sanitation; 11 - Sustainable Cities and Communities; 13 - Climate Action; 14 - Life Below Water; 15 - Life on Land.

1 INTRODUÇÃO GERAL

As sociedades humanas dependem da água para a sobrevivência e para o desenvolvimento econômico, apesar da extrema dependência, da inexistência de elemento que a substitua, o avanço da escassez, da insegurança hídrica, da degradação da qualidade da água são realidades comuns e crescentes em grande parte dos países (Tundisi, 2005, 2006). Esses problemas são desencadeados pela intensificação dos usos de recursos hídricos, poluição da água, mudanças climáticas e a conversão da terra, esses fatores criaram e continuam a intensificar a crise hídrica para bilhões de indivíduos em todo o mundo (Abbott et al., 2019).

Apesar de todos os problemas ligados à água e dos 4 bilhões de pessoas expostas as condições de estresse hídrico por pelo menos um mês por ano, a demanda global por água vem aumentando a uma taxa de cerca de 1% ao ano e deverá aumentar em até 30% até 2050, em função do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e da mudança no padrão de consumo, entre outros fatores, e continuará a crescer significativamente nas próximas duas décadas, com a grande maioria do crescimento da demanda relacionada aos países em desenvolvimento ou nas economias emergentes (Organização das Nações Unidas, 2018, World Resources Institute - WRI, 2021).

No Brasil estima-se um aumento de 42% das retiradas de água nos próximos 20 anos (até 2040), passando de 1.947 m³/s para 2.770 m³/s, um incremento de 26 trilhões de litros ao ano extraídos de mananciais (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2022).

Além do aumento da demanda hídrica, a degradação da qualidade ambiental, verificada a partir das péssimas condições sanitárias observadas em muitas das bacias hidrográficas densamente e desordenadamente ocupadas, associadas a pouca eficiência na gestão e governança da água, resultam na degradação generalizada dos elementos naturais e, obviamente, dos recursos hídricos, que inviabilizam o aproveitamento para alguns usos, aguçando as tensões pelos usos da água nas bacias hidrográficas (Libâneo; Chernicharo; Nascimento, 2005; Cirilo, 2015).

Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que abriga o maior rio do estado do Maranhão, que possui grande importância em função dos serviços ecossistêmicos que propicia, sobretudo o fornecimento de água para uma região representativa do estado, da qual se faz variados usos, em especial o abastecimento humano, muitas são as cidades que utilizam a água desse rio para esse fim, dentre elas a cidade de São Luís capital do estado do Maranhão. Apesar de tamanha relevância ambiental, social e econômica, muitos são os problemas ambientais que a assolam, alteração no uso e cobertura da terra, poluição da água, deficiência na implementação dos instrumentos de gestão hídrica e da governança da água são alguns dos mais representativos

(Silva; Conceição, 2011; Soares, 2016).

As alterações no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, são decorrentes da ocupação desordenada do alto ao baixo curso, resultando na fragmentação e destruição de áreas de florestas, aumento de áreas de pastagens, de cultivos agrícolas (principalmente monoculturas) e expansão urbana (Massulo et al., 2019). Degradando a qualidade da água dos corpos hídricos da bacia hidrográfica, especialmente o rio Itapecuru, que apresenta alterações nas concentrações de variáveis como, sólidos totais em suspensão, transparência, turbidez, ferro total, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, indicando a influência de processos erosivos e lançamento de esgoto diretamente no rio (Soares et al., 2022).

De modo que a ineficiência e o limitado alcance da gestão das águas na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, contribui para a degradação ambiental, projetando cenários de conflitos hídricos, que de acordo com Gomes; Salvador; Lorenzo (2021), representam tensões ou atritos geralmente causados pela poluição e degradação da qualidade das águas e deficiência ou escassez da oferta de água para atender aos usuários. Esse quadro de fragilidade na governança e gestão hídrica, pode estar sendo desencadeado pela não implementação dos instrumentos de gestão, enquadramento de corpos hídricos em classe de qualidade, cobrança pelos usos da água e sistema de informações sobre recursos hídricos, definidos no Art. 5º da Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997.

Dessa forma, acredita-se ser de suma importância e grande relevância a realização desse trabalho de pesquisa interdisciplinar com aportes das áreas de ciências naturais e biológicas, sociais, econômicas e jurídicas, que teve como objetivo analisar a qualidade, governança e gestão das águas e suas implicações nos usos e conflitos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Contribuindo assim para o aumento e diversificação dos dados de qualidade da água, acerca da averiguação da condição da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, possibilitando a mensuração da conformidade do enquadramento desses corpos d'água, além da avaliação da eficiência e eficácia da governança da água, da projeção de cenários de conflitos hídricos e ritmo de alteração da cobertura da terra. Municinando os tomadores de decisão e a sociedade com dados e informações que poderão contribuir para gestão integrada da bacia hidrográfica do rio Itapecuru e a consecução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente 06- Água Potável e Saneamento.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade, governança e gestão das águas e suas implicações nos usos e conflitos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Destacar a mudança no padrão de uso e cobertura da terra, relacionando-a com a alteração da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre os anos de 2003 e 2023.
- Mensurar a condição de qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, através da aplicação de índices de qualidade da água - IQA-NSF e IQA-CCME e índices de estado trófico – IET e TRIX.
- Identificar os principais usos da água e cenários de conflitos pelo uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.
- Avaliar a eficiência e eficácia da gestão e governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, a partir dos indicadores de governança da OCDE.

2.3 HIPÓTESES

- A bacia hidrográfica do rio Itapecuru passa por um processo progressivo de alteração no uso e cobertura da terra, com redução das classes que representam a vegetação nativa e aumento das classes que caracterizam usos alternativos do solo.
- A qualidade da água do rio Itapecuru encontra-se degradada, especialmente no médio e baixo curso e imprópria para a realização de alguns usos conforme enquadramento definido pela Resolução Conama nº 357/2005.
- Os cenários de conflito pelo uso da água na bacia do rio Itapecuru são projetados por causa da degradação da qualidade da água, que inviabiliza alguns usos, conforme preconiza a Resolução do Conama nº 357/2005.
- A governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresenta lacunas, muitas das quais estão associadas a falta de implementação da maioria dos instrumentos de gestão definidos no artigo 5º da Lei Federal nº 9433/1997.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1- ÁGUA NO MUNDO

A água é essencial para a maioria dos processos fisiológicos necessários à sobrevivência (Amortegui et al., 2024). Os ecossistemas da Terra são sustentados e interligados pela água, que promove o crescimento da vegetação e oferece um habitat permanente a muitas espécies. Porém se trata de um recurso finito e vulnerável (Selborne, 2001). Sendo essencial para o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental (Organização das Nações Unidas, 2023). No entanto, apesar de sua importância prontamente reconhecida, a forma como a humanidade administrou e continua a administrar seus preciosos recursos hídricos levou a uma série de grandes desafios ambientais globais relacionados à água (Hogeboom, 2020).

Apesar de ser um elemento natural de caráter essencial, a água doce representa uma quantidade muito pequena em meio ao volume de água existente no planeta, além de encontrar-se distribuída entre vários compartimentos ambientais, geleiras, subsolo, lagos, solo, atmosfera, rios e organismos e apresentar estimativas de volume total divergentes. Von sperling (2006) estimou em 40.544.485 km³ o que representa 2,92474% do volume total de água doce. Kundzewicz (2008), estimou em 47.800.000 km³ o que representa 2,5% do total. O United States Geological Survey-USGS (2019), fez uma estimativa de 35.029.110 km³, mas deixou de fora desse cálculo 12.870.000 km³ da água subterrânea e 85.400 km³ dos lagos, por considerá-las salinas.

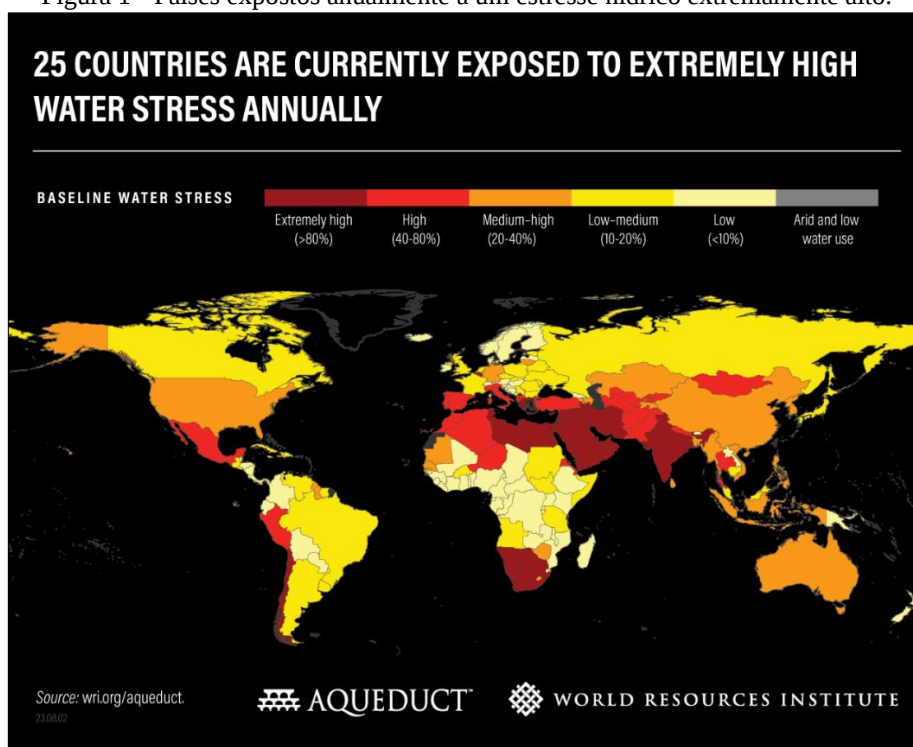
Mesmo representando um porção tão pequena do total da água, ações antropogênicas provocam e intensificam a degradação da água doce que já se apresenta de forma limitada em parte significativa do planeta, essa limitação se deve ao aumento e à frequência de secas, às perdas de zonas úmidas e a poluição hídrica, problemas que são desencadeados pelas mudanças climáticas, antropização de áreas naturais, com destaque a urbanização e volumes crescentes de águas residuais não tratadas provenientes de residências, indústrias e agricultura (World Meteorological Organization-WMO, 2022 ; Van Vliet, 2019).

A escassez de água está se tornando endêmica, como resultado do impacto local do estresse hídrico físico, aguçado pelas mudanças climáticas, que afetou a segurança hídrica devido ao aquecimento e a alteração nos padrões de precipitação, podendo resultar no aumento da escassez sazonal de água em regiões onde atualmente o recurso é abundante como África Central, Ásia Oriental e partes da América do Sul e piorar em regiões onde já há baixa disponibilidade de água, como o Oriente Médio e o Sahel, na África (Organização das Nações Unidas, 2023; Intergovernmental Painel on Climate Change-IPCC, 2023).

E afetará a disponibilidade de água para as necessidades humanas básicas, devido a elevação das temperaturas que impactarão a quantidade por conta do aumento da evaporação e a qualidade da água, que será prejudicada em decorrência da redução do oxigênio dissolvido e, portanto, uma reduzida capacidade de autodepuração dos corpos de água doce (Organização das Nações Unidas, 2020). Colocando a humanidade em alerta acerca do risco de insegurança hídrica global, de modo que, a degradação dos recursos de água doce foi listada pelo Fórum Econômico Mundial entre os dez maiores riscos globais da última década (Du Plessis, 2022).

À medida que a oferta de água em quantidade e qualidade aceitáveis diminui, a demanda mundial por água cresce a cada ano e deve continuar aumentando a um ritmo semelhante até 2050, o que representará um aumento de 20% a 30% em relação ao nível atual de uso (Organização das Nações Unidas, 2019; 2023). Até 2030 cerca de 5 bilhões de pessoas viverão em cidades, que lutarão para atender a esse crescimento na demanda por água, principalmente em regiões menos desenvolvidas como Ásia e África e em áreas já sob estresse hídrico (Kookana, 2019). Atualmente 25 países, que abrigam um quarto da população mundial, enfrentam estresse hídrico extremamente alto todos os anos, e pelo menos 50% da população mundial, cerca de 4 bilhões de pessoas, vivem em condições de alto estresse hídrico por pelo menos um mês do ano (figura 1) (Kuzma; Saccoccia; Chertock, 2023).

Figura 1 - Países expostos anualmente a um estresse hídrico extremamente alto.



Fonte: World Resources Institute - WRI (2023).

Assim como a escassez hídrica, o problema da degradação da qualidade da água está presente em todo o mundo, principalmente nos países subdesenvolvidos e acomete sobretudo

os mais pobres (Tundisi, 2008; Augusto et al., 2012). Globalmente, o desafio de qualidade da água mais prevalente é o carregamento de nutrientes, que, dependendo da região, muitas vezes é associada ao carregamento de patógenos e produtos químicos (Du Plessis, 2022). Com o aumento da exposição a esses poluentes ocorrendo de forma mais acelerada em países de renda baixa e média-baixa, principalmente por causa de maior crescimento populacional, econômico e falta de sistemas de gestão de águas residuais (Organização das Nações Unidas, 2018).

Estima-se que até 2050 as aglomerações urbanas terão um contingente adicional de mais de 2 bilhões de pessoas, e as cidades terão dificuldade para atender a esse crescimento na demanda por água limpa (McDonald, 2019). Especialmente nos países subdesenvolvidos, nos quais o processo de urbanização em geral está associado a falta de saneamento básico, o que culmina no comprometimento da qualidade da água, principalmente próximo às áreas urbanas, podendo inviabilizar o atendimento de usos a jusante, sobretudo o abastecimento humano e até impactar na saúde da população, gerando conflitos (ANA, 2017).

O comprometimento da quantidade e da qualidade da água disponíveis para a efetivação dos usos múltiplos, aguça as tensões e conflitos hídricos em todo mundo, essas tensões são mais graves nos países em desenvolvimento, onde os recursos hídricos disponíveis são mais poluídos e desperdiçados, o que faz com que a quantidade de relatos de conflitos seja cada vez maior (Cirilo, 2015). De acordo com Gleick; Shimabuku (2023), a cronologia dos conflitos hídricos já registrou 1.298 entradas ao redor do mundo, desde os primeiros eventos por volta de 2.400 a.C. até o ano de 2022.

A minimização dos impactos dos principais problemas ambientais sobre os recursos hídricos perpassa pela boa governança da água. No entanto, o desenvolvimento mais acelerado que provavelmente serão testemunhados durante as próximas duas décadas, evidenciam a necessidade urgente de se rever os atuais processos e práticas de governança da água, que se mostram cada vez mais inadequados e ineficazes com o tempo (Biswas; Tortajada, 2010). De forma que a governança seja fundamentada em processos interativos com metas abertas, melhores práticas, relatórios e revisões periódicas, que permitam que a tomada de decisões seja baseada em informações de conhecimento robustos (Armeni, 2015).

Nos últimos anos, a governança da água como temática vem ganhando destaque no trabalho das agências e organizações internacionais, como forma de planejar e normatizar as ações de governança da água a nível global, e assim enfrentar de maneira coordenada a crise hídrica global com todas as suas camadas, que envolvem as principais causas (mudança da cobertura da terra, poluição hídrica e mudanças climáticas) e consequências (estresse e escassez hídrica, degradação da qualidade e conflitos pela água) (Ribeiro; Jhonsson, 2018). Dessa forma,

a OCDE vem desde 2015 através da iniciativa de governança da água-Water Governance Initiative (WGI), por meio das publicações dos princípios e indicadores de governança da água, protagonizando discussões, apoiando governos e partes interessadas sobre como alcançar a boa governança da água (OCDE, 2022).

Diante de tantos desafios e dos esforços para assegurar a disponibilidade, gestão sustentável da água e saneamento para todos preconizado pelo ODS 6, os cenários não são animadores, na metade do cronograma da Agenda 2030, só se observou um progresso significativo em direção às metas desse objetivo de desenvolvimento sustentável, na velocidade atual, o progresso relativo a todas as metas do ODS 6 está fora do rumo e, em algumas áreas, a taxa de implementação precisa quadruplicar ou ainda mais, situação que coloca o planeta em sinal de alerta para disponibilidade da água, para que se possa garantir a perenidade dos seus múltiplos usos com quantidade suficiente e qualidade adequada (Organização das Nações Unidas, 2023).

Pesquisas do World Resources Institute-WRI mostram que resolver os desafios globais da água é mais barato do que se imagina, custando ao mundo cerca de 1% do PIB, ou 29 centavos por pessoa, por dia, de 2015 a 2030. O que falta é vontade política e apoio financeiro para tornar essas soluções economicamente viáveis uma realidade (Kuzma; Saccoccia; Chertock, 2023). Cada dólar investido em acesso à água e saneamento rende, em média, US\$ 6,80 em retorno. O Banco Mundial constatou que a não implementação de melhores políticas de gestão da água pode resultar em perdas regionais de 2% a 10% no PIB até 2050 (Strong; Kuzma, 2020).

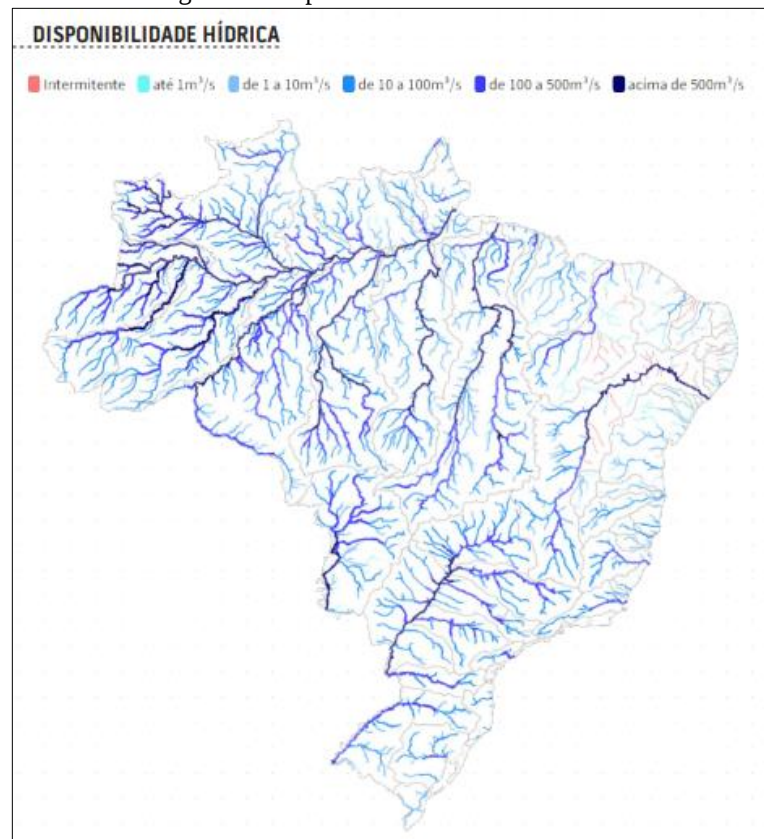
3.2 ÁGUA NO BRASIL

O Brasil ocupa lugar de destaque no mundo em reservas de água doce, situação que lhe coloca em posição estratégica por se tratar de um dos principais ativos ambientais. O país possui reserva absoluta de água doce de aproximadamente 7,1 trilhões de m³ escoando pelos rios, 630,2 bilhões de m³ em reservatórios e 416,7 bilhões de m³ em reservas subterrâneas, perfazendo um total aproximado de 8.147 km³ de água doce, colocando-o na condição de país de maior reserva de água doce do mundo (Organização das Nações Unidas, 2009; ANA, 2022; 2023).

O Brasil é um país privilegiado em reservas de recursos hídricos, o que lhe proporciona uma disponibilidade hídrica muito confortável (ANA, 2020). Mas a ocorrência da água é desigual no seu território e ao longo dos meses do ano. No país mais rico em água doce do planeta, as cidades enfrentam crises de abastecimento, das quais não escapam nem mesmo as localizadas na Região Norte, onde estão perto de 80% das descargas de água dos rios do Brasil (Rebouças, 2003).

O Brasil apresenta problemas relacionados à má distribuição de seus recursos hídricos em escala intra e inter-regional, sendo afetado tanto pela escassez ou déficit hídrico em quase todas as regiões, quanto pela abundância que predomina na região Norte (figura 2), assim como pela degradação causada em decorrência da poluição de origem doméstica, industrial e agrícola (Galli ; Abe, 2010; Cirilo, 2015).

Figura 2 - Disponibilidade hídrica do Brasil.



Fonte: ANA (2022).

Além da má distribuição da água pelo território do país, o aumento expressivo do consumo coloca pressão adicional sobre a gestão hídrica. Tendo em vista que a demanda por uso de água no Brasil vem crescendo continuamente ao longo dos anos, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2040, a retirada aumente 42%, com destaque para o abastecimento das cidades, a indústria e a agricultura irrigada, com esse último apresentando um aumento de 640 m³/s para 965 m³/s (ANA, 2019a ; 2022).

O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país, essas atividades da forma que são desenvolvidas no Brasil, geram pressão sobre a disponibilidade hídrica e acabam por produzirem externalidades ambientais, com destaque a degradação da qualidade da água (ANA, 2018). Com a intensificação da urbanização ocorre um aumento no consumo de água, pois há

a necessidade de expansão do sistema de abastecimento e na degradação dos recursos hídricos (Carmo; Dagnino; Johansen, 2014).

A urbanização sempre esteve associada a geração de impactos ambientais, sobretudo quando ocorre sem o devido planejamento que leve em consideração as variáveis ambientais, dessa forma a degradação da água dos corpos hídricos que passam por áreas urbanas, em geral é desencadeada pela falta de saneamento básico, principalmente no tocante a coleta e tratamento de esgoto, haja vista, que apenas 62,5% da população brasileira é atendida com rede coletora de esgoto, 13,2% por fossa séptica ou filtro não ligada a rede coletora e 24,3% não possui atendimento adequado desse serviço (Tucci, 2008; IBGE, 2022).

A não universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil, impacta de forma direta e negativa a qualidade da água dos rios do país, sobretudo dos cursos d' água que cortam zonas urbanas. Nesse sentido Bankole et al. (2023), salientam que nos países em desenvolvimento a densidade e a concentração populacional tem relação direta com o atendimento ao saneamento básico; na mesma linha de pensamento, Pereira et al. (2021a), corroboram ao afirmarem que o crescimento populacional e a falta de sistema público de saneamento, contribuem para a crescente contaminação das águas dos cursos de água principalmente nos setores mais urbanizados.

As áreas urbanas concentram 85% da população do país, apresentam expansão desordenada, demandam grande quantidade de água, a maioria dos rios se encontram degradados e 68% da população vive com segurança hídrica baixa ou média. Essa realidade se deve a falta de uma gestão integrada dos recursos hídricos, que compatibilize o atendimento do saneamento básico com o planejamento ambiental e urbano (Victorino, 2007; Tucci, 2010; Souza et al., 2014; ANA, 2022).

Nas áreas rurais o fator que tem grande contribuição para a degradação da qualidade da água é a poluição difusa, causada em consequência da agricultura, na qual elevada carga de poluentes químicos, nutrientes e de agrotóxicos são carregados até os cursos de água, (Novotny, 1999).

Esses poluentes pouco monitorados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico-ANA e pelas redes estaduais de monitoramento da qualidade da água da grande maioria dos estados, vem ao encontro do que assevera Carré et al. (2018), os padrões de qualidade da água e o monitoramento dos rios são amplamente aceitos como estratégias de gestão preventiva para a preservação dos cursos d' água. Demonstrando de forma incontestável a importância do monitoramento dos padrões de qualidade da água e da disponibilidade hídrica, como mecanismos fomentadores e norteadores da gestão e governança da água, de ações que

garantam a perenidade dos múltiplos usos da água e da vida aquática que depende desse compartimento ambiental para sobreviver. Tornando-se mais urgentes frente ao desafio de alcançar o ODS 6 e da ameaça a segurança hídrica imposta pelas mudanças climáticas.

3.3 ALTERAÇÃO NO USO E COBERTURA DA TERRA E OS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS

O levantamento sobre a cobertura e o uso da terra comporta análises e mapeamentos, sendo de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão, pois ao retratar as formas, a dinâmica de ocupação da terra, estes estudos representam instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais (IBGE, 2013). De modo que quantificar o uso e a mudança na cobertura da terra se torna essencial para abordar os desafios sociais e conservar ecossistemas (Agbenorhevi et al., 2024).

Nesse sentido mapear o uso e a cobertura da terra é um processo importante, necessário e contínuo, pois as superfícies terrestres são constantemente modificadas, pelas forças do capital hegemônico, forças locais e, em menor escala, pelas comunidades tradicionais (Santos; Nunes, 2021). Essas alterações que ocorrem estão intrinsecamente relacionadas às atividades humanas, que se apropriam de seus recursos transformando-os para seu benefício; este processo, na maioria das vezes, gera algum tipo de impacto sobre esses recursos, que podem influenciar de forma decisiva sobre o ambiente natural (IBGE, 2015).

A abordagem histórica da dinâmica das mudanças, verificadas através da análise das conversões de uso e cobertura da terra, pode contribuir para o melhor entendimento dos diferentes processos de ocupação e conseqüentemente para a elaboração de políticas públicas voltadas para as peculiaridades locais (Xaud; Epiphany, 2014). A modelagem dos efeitos da composição do uso da terra, passado e atual, nos padrões climáticos e na qualidade da água da superfície, fornece informações valiosas para o planejamento ambiental, possibilitando o uso mais sustentável dos recursos naturais (Wilson; Weng, 2011).

As mudanças no uso e cobertura do solo surgem, de modo geral, de acordo com as necessidades e padrões impostos pela economia global que têm diferentes efeitos nos ecossistemas e na sociedade (Galharte; Villela; Crestana, 2014).

Corroborando com esse entendimento Luo et al. (2024), relatam que os ecossistemas globais enfrentam ameaças antropogênicas que afetam as suas funções ecológicas e a biodiversidade. Entendimento compartilhado por Zhang; Qin; He (2024), ao destacarem que essas ameaças estão associadas a destruição de habitats, que é agravada pela alteração da

cobertura da terra, intensificação das mudanças climáticas e o desenvolvimento sócio-econômico, que estão a ameaçar a vida das espécies.

Nesse contexto, verifica-se que a demanda pela produção de alimentos a partir de atividades agropecuárias está entre as principais causas da alteração da cobertura da terra, pois nas últimas duas décadas, 57% do desmatamento global esteve associado à produção de commodities agrícolas, em 2023 6,7 milhões de hectares de floresta foram permanentemente perdidos ao redor do mundo, culminando com a perda de biodiversidade, de serviços ecossistêmicos, aumento nas emissões de gases de efeito estufa e degradação dos recursos hídricos (Forest Declaration Assessment Partner, 2024).

Mediante essa realidade ações urgentes como a aplicação de melhores práticas na agricultura e no manejo florestal são necessárias, pois se a contínua diminuição da diversidade biológica e dos serviços ecossistêmicos por ela ofertados permanecer na trajetória atual, a estabilidade climática e o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estarão comprometidos (Secretariado de Diversidade Biológica, 2010; 2020).

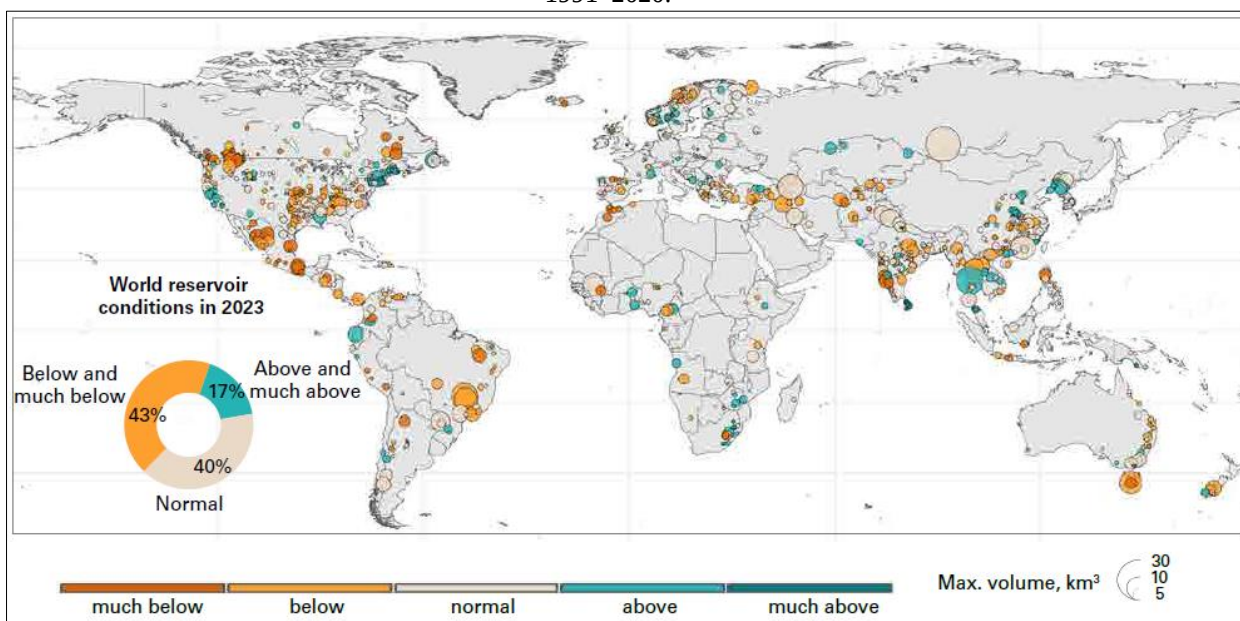
A perda da biodiversidade, especialmente da vegetação nativa por causa das atividades agrícolas, está diretamente relacionada às alterações climáticas e a degradação dos recursos hídricos; impactando fortemente na não consecução dos ODS 2 - Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável, ODS 6 - Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos, ODS 13 - Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos e ODS 15 - Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade (Organização das Nações Unidas, 2015).

As atividades humanas, principalmente através das emissões de gases de efeito estufa, inequivocamente causaram o aquecimento global, com a temperatura da superfície global atingindo um valor 1,1°C mais alto entre 2011-2020 do que no período de 1850-1900. As emissões globais de gases de efeito estufa continuaram a aumentar, com contribuições históricas e contínuas desiguais decorrentes do uso insustentável de energia, do uso do solo e da mudança da cobertura da terra (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC, 2023).

As mudanças climáticas e a alteração no uso e cobertura da terra estão entre os principais fatores responsáveis pela redução da disponibilidade hídrica a nível global. No ano de 2023 reservatórios de água doce estavam com concentrações abaixo do normal em diversas regiões

do planeta, com destaque para os reservatórios, na costa leste da Índia e na Ilha Sul da Nova Zelândia que registraram influxos abaixo e muito abaixo do normal; na Austrália, o rio Murray-Darling também registou caudais abaixo do normal; na América do Norte e do Sul, a redução da disponibilidade de água foi evidente com níveis inferiores ao habitual, particularmente no rio Mackenzie na América do Norte, em todo o território do México e no rio Paraná, no sul do Brasil e na Argentina (figura 3) (World Meteorological Organization-WMO, 2024).

Figura 3 - Fluxo médio anual em reservatórios selecionados em 2023 em comparação com o período histórico 1991–2020.



Fonte: World Meteorological Organization – WMO (2024).

3.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM APLICAÇÃO DE ÍNDICES (IQA-NSF, IQA-CCME, IET e TRIX)

3.4.1 Índice de Qualidade da Água – IQA-NSF

O conhecimento sobre a qualidade da água é primordial para que seja feita sua correta gestão e para assegurar o uso múltiplo. Dessa forma, quantificar a concentração de parâmetros de qualidade da água é uma forma importante para o futuro monitoramento da qualidade da água dos rios e investigação da fonte de poluição (ANA, 2012; Chen, 2023).

Alguns usos têm requisitos específicos para a qualidade da água, que deve ser monitorada antes da sua utilização a fim de garantir o atendimento dos critérios de qualidade estabelecidos, que geralmente são definidos por regulamentos e normas. Sendo necessário o monitoramento e avaliação contínuos para que se entenda as mudanças sutis nos processos hidrológicos, evitando que a população faça uso da água com padrão de qualidade em desconformidade com o que estabelece a legislação (Chapman; Sullivan, 2022; Dube et al., 2023).

Com um sistema de monitoramento bem desenvolvido, problemas de qualidade da água podem ser identificados em um estágio inicial, permitindo medidas de mitigação a serem introduzidas antes que a deterioração severa ocorra. A remediação precoce da poluição da água exigirá monitoramento ativo, que é extremamente carente nos países mais pobres, para pelo menos 3 bilhões de pessoas, a qualidade da água de que dependem é desconhecida devido à falta de monitoramento (Organização das Nações Unidas, 2022).

Monitoramento da água representa a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo hídrico, com a determinação dos valores ou concentrações dos parâmetros que podem ser usados individualmente ou agrupados em forma de índices, para definição do padrão de qualidade do corpo d'água monitorado (Brasil, 2005)

Os índices são utilizados para otimizar o monitoramento, fornecendo uma visão geral da qualidade da água, pois integram os resultados de diversas variáveis através de um único indicador. Transmitem uma informação passível de compreensão pelo público em geral (Marques et al., 2007). Surgindo como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais em função do desenvolvimento econômico, processo que requer um número cada vez maior de informações com distintos graus de complexidade (Cetesb, 2014).

Um dos índices mais utilizado no mundo para monitorar a qualidade das águas superficiais é o Índice de Qualidade da Água - IQA, desenvolvido em 1970, pela National Sanitation Foundation (NSF) nos Estados Unidos, a partir de uma consulta realizada entre especialistas sobre quais seriam os parâmetros mais importantes para a avaliação da qualidade de água, é composto por nove parâmetros físico-químicos e biológicos (OD, DBO, temperatura, pH, coliformes termotolerantes, nitrogênio, fósforo, sólidos e turbidez), aos quais são atribuídos diferentes pesos (ANA, 2022).

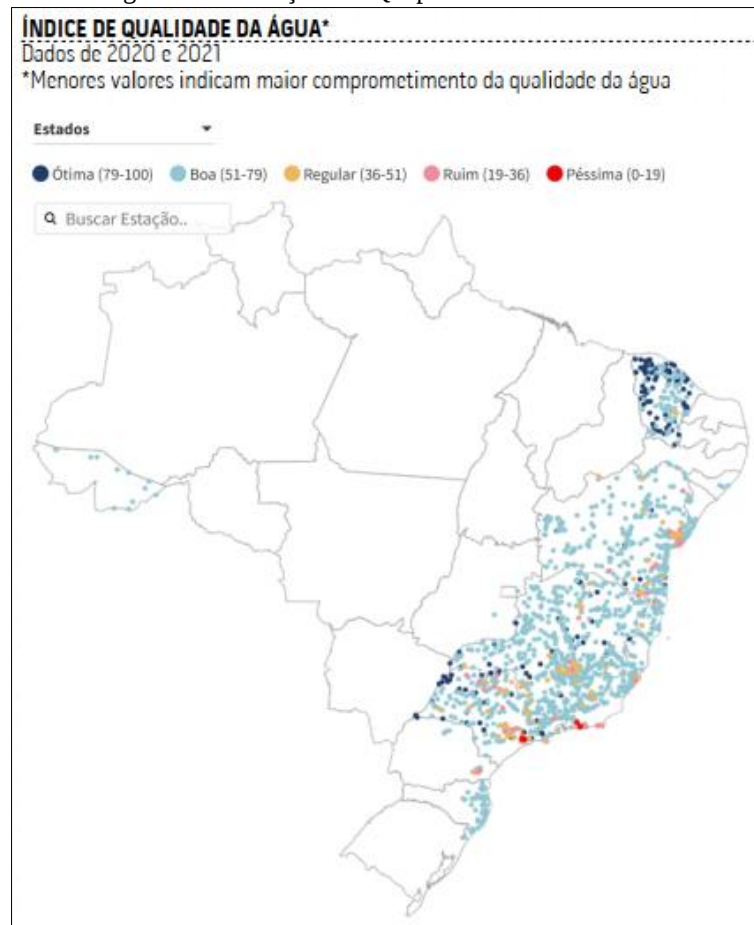
No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), utiliza desde 1975 uma versão do IQA adaptada da versão original do National Sanitation Foundation. Nessa adequação feita pela Cetesb, o parâmetro nitrato foi substituído por nitrogênio total, e o parâmetro fosfato total foi substituído por fósforo total, mantendo-se os mesmos pesos (ANA, 2012).

Após 53 anos do seu desenvolvimento e de intensa utilização no monitoramento de corpos hídricos continentais, o IQA encontra-se amplamente difundido na literatura, com ampla utilização em todo o mundo, sendo aplicado para avaliar a qualidade da água bruta, visando seu uso para o abastecimento público após tratamento. Tendo os parâmetros utilizados no seu

cálculo, em sua maioria, como indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (Almeida; Schwarzbold, 2003; ANA, 2018).

Atualmente, o IQA é o índice de qualidade da água mais utilizado pelas Unidades Federativas do Brasil, apesar de muitos estados ainda não utilizarem esse índice nos monitoramentos da qualidade da água, dentre os quais o estado Maranhão (figura 4) (ANA, 2023).

Figura 4 - Utilização do IQA por Unidade Federativa.



Fonte: ANA (2023).

3.4.2 Índice de Qualidade da Água - IQA-CCME

Uma outra forma de monitorar a qualidade da água de um corpo hídrico e verificar se o mesmo está condizente com a classe de qualidade da água a qual foi enquadrado, é por meio do IQA-CCME, desenvolvido em 1997 no Canadá pelos especialistas em recursos hídricos da Subcomissão Técnica de Qualidade da Água do Canadá, a Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Esse índice foi adaptado pela ANA (2012) para verificação da conformidade do enquadramento de corpos hídricos.

No Brasil o IQA-CCME é utilizado para indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação, tendo como

referência a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, que determina os usos da água que podem ser desenvolvidos nos corpos hídricos (Silva, 2017).

O enquadramento dos corpos d'água consiste no estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo. O enquadramento busca assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e a diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes (Brasil, 1997).

O conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME) desenvolveu o Índice de Qualidade da Água (IQA) para simplificar o relato de dados complexos sobre a qualidade da água. Esta ferramenta de comunicação com base científica testa dados de água multivariáveis em relação a diretrizes e/ou objetivos numéricos de qualidade da água para produzir um único número sem unidade que representa a qualidade geral da água. O IQA-CCME tem sido utilizado para avaliar a qualidade geral da água em comparações espaciais e temporais, dos mais variados corpos d'água (Rosemond; Duro; Dubé, 2009).

Desde o seu desenvolvimento em 2001, o Índice de Qualidade da Água (IQA-CCME) se estabeleceu como uma ferramenta valiosa para comunicar dados sobre o grau de qualidade da água ambiente afetada pela atividade humana e para classificar a adequação da água para uso por seres humanos, vida aquática e vida selvagem (Khan et al., 2005; CCME, 2017). Para Boyacioglu (2010), esse índice ajuda os gestores de recursos hídricos a integrar e interpretar o quadro geral da água. Além de representar uma ferramenta usada na classificação das águas superficiais de acordo com a qualidade definida pela legislação.

A utilização desse índice como um conjunto de dados de qualidade de água selecionados, desenvolveu uma ampla abordagem para a sua implementação como um meio prático de apresentar informações físicas, químicas, orgânicas e microbiológicas às comunidades, tornando-os mais conscientes das condições das águas superficiais ao seu redor. Pois expressa o status geral da qualidade da água em um único termo simplificando a comunicação dos resultados, mantendo a integridade dos dados e seguindo os valores determinados pela legislação pertinente aos recursos hídricos (Khan.A; Paterson; Khan.H, 2004; Marselina; Wibowo; Mushfiroh, 2022).

O IQA-CCME permite avaliar a qualidade da água em corpos hídricos com diferentes características (rios, lagos ou fluxos) e fins (água bruta e tratada), uma vez que este é fundamentado na flexibilidade em incluir ou excluir variáveis de qualidade de água, sendo recomendado o mínimo de quatro parâmetros e quanto ao período de aplicação, com pelo menos

quatro campanhas de amostragem, possibilitando a sua adaptação aos objetivos existentes para cada classe de uso do corpo hídrico (CCME, 2001; Silva et al., 2017).

Proporcionando um monitoramento mais amplo, ao possibilitar a mensuração de parâmetros como, metais pesados, pesticidas, variáveis que caracterizem a presença de compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, potencial de formação de trihalometanos, presença de parasitas patogênicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, óleos, graxas e surfactantes (Marques et al., 2007; Finazzi, 2012).

3.4.3 Índices de Estado Trófico-IET's

De acordo com Esteves (2011), a eutrofização é caracterizada pelo aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades. Lamparelli (2004), a define como o processo de enriquecimento por nutrientes de um corpo d'água, seja por processo natural ou induzido pelo homem.

Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além de ser apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas. Nesses ambientes enriquecidos especialmente por fósforo e também por nitrogênio, passa-se da condição de oligotrófico e mesotrófico para eutrófico ou mesmo hipereutrófico (Esteves, 2011).

Os níveis de eutrofização podem ser verificados através de índices de estado trófico (IET), que são amplamente utilizados em diversos trabalhos. Esses índices estabelecem níveis de trofia em relação à concentração de fósforo total, de clorofila-*a*, e nível de transparência da água, possibilitando a classificação das águas em níveis tróficos (Barreto et al., 2013).

A classificação dos graus de trofia vem sendo realizada desde o início do século XX, contudo, alguns trabalhos se mostraram mais eficientes e viraram referência, como o desenvolvido por Vollenweider em 1968 no qual se estabeleceu valores limites de fósforo e nitrogênio; o índice de estado trófico simplificado criado por Carlson em 1977; o índice proposto pela OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) em 1982; o trabalho elaborado por Wetzel em 1993 em que além de valores limites para nutrientes considerou concentrações médias de clorofila-*a*; assim como as adaptações do índice de Carlson para regiões tropicais feita por Toledo em 1983 e por Lamparelli em 2004, cuja metodologia de classificação dos graus de trofia é utilizada atualmente pela CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Lamparelli, 2004).

O aumento do estado trófico dos corpos hídricos está relacionado ao enriquecimento de nutrientes dos corpos d'água superficiais, devido aos produtos químicos utilizados como fertilizantes na agricultura, resíduos da atividade pecuária, além da disposição de águas residuárias e efluentes sem tratamento (Bejarano; Gallego; Salgado, 2023). O excesso de fósforo e nitrogênio que causa a eutrofização, leva a florações de algas que contaminam o abastecimento de água potável e criam zonas mortas sem oxigênio, que podem matar peixes e outras espécies aquáticas. A poluição por fósforo é um dos fatores que mais impulsiona a perda de biodiversidade e que contribui para a degradação dos ecossistemas dos quais a humanidade depende (Organização das Nações Unidas, 2024).

Como verificado, o aumento das concentrações de nutrientes nos corpos d'água, está associado à mudança no uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas, quando a floresta é retirada dando lugar a sistemas de produção agrícola, ou pastagens, não apenas a paisagem é alterada, mas a qualidade da água também sofre modificações, deflagradas a partir dessas atividades antrópicas, que liberam nutrientes, aumentam a demanda hídrica e degradam a qualidade da água nas bacias hidrográficas (Andrietti et al., 2016).

Os rios, lagos, represas, açudes e aquíferos podem receber grande quantidade desses nutrientes, principalmente em regiões de solos desprotegidos, juntamente com as partículas carregadas pela água durante o escoamento superficial ou em outros processos erosivos. Onde os nutrientes presentes na superfície do solo, são perdidos das áreas agrícolas e atuarão como contaminantes da água, podendo trazer diversas consequências negativas ao ambiente e a saúde (Resende, 2002).

Outra grande fonte de nutrientes que acaba por degradar a qualidade da água ao desencadear a eutrofização, são as águas residuárias. Estima-se que em 2020, 44% de todas as águas residuais domésticas em todo o mundo não foram tratadas com segurança antes de sua descarga no meio ambiente (Organização das Nações Unidas, 2023).

Mediante o aumento no fluxo de nutrientes nos corpos hídricos, que em geral apresentam fontes difusas e pontuais, o Índice de Estado Trófico-IET, se consolida como mecanismo de monitoramento da qualidade da água, essencial para o conhecimento do grau de trofia, o que é imprescindível para o uso da água com segurança, frente ao desafio global dos nutrientes e a emergência da perda de biodiversidade nos ecossistemas de água doce e marinhos por conta da eutrofização, que tem no fósforo um dos seus principais impulsionadores (Brownlie et al., 2022). Possibilitando a partir da identificação dos níveis tróficos básicos (oligotrófico, mesotrófico e eutrófico), a definição da eutrofização dos corpos hídricos e os

problemas ambientais a ela associada, especialmente a degradação da qualidade da água e a perda de biodiversidade (Cornelli et al., 2015).

Demonstrando que o monitoramento da qualidade da água pelo IET se mostra pertinente e eficaz para identificação dos corpos d'água que se encontram eutrofizados, e que por conta disso podem comprometer a saúde humana e o equilíbrio ecológico; além de contribuir para o alcance do ODS 6 - água potável e saneamento, assegurando a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e do ODS 14 - vida na água, conservando os oceanos, mares e recursos marinhos.

3.5 USOS DA ÁGUA E CONFLITOS HÍDRICOS

A existência de água limpa é requisito essencial para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e para várias atividades humanas, tais como o abastecimento doméstico, a irrigação, o uso industrial, a dessedentação de animais, a aquicultura, a pesca, o lazer, a geração de energia e o turismo (ANA, 2018; 2024).

Cada uso da água possui peculiaridades ligadas à quantidade e à qualidade, que altera e depende das condições das águas superficiais e subterrâneas. Os usos podem ser classificados em consuntivos, que consomem água e não consuntivos, que não consomem diretamente, mas dependem da manutenção de condições naturais ou de operação da infraestrutura hídrica (ANA, 2019; 2022).

Globalmente, o uso da água que apresenta a maior demanda é a agricultura (incluindo irrigação, pecuária e aquicultura) sendo a principal consumidora desse recurso. Correspondendo a 69% da retirada anual de água em todo o mundo. Já a indústria, incluindo a geração de energia, responde por 19%, e as residências particulares por 12% (Organização das Nações Unidas, 2017; 2019).

No Brasil, os usos consuntivos setoriais que mais demandaram água em 2023 foram irrigação 50%, abastecimento humano urbano 23,4%, indústria 9,2%, abastecimento dos rebanhos 7,9%, termelétrica 6,4%, mineração 1,6% e abastecimento rural 1,5%. Totalizando 2.103,6 m³/s (ANA, 2024).

Para muitos desses usos a qualidade da água é aspecto indispensável, especialmente o abastecimento para consumo humano. Mas, com o agravamento de problemas como exacerbação da poluição da água, alteração das fontes de recursos hídricos, ausência e deficiência do saneamento ambiental e ineficiência de governança hídrica, estão ocorrendo limitações em alguns usos da água, sobretudo nos que demandam maior qualidade (Tundisi, 2008; Souza et al., 2014; ANA, 2017).

A degradação da qualidade das águas causam impactos de dimensões ambientais, sociais e econômicas, que se traduzem, entre outros, na restrição e limitação dos usos múltiplos da água, na perda da biodiversidade, no aumento de doenças de veiculação hídrica, na elevação do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico, ao uso industrial, na perda de produtividade da agricultura, da pecuária e da aquicultura, na redução da pesca, na perda de valores turísticos, culturais e paisagísticos (Tundisi, 2006; Tucci; Mendes, 2006; ANA, 2024).

O comprometimento da qualidade da água ocorre principalmente em corpos hídricos localizados em centros urbanos, onde o aporte de poluentes nos rios é frequentemente constituído das cargas pontuais, cuja origem, constituição e quantidade são conhecidas ou podem ser estimadas, estando relacionada à emissão de efluentes, e das chamadas cargas de origem difusa, ou simplesmente poluição difusa, compostas do material lavado pelo escoamento superficial durante as chuvas que chegará aos corpos hídricos, representando umas das maiores ameaças ao ambiente aquático urbano (Pereira et al., 2021b; Yang et al., 2021).

As grandes aglomerações urbanas, a falta de planejamento do uso e ocupação do solo, caracterizada por deficiência na prestação dos serviços de saneamento básico e o aumento progressivo das demandas hídricas para suprimento de diversos usos consuntivos da água, quando associados a períodos de escassez de chuvas, resultam na instalação de crises hídricas. Que somadas a grande contingente de pessoas vivendo com baixa segurança hídrica, devido a fragilidades na produção ou na distribuição de água, pode levar a um quadro de conflitos pelo uso dos recursos hídricos (ANA, 2019b; ANA, 2023).

Conflitos hídricos são definidos como tensões ou atritos que podem envolver a atuação de diversas instituições e atores sociais, tendo geralmente duas causas básicas: degradação da qualidade das águas pela poluição, gerando conflitos entre poluidores e usuários situados a jusante destes que são prejudicados por eles; e deficiência ou escassez da oferta de água para atender aos usuários, principalmente aqueles de jusante, que têm acesso a uma menor quantidade desse recurso (Gomes; Salvador; Lorenzo, 2021).

Os conflitos pela água, além de envolverem os consumidores desse recurso, que o utilizam para a execução de suas atividades naturais e sociais, abarcam também grupos humanos interessados na manutenção da vida dos demais seres vivos (Fracalanza, 2005).

Observa-se fatores comuns na gênese desses conflitos, que se somam às peculiaridades de cada região, podendo ser o arcabouço legal, as características hidrológicas das bacias hidrográficas envolvidas, ou a forma como a sociedade se organiza em torno do tema água. Em bacias com múltiplos usos da água, o risco de ocorrência de conflitos hídricos pode ser maior,

essa probabilidade aumenta em um cenário de escassez hidrológica e de degradação da qualidade da água (Pedrosa, 2020; Michelin, 2021).

Os conflitos hídricos já são uma realidade comum em muitas partes do globo, destaca-se a disputa pela água do rio Colorado, considerado o rio mais litigado do mundo, que envolve sete estados Norte Americanos e o México; na África o conflito entorno da bacia hidrográfica do rio Nilo, com disputas entre Egito e Etiópia; no Oriente Médio os conflitos hídricos gerados pela disputa do rio Jordão entre Israel e Jordânia e dos rios Tigre e Eufrates entre Turquia, Irã, Iraque, Jordânia e Arábia Saudita (Pedrosa, 2020).

Embora existam oportunidades para mudanças fundamentais em políticas e estratégias que podem diminuir as tensões relacionadas à água, a maioria das alterações atuais parece estar piorando essas tensões em vez de reduzi-las (Gelick, Iceland, 2018). Fatores como desigualdade na distribuição geográfica dos recursos hídricos, crescimento populacional atrelado ao processo de urbanização caótico, em que a infraestrutura de saneamento não consegue acompanhar a dinâmica urbana local, além da diversificação das atividades agrícolas e industriais que demandam cada vez mais água, são alguns dos fatores que levam a sua ocorrência e intensificação mundo a fora (Magalhães; Lopes, 2017).

No Brasil há muitos conflitos pela apropriação das águas para atender setores e usuários em detrimento de outros, a exemplo do que ocorre no estado de São Paulo, na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, envolvendo a Sabesp e municípios inseridos na bacia hidrográfica; no Triângulo Mineiro envolvendo os rios Uberabazinho e Claro; no oeste da Bahia com o caso do rio Salitre, e o caso de conflito pela água mais emblemático, que ocorre na bacia hidrográfica do rio São Francisco, aguçado pela intensificação do uso de sua água para a irrigação, aumento da poluição e transposição do seu curso (Di Mauro, 2014; Pedrosa, 2016; 2017; Rossi; Santos, 2018).

Os conflitos pelo uso dos recursos hídricos no país têm como principais causas, desigualdade na distribuição geográfica dos recursos hídricos, aumento acelerado da poluição, taxas elevadas de crescimento populacional e escassez de água. Com a solução dos mesmos atrelados à gestão e governança da água, por meio do cumprimento da legislação pertinente, especialmente a Lei nº 9433/1997, implementação e pleno funcionamento dos comitês e agências de bacias (Prestes et al., 2018; Gomes; Salvador; Lorenzo, 2021).

3.6 GESTÃO E GOVERNANÇA DA ÁGUA

O aumento do consumo global de água multiplicou-se por seis desde o início do século XX. A demanda por água vai continuar a aumentar em função das mudanças climáticas, da poluição, do aumento da população mundial e das atividades econômicas que necessitam de

mais recursos. Com reflexos diretos e intensos na disponibilidade hídrica a nível global, visto que atualmente cerca de 70% da população mundial não tem água suficiente por pelo menos um mês (Organização das Nações Unidas, 2020; Maliva; Manahana; Missimer, 2021; Rio; Infante; Alana, 2022; Yang, 2022).

À medida que esses fatores se tornam mais presentes e se intensificam, maior é a necessidade de uma gestão eficiente, participativa e adaptativa, que possa gerenciar a escassez ou o estresse hídrico, regular a demanda, equacionar os usos múltiplos e evitar conflitos (Ferreira; Lima; Correa, 2020; Organização das Nações Unidas, 2020).

Compreender as transformações na demanda por água doce, as mudanças em sua distribuição espacial e temporal, na quantidade, na qualidade, em resposta à variabilidade e mudança do clima, é essencial para o planejamento, adaptação às condições climáticas futuras e para a implementação das estratégias mais eficazes de mitigação do clima (World Meteorological Organization-WMO, 2022).

Torna-se urgente que o mundo modifique a maneira como gerencia seus recursos hídricos e fornece serviços de água e saneamento para bilhões de pessoas. Sendo necessária uma ação rápida para superar essa crise global, uma vez que afeta todos os países do mundo, seja com reverberações no aspecto social, econômico ou ambiental (Organização das Nações Unidas, 2015).

Nesse contexto, a minimização da crise global que envolve a quantidade e qualidade dos recursos hídricos perpassa pela boa gestão e governança hídrica, haja vista que a água está ligada de maneira transversal a múltiplos setores, lugares e pessoas, também, a escalas geográficas e temporais distintas, tornando-se uma preocupação tanto global como local, que envolve uma multiplicidade de entidades públicas, privadas e da sociedade civil sem fins comerciais (Tundisi, 2013; OCDE, 2015a).

Essa crise da água, que é em grande medida desencadeada pela falta de governança, que cada vez mais se torna um componente estratégico de grande relevância na mediação da crise hídrica global, é aguçada com a intensificação dos usos múltiplos e competitivos, que colocam pressão adicional sobre a quantidade e qualidade da água (Gittins, Hemingway, Dajka, 2021). Demonstrando a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos para evitar que a escassez hídrica se torne generalizada e para isso a implementação de regulamentações sobre o uso da água se mostra essencial para fortalecer a governança (Tundisi, 2013).

A governança da água pode ser entendida como o conjunto de regras, práticas, processos políticos, institucionais, administrativos e a interligação entre os sistemas sociais, políticos e econômicos, para que todos os sujeitos envolvidos façam parte do gerenciamento da mesma,

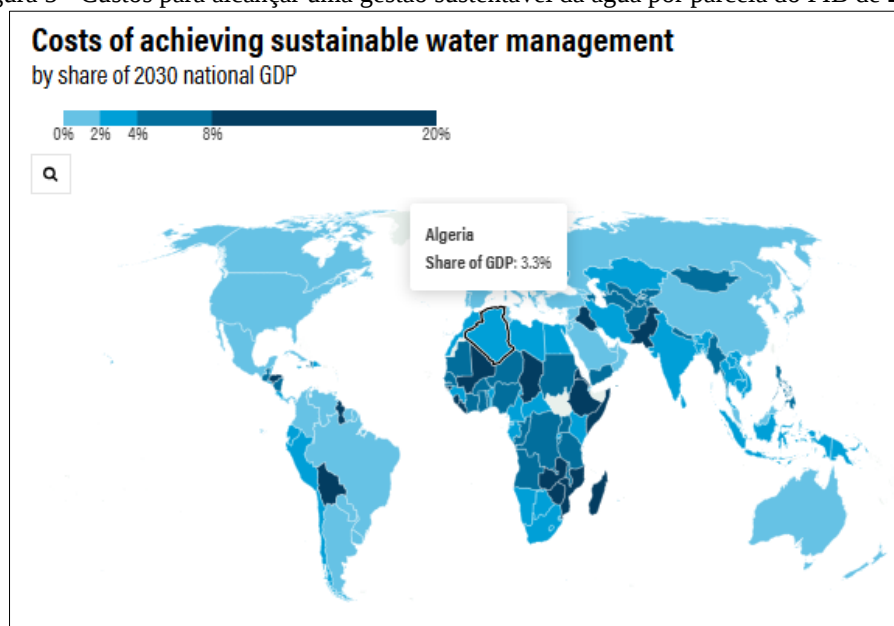
de modo que as decisões sejam tomadas e implementadas e as partes interessadas expressem os seus interesses e tenham suas preocupações levadas em consideração (OCDE, 2015a; Silva; Ribeiro, 2023).

Conflitos de interesse devido a questões econômicas, políticas, sociais e culturais ameaçam a governança corporativa eficaz e eficiente da água, como forma de balizar a gestão dos recursos hídricos a OCDE inspirada na governança da água proposta para a União Europeia, implementada através da Diretiva Quadro da Água – DQA, considerada a referência para a inovação da governança na gestão da hídrica, elaborou os princípios e indicadores da governança multinível da água. Esses instrumentos permitem identificar falhas e apontar meios de superá-las, contribuindo para a criação de políticas públicas tangíveis orientadas para a eficácia, eficiência, confiabilidade e participação, sendo uma ferramenta diagnóstica para identificar as lacunas de governança adaptativa mais significativas a nível de país, região e bacias hidrográficas (VanNijnatten, 2020; Rowbotton et al., 2022; Ukpai, 2022 ; Valesco et al., 2023).

Na perspectiva de superar os inúmeros desafios para garantir boa disponibilidade hídrica, equidade de acesso à água com qualidade, rompendo com o aumento progressivo da desigualdade e insegurança hídrica no mundo e buscando o alcance pleno do ODS 6; a governança multinível da água, ao traçar os princípios fundamentais que norteiam o uso sustentável dos recursos hídricos, por meio da verificação de políticas e tomada de decisões, representa um dos mecanismos mais importantes para mudar as práticas insustentáveis de uso da água que levam à poluição, escassez e conflitos hídricos, requerendo ao menos um mínimo de planejamento e investimento financeiro (Ribeiro; Johnsson, 2018; Babuna, 2023).

O investimento em governança da água se mostra essencial para se contornar a crise hídrica mundial, as soluções para esse problema, no entanto, custam muito menos do que se imagina. Pesquisas do WRI demonstraram que garantir água para as sociedades até 2030 pode custar pouco mais de 1% do PIB global, cerca de 29 centavos por pessoa, por dia, entre 2015 e 2030. Constataram que 75 países podem atingir a gestão sustentável da água com 2% ou menos do seu PIB anual; 70 países podem chegar lá com 2-8% do PIB; e 17 países precisarão de mais de 8% do seu PIB para resolver seus problemas de água (figura 05) (Strong; Kuzma, 2020).

Figura 5 - Custos para alcançar uma gestão sustentável da água por parcela do PIB de 2030.



Fonte: World Resources Institute- WRI (2019).

No Brasil, a governança da água também padece com a falta de investimento financeiro e eficácia, por aqui a governança hídrica começa como construção conceitual, teórica e operacional, a partir da Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH e com a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico-ANA, através da Lei Federal nº 9984 de 17 de julho de 2000, definindo-a como entidade responsável pela implementação da PNRH e agência reguladora da água (Wolkmer; Pimmel, 2013).

A descentralização da governança da água para os estados e comitês de bacias hidrográficas, prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos, estabeleceu uma abordagem multinível, por áreas críticas, muito alinhada com o desejo da sociedade de aumentar a tomada de decisão baseada na instância local, de “baixo para cima” na sequência da transição democrática (OCDE, 2015b).

Apesar do avanço na governança da água no Brasil a partir da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, ainda são numerosos e complexos os entraves que carecem de ser contornados, é como menciona Pagnoccheschi (2016), há enormes desafios a serem vencidos no que se refere ao objetivo de uma gestão integrada. Estes desafios dizem respeito à integração da gestão de águas com a gestão ambiental; integração dos aspectos de quantidade e qualidade; integração da gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; e, principalmente, à integração da política de recursos hídricos com as políticas setoriais.

Nessa perspectiva a OCDE (2015b), identificou uma série de lacunas na governança da água no Brasil e aponta alguns dos problemas mais urgentes; alta fragmentação na formulação

e na implementação da política de recursos hídricos no Brasil, devido às lacunas de governança e aos desafios de coordenação relacionados; existência de muitos planos de recursos hídricos elaborados, que em geral são mal coordenados e de fraca efetividade na prática, devido à falta de capacidade tanto de implementação quanto de financiamento; descompasso entre os limites administrativos (municipal, estadual e federal) e os limites hidrológicos (comitês de bacias hidrográficas) levando a uma “matriz dupla”, que precisa ser conciliada, e que é agravada pelo duplo domínio e pela jurisdição compartilhada sobre os rios estaduais/federais.

A partir da dominialidade das águas dividida entre a União, os estados e o Distrito Federal, com a consequente gestão dos recursos hídricos atrelada ao domínio desses entes federativos, no desenho do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a governança da água envolve a articulação de vários níveis de poder e atores, é composto por organismos que formulam e implementam a política de recursos hídricos, com atuação em três níveis: nacional, estadual e de bacia hidrográfica. (Thomé; Totti, 2021).

Assim, as lacunas de governança da água materializadas em diferentes graus de ineficácia e ineficiência da gestão da água verificadas no Brasil, estão presentes em todas as unidades federativas, especialmente em muitos estados das regiões Norte e Nordeste, o que compromete a gestão integrada dos recursos hídricos e a consecução de muitos ODS, especialmente o ODS 6 – água potável e saneamento.

3.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Bacia hidrográfica é toda área terrestre definida e fechada topograficamente em função das vertentes, tendo como referência um curso d'água principal, de forma que toda a vazão afluente, formada por uma sequência de ribeiros e rios, possa ser medida ou descarregada através desse curso d'água central e venha a desembocar numa única foz, estuário ou delta (Garcez; Alvarez, 1988; Tucci, 1997; Yoshida, 2007). Definindo os limites de um sistema de pessoas, lugares e coisas hidrologicamente conectados (Meierdiercks; Finewood; Bennett, 2024).

O estado do Maranhão é detentor de um grande potencial hídrico no país e, sobretudo, na região Nordeste. Sua rede hidrográfica é composta por dez bacias e dois sistemas hidrográficos (tabela 1). As bacias hidrográficas maranhenses drenam em torno de 202.203,50 km² (60,90%) da área do estado, por meio dos rios Mearim, Itapecuru, Munim, Turiaçu, Maracaçumé, Preguiças e Peria, cujas denominações foram estendidas às bacias hidrográficas (figura 6), sendo esses rios, os principais cursos d'água das suas respectivas redes de drenagem (NUGEO, 2016).

Tabela 1- Regiões Hidrográficas do Estado do Maranhão.

Regiões Hidrográficas (PNRH, MMA- ANA, 2006)	Regiões Hidrográficas do Maranhão	Área (km ²)	% sobre o Estado
Domínio Estadual			
	Subtotal-1	216.034, 34	65,07
	Sistema hidrográfico do Litoral Occidental	10.226,22	3,08
	Sistema hidrográfico das Ilhas Maranhenses	3.604,62	1,09
	Bacia hidrográfica do Rio Mearim	99.058,68	29,84
	Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru	53.216,84	16,03
Região hidrográfica do Atlântico Nordeste Occidental	Bacia hidrográfica do Rio Munim	15.918, 04	4,79
	Bacia hidrográfica do Rio Turiaçu	14.149,87	4,26
	Bacia hidrográfica do Rio Maracaçumé	7.756,79	2,34
	Bacia hidrográfica Rio Preguiças	6.707,91	2,02
	Bacia hidrográfica do Rio Peria	5.395,37	1,62
Domínio Federal			
	Subtotal-2	113.068,15	34,06
Região hidrográfica do Parnaíba	Bacia hidrográfica do Rio Parnaíba	66.449,09	20,02
Região hidrográfica do Araguaia-Tocantins	Bacia hidrográfica do Rio Tocantins	30.665,15	9,24
Região hidrográfica do Atlântico Nordeste Occidental	Bacia hidrográfica do Rio Gurupi	15.953,91	4,8
	Água Limítrofe do Litoral	2.880,80	0,87
	TOTAL	331.983,29	100,00

Fonte: NUGEO (2011; 2016).

Figura 6 - Mapa das bacias e sistemas hidrográficos do Estado do Maranhão.

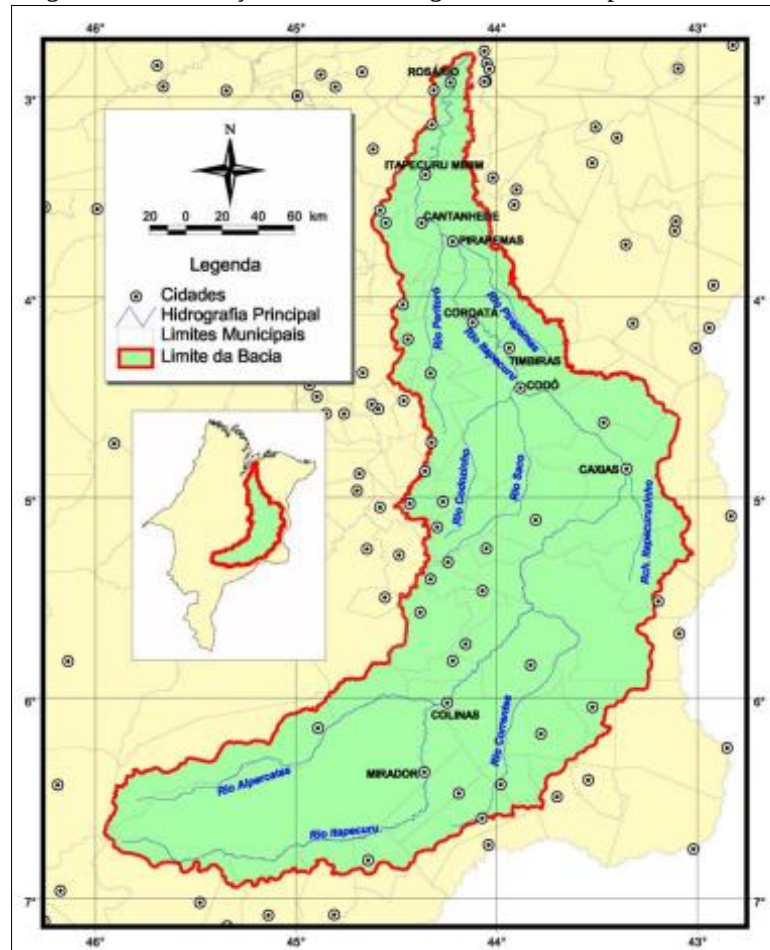


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru, compreendida integralmente dentro do domínio territorial do estado do Maranhão, integra a Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental que está representada pela porção mais densamente povoada do estado. Essa região hidrográfica possui uma área aproximada de 274.300 km² (3% do território nacional), abrangendo o estado do Maranhão e pequena parcela do Pará, contando com 235 municípios (198 no Maranhão e 37 no Pará). Dentre estes, 195 possuem suas sedes inseridas no território da região. A RH está dividida em cinco unidades hidrográficas: Itapecuru, Gurupi; Litorânea-MA, Litorânea-MA/PA e Mearim. Os principais rios da região são os rios Gurupi, Mearim, Itapecuru e Munim (ANA, 2014).

De acordo com IBGE (1998), a bacia hidrográfica do rio Itapecuru situa-se na parte centro-leste do estado do Maranhão (figura 7), entre as coordenadas de 2°51'33'' a 6°52'22'' latitude S e 43°02'49 a 45°58'57'' longitude O, limita-se ao sul e leste com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba através da Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras pequenas elevações, a oeste e sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim e a noroeste com a bacia hidrográfica do rio Munim.

Figura 7 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Fernandes; Matos. Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2022).

Essa bacia hidrográfica possui área de 53.216,84 km², o que equivale a 16,03% da área do estado e comporta 57 municípios. É considerada a segunda maior bacia hidrográfica do Maranhão atrás apenas da bacia hidrográfica do rio Mearim com área de 99.058,68 km² (NUGEO, 2016).

O principal rio dessa bacia hidrográfica é o rio Itapecuru, que nasce a sul do estado, no sistema formado pelas serras de Crujeiras, Itapecuru e Alpercatas, a cerca de 530 m de altitude. Segue seu curso percorrendo cerca de 852,71 km até desaguar na baía do Arraial, a sudeste da Ilha do Maranhão, através de dois braços denominados Tucha e Mojó na região norte do estado. Os principais afluentes pela margem direita são os rios Correntes, Pirapemas e Itapecuruzinho

e os riachos Seco, do Ouro, Gameleira, Cachimbo e Guariba e pela margem esquerda, destacam-se os rios Alpercatas, Peritoró, Pucumã, Codozinho, dos Porcos e Igarapé Grande, além dos riachos São Felinho, da Prata e dos Cocos (IBGE, 1997).

Essa bacia situa-se numa zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia, com base no índice de umidade de Thornthwaite encontra-se: clima úmido no baixo curso, clima úmido a sub-úmido no curso médio e clima sub-úmido a seco no alto curso; o que é refletido nas formações vegetais que transicionam da Savana (Cerrado) no sul, para Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, na parte norte da bacia (IBGE, 1998).

A bacia hidrográfica em questão apresenta terrenos sedimentares, localizada no domínio da bacia sedimentar do Parnaíba, compostos principalmente pelas sequências de arenitos, siltitos e argilitos, nesses terrenos foram esculpidos os chapadões da alta bacia, recobertos por latossolos, os planaltos dissecados na parte central, que apresentam solos latossólicos e podzólicos concrecionários e a superfície rebaixada na parte norte, onde ocorre os plintossolos concrecionários (IBGE, 1997).

Com base em Alcântara (2004), o rio Itapecuru pode ser caracterizado fisicamente em 3 regiões distintas: Alto, Médio e Baixo curso.

Alto Itapecuru - vai da nascente até o município de Colinas. Geomorfologicamente há uma predominância de chapadões, chapadas e cuestras, apresentado um relevo forte ondulado compondo as partes mais elevadas da bacia hidrográfica (350 metros), com destaque as serras de Itapecuru, Alpercatas, Croeira e Boa Vista.

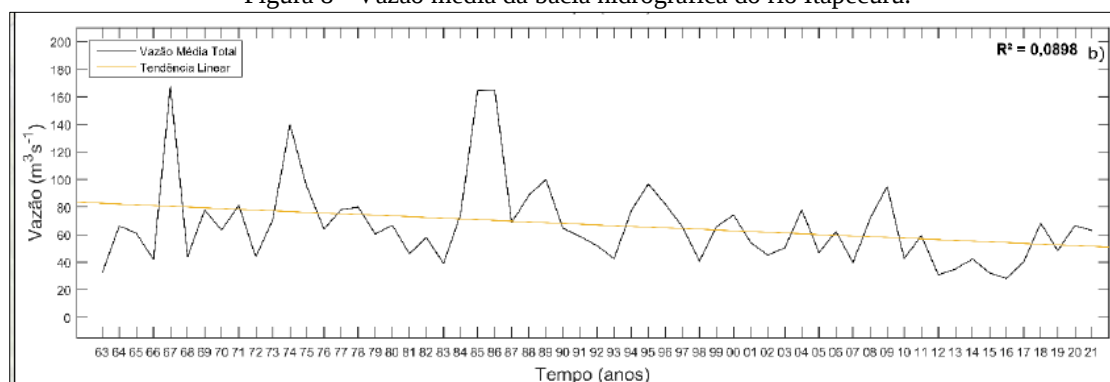
Médio Itapecuru - vai do município de Colinas até o município de Caxias. Esta área apresenta uma situação morfológica denominadas testemunhos, onde predomina o relevo de chapadas baixas e uma superfície suave ondulado a forte ondulado, com uma diferença de altitude de 60 metros.

Baixo Itapecuru - vai do município de Caxias até a foz, na baía do Arraial. Essa área possui uma geomorfologia caracterizada pela presença da superfície maranhense com testemunho e na sua foz, pelo Golfão Maranhense, apresenta um relevo de superfície suave ondulado.

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresenta uma disponibilidade hídrica anual da ordem 1.112.550.000 m³/s /ano, e demanda hídrica de 306.640.000 m³/s /ano, correspondente a 27,56% da disponibilidade hídrica, os usos que mais demandam água são, abastecimento urbano 66,86% - 204.920.000 m³/s /ano, irrigação 23,59% - 72.340.000 m³/s /ano, abastecimento rural 4,44% - 13.640.000 m³/s /ano, pecuária 4,17% - 12.830.000 m³/s /ano e indústria 0,94% - 2.910.000 m³/s /ano (NUGEO, 2016).

A climatologia da bacia hidrográfica do rio Itapecuru demonstrou que a vazão média anual com série histórica de 1963 a 2021, apresentou uma tendência de queda na média da vazão dos rios monitorados na referida bacia (figura 8), com destaque para o rio Itapecuru que compreende a maioria das estações fluviométricas (Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC, 2023).

Figura 8 - Vazão média da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: IMESC (2023).

Os dados sobre disponibilidade e demanda hídrica da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, são claros em apontar para um balanço hídrico positivo, com uma disponibilidade quase quatro vezes maior que a demanda, demonstrando em análise genérica uma certa segurança hídrica na área da bacia hidrográfica, contudo, a análise da vazão média anual ao longo dos anos de 1963 a 2021, revelou uma tendência de redução bastante significativa da vazão média anual. Situação que pode estar associada aos problemas ambientais presentes na bacia hidrográfica, que em geral afetam a disponibilidade de água, como substituição da vegetação nativa por áreas antropizadas, processos erosivos, assoreamento, disposição *in natura* de efluentes domésticos e resíduos sólidos nos corpos d'água, com os mesmos sendo desencadeados pela alteração no uso cobertura da terra, urbanização desordenada e falta de saneamento básico (Silva; Conceição, 2011; Vale et al., 2014; Masullo et al., 2019).

Isso acaba reverberando no padrão de qualidade da água dos corpos hídricos dessa bacia hidrográfica, especialmente no rio Itapecuru, que apresenta significativa degradação da qualidade da água, com concentrações elevadas em parâmetros físicos (sólidos totais em suspensão, turbidez), químicos (fósforo total) e biológicos (coliformes termotolerantes), além do enquadramento da água na classe regular do IQA-NSF e péssima do IQA-CCME (Costa et al., 2015; Soares, et al., 2016; Soares, et al., 2022; Martins et al., 2022; Martins et al., 2023).

Esses problemas ambientais existentes na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, poderiam ser minimizados ou até sanados, com ações sinérgicas do Órgão Gestor de Recursos Hídricos (representante do poder público) e do Comitê da Bacia Hidrográfica (representante dos usuários

da água), respaldadas em governança e gestão da água eficientes. Mas essa realidade se mostra distante. Dias et al. (2025) destacam que a incerteza em relação à eficácia e eficiência dos sistemas de governança da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, incluindo a implementação de políticas públicas e a participação das partes interessadas, afeta profundamente a capacidade de gerenciar de forma sustentável e equitativa. Masullo et al. (2019) elencam avanços necessários para otimizar a governança e gestão da água na bacia hidrográfica: implementar instrumentos da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, enquadramento dos corpos d'água em classes, cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações sobre os recursos hídricos.

Além disso, outros fatores impactaram a eficácia e a eficiência da governança e gestão da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru e consequentemente, agravaram seus problemas ambientais, atraso na elaboração do plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, publicado em 2025 e na implementação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru instituído pelo Decreto Estadual nº 36580 de 10 de março de 2021 e formalizado com a nomeação dos integrantes em 02 de janeiro de 2024 (Maranhão, 2021).

REFERÊNCIAS

ABBOTT, B.W. et al. **Dominação Humana do Ciclo Global da Água Ausente de Representações e Percepções.** Journal Nature Geoscience, v. 12, n 7, p.533–540, 2019. Doi: <https://doi-org.ez33>

AGBENORHEVI, A. E. et al. **Analyzing land use and land cover change in the Pra River Basin: A multi-tool approach for informed decision-making.** Journal Environmental Challenges. v.15, p.100-922, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100922>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Panorama das águas superficiais do Brasil: 2012.** Brasília: ANA, 2012. 265 p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. Edição especial. 2014.** Brasília: ANA, 2014. 164 p.

_____. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas.** Brasília: ANA, 2017. 92 p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2018.** Brasília: ANA, 2018. 72 p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2019.** Brasília: ANA, 2019a. 110 p.

_____. **Plano Nacional de Segurança Hídrica:** Brasília: ANA, 2019b. 116 p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2020.** Brasília: ANA, 2020. 77 p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2021.** Brasília: ANA, 2022. 147p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2022.** Brasília: ANA, 2023. 120p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2024.** Brasília: ANA, 2024. 166p.

ALCÂNTARA, E. H. de. **Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão - Brasil.** Revista Caminhos de Geografia, v. 5, n. 11, p. 97–113, 2004. doi: 10.14393/RCG51115328.

ALMEIDA, M.A.B; SCHWARZBOLD, A. **Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA).** RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.8 n.1, p.81-97, 2003.

AMORTEGUI, H.R. et al. **Fluid dynamics of life: exploring the physiology and importance of water in the critical illness.** Journal Frontiers in medicine, v.11, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1368502>

- ANDRIETTI, G. et al. **Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT.** Revista ambiente e água, v.11, n.1, 20116. Doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1769>
- ARMENI, C. **Global experimentalista governance, international law and climate change Technologies.** Journal ICLQ, v.64, 2015. Doi: 10.1017/S0020589315000408
- AUGUSTO, L. G. da S. et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano,** Ciência & Saúde Coletiva, v.17, n.6, p.1511-1522, 2012.
- BABUNA, P. et al. **Modeling water inequality and water security: The role of water governance,** Journal of Environmental Management, v. 326, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116815>
- BANKOLE, A. O. et al. **Factors affecting sanitation coverage in three income levels and potential toward achieving SDG 6.2.** Journal Water Policy. v.25, n.2, p.146-176, 2023. Doi: <https://doi.org/10.2166/wp.2023.181>
- BARRETO, L. V. et al. **Eutrofização em rios brasileiros.** Revista Enciclopédia biosfera, v.9, n.16, 2013.
- BEJARANO, F. T.; GALLEGOS, J. G.; SALGADO, J. S. **Numerical modeling of nutrient transport to assess the agricultural impact on the trophic state of reservoirs.** Journal International Soil and Water Conservation Research, v. 11, n.1, p.197-212, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.06.002>
- BISWAS, A. K., TORTAJADA, C. **Future water governance: problems and perspectives, international.** Journal of water resources development, v.26, n.2, p.129-139. Doi: <https://10.1080/07900627.2010.488853>
- BOYACIOGLU, H. **Utilization of the water quality index method as a classification tool.** Journal Environ Monit Assess, v.167, p.115-124, 2010.
- BRASIL. Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Brasília, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em: 06 out. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 357, de 18 de março de 2005.** Brasília, 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450 Acesso em: 14 de outubro de 2023.
- BROWNLIE, W.J. et al (eds.). **Our Phosphorus Future.** UK Centre for Ecology & Hydrology, Edinburgh. 2022. Doi: <https://10.13140/RG.2.2.17834.08645>
- CARMO, R. L. do; DAGNINO, R. de S.; JOHANSEN, I. **Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil.** Revista bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 31, n.1, p. 169-190, 2014.

CARRÉ, C. et al. **Quality standards and monitoring as water management tools: the case of nitrogen in rivers in France and Brittany.** Journal Water Policy. v.20, n.5, p. 1059–1074, 2018. Doi: <https://doi.org/10.2166/wp.2018.154>

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT-CCME. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index 1.0 user's manual, technical report.** Canada, 2001. Disponível em: <https://prrd.bc.ca/wp-content/uploads/post/prrd-water-quality-database-and-analysis/WQI-Users-Manual-en.pdf>. Acesso 13 de julho de 2023.

_____ **water quality user's manual 2017 update.** technical report. Canada 2017. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>. Acesso: 13 de julho de 2023.

CHAPMAN, D. V.; SULLIVAN, T. **The role of water quality monitoring in the sustainable use of ambient Waters.** Journal One Earth, v.5, n. 2, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.01.008>

CHEN, P. et al. **Urban river water quality monitoring based on self-optimizing machine learning method using multi-source remote sensing data.** Journal Ecological Indicators v.146, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109750>

CIRILO, J. A. **Crise Hídrica: desafios e superação.** Revista USP, n. 106, p. 45-58, 2015. Doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p45-58>

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo. Parte 1-águas doces.** São Paulo- SP, 2014. 376P.

CORNELLI, M.; ARAÚJO, C. S.; SILVA, J. P. **Eutrofização e os impactos das atividades antrópicas em corpos hídricos: uma abordagem integrada.** Journal of Environmental Management, v.150, p.29-36. 2015. Doi: <https://10.1016/j.jenvman.2015.01.003>

COSTA, C.F. et al. **Análise microbiológica da água do rio Itapecuru em Caxias, MA, Brasil.** Revista Interface, n.10, p. 274-283, 2015.

DIAS, L.; J.; B.; da S. et al. **Sumário Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru – MA.** EDUEMA, São Luís: UEMA-NUGEO, 2025, 44p.

DI MAURO, C. A. **Conflitos pelo uso da água.** Revista caderno prudentino de geografia, v.especial, n.36, p.81-105, 2014.

DUBE, T. et al. **Advancements in earth observation for water resources monitoring and management in Africa: A comprehensive review,** Journal of Hydrology, v. 623, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129738>

DU PLESSIS, A. **Persistent degradation: Global water quality challenges and required actions.** One Earth, n.5, p.129-131, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.01.005>

ESTEVEZ, F. **Fundamentos de limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FERNANDES, R. J. A. R.; MATOS, A. J. **Relatório de atividades - Departamento de hidrologia. Relatório anual de operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Itapecuru**. Teresina: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM, 2022. 43P.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M. de; CORREA, J. A. M. **Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA) – Eastern Amazonia**, Journal of Environmental Management, v.263, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110354>

FINAZZI, A. E. M. **Análise sensitiva do índice de qualidade de água IQA-CCME**. Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2012.

FOREST DECLARATION ASSESSMENT PARTNER. **Forests under fire: tracking progresso n 2030 forest goals**. Climate focus (coordinator and editor), 2024. Disponível em: www.forestdeclaration.org.

FRACALANZA, A. P. **Água: de elemento natural a mercadoria**. Revista Sociedade & Natureza, v.17, n.33, p.21-36, 2005.

GALHARTE, C. A., VILLELA, J. M., CRESTANA, S. **Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo**. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v.18, n.2, 2014. Doi:<https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000200010>

GALLI, C. S.; ABE, D. S. **Disponibilidade, poluição e eutrofização das águas**. In: BICUDO, C.E.de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (org). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. p.165-197.

GARCEZ, L. N.; ALVARES, G. A. **Hidrologia**, 2º ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1988. 304p.

GITTINS, J. R; HEMINGWAY, J. R; DAJKA, J.C. **How a water-resources crisis highlights social-ecological disconnects**, Journal Water Research, v.194, 2021. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116937>

GLEICK, P. H., SHIMABUKU, M. **Water -related conflicts: definitions, data, and trends from the water conflict chronology**. Journal enviromental research lattters, v.18, 2023. Doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abcb8f>

GLEICK, P.; ICELAND, C. **Water, security, and conflict**. World resouces institute. 2018. Disponível em: https://files.wri.org/d8/s3fs-public/water-security-conflict.pdf?_gl=1*1969mlx*_gcl_aw*

GOMES, L. C. D.; SALVADOR, N. N. B.; LORENZO, H. C. de. **Conflito pelo uso dos recursos hídricos e o caso de Araraquara-SP**, revista Ambiente e Sociedade, v.24, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190100r3vu2021L3AO>

HOGEBOM, R. J. **The Water Footprint Concept and Water's Grand Environmental Challenges**. Journal One Earth, v. 2, p. 218-222, 2020. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.010>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão: diretrizes gerais para a ordenação territorial**. Salvador: IBGE, 1997. 44P.

_____. **Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial**. Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

_____. **Mudança na cobertura e uso da terra 2000, 2010, 2012**. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 48P.

_____. **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao> Acesso em: 26 de fevereiro de 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. p. 1-34, Doi: <https://10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. **Relatório Técnico de Recursos Hídricos Superficiais do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) – Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro**. São Luís: IMESC. 2023. 180p.

KHAN, A., A.; PATERSON, R.; KHAN, H. **Modification and Application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the Communication of Drinking Water Quality Data in Newfoundland and Labrador**. Journal Water Qual. Res., v.39, n.3, p.285-293, 2004.

KHAN, A. A. et al. **Application of CCME Procedures for Deriving Site-Specific Water Quality Guidelines for the CCME Water Quality Index**. Water Quality Research Journal of Canada. v.40, n.4. 2005. Doi:<https://10.2166/wqrj.2005.047>

KOOKANA, R. **No Such Thing as Waste**. In: The Future of Urban Clean Water and Sanitation. Journal One Earth, v.1, n.1, p.10-12, 2019. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.08.010>

KUNDZEWICZ, Zbigniew W. et al. **Freshwater resources and their management**. In: Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI. Geneva: IPCC, 2008.

KUZMA, C.; SACCOCCIA, L.; CHERTOCK, M. **25 countries, housing one-quarter of the population, face extremely high water stress**. World resources institute, 2023. Disponível em: [https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed countries?](https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries?)

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <
www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/.../TeseLamparelli2004.pdf> Acesso em: 12 de novembro de 2024.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. de L.; NASCIMENTO, N. de O. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública**, Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.3, p. 219-228, 2005. Doi:<https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000300006>

LUO, Q. et al. **Existing levels of biodiversity and river location may determine changes from small hydropower developments**. Journal of Environmental Management, v.357, 2024). Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120697>

MAGALHÃES JÚNIOR, H.; LOPES, F. W. A. **Levantamento e análise dos conflitos Pelos usos da água na bacia do Ribeirão da Prata – MG**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.8, n.3, p.31-45, 2017. Doi: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0004>

MALIVA, R. G.; MANAHANA, W. S.; MISSIMER T. M. **Climate change and water supply: governance and adaptation planning in Florida**. Journal Water Policy, v.23, n.3, 521-536, 2021. Doi:<https://doi.org/10.2166/wp.2021.140>

MARANHÃO. Decreto nº 36580 de 10 março de 2021. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapeturu. Diário Oficial do Estado do Maranhão, 11 de março de 2021.

MARQUES, M. N. et al. **Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso**. Revista Exacta, v.5, n.1, p. 47-55, 2007. Doi:<https://doi.org/10.5585/exacta.v5i1.1029>

MARSELINA, M.; WIBOWO, F.; MUSHFIROH, A. **Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia**, Journal Heliyon, v.8, n.7, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>

MARTINS, R. A. et al. **Assessment of surface water quality of the lower course of the Itapeturu river basin, Maranhão state, Brazil**. Journal applied ecology and environmental research, v.6, 2022. Doi: https://dx.doi.org/10.15666/aeer/2006_53815396

MARTINS, R. A. et al. **Qualidade da água do baixo curso do rio itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos.** Revista Foco, v.16, n.9, 01-22p. 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v16n9-111>

MASULLO, Y. A. G. et al. **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA.** Revista brasileira de geografia física, v.12, n.3, p.1054-1073, 2019. Doi:<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

MCDONALD, R. **New Tools and Collaborations.** In: The Future of Urban Clean Water and Sanitation. Journal One Earth, v.1, n.1, p.10-12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.08.010>

MEIERDIERCKS, K.L.; FINEWOOD, M.H.; BENNETT, C. **Defining the term watershed to reflect modern uses and functions as inter- and intra-connected socio-hydrologic systems.** Journal Environ Stud Sci, v. 14, p.236–255, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13412-024-00891-8>

MICHELAN, M. G. et al. **Estimating the impact of climate change on water levels in a data-poor river basin in southeastern Brazil.** Journal Water policy, v.23, n.5, p.1284–1302, 2021. Doi: <https://doi.org/10.2166/wp.2021.022>

NOVOTNY, V. **Poluição difusa da agricultura - Uma perspectiva mundial.** Revista ciência e tecnologia da água. V.39, n.3, p. 1-13, 1999.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - NUGEO. **Bacias Hidrográficas: Subsídios para o planejamento e a territorial.** Relatório Técnico. 2011. 47 p.

_____. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão.** Relatório Técnico. 2016. 166 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. Divisão de População. **Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2008,** Nova York, 2009.

_____. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável.** 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

_____. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017.** Águas residuais, o recurso inexplorado: Fatos e Dados. UNESCO. Paris, 2017.

_____. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018.** Soluções baseadas na natureza para água: Fatos e Dados. Paris, 2018.

Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019. Não deixando ninguém para trás: Fatos e Dados. UNESCO. Paris, 2019.

Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020. Água e mudanças climáticas: Fatos e Dados. UNESCO. Paris, 2020.

Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2022. Água subterrânea, tornando o invisível visível: Fatos e Dados. UNESCO. Paris, 2022.

Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023. Parcerias e cooperação para água: fatos, dados e exemplos de ação. UNESCO. Paris, 2023.

O que é o fósforo e por que aumentam as preocupações sobre o seu impacto ambiental? 24 de janeiro de 2024. Disponível: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-que-e-fosforo-e-por-que-aumentam-preocupacoes-sobre-o-seu>
 Acesso em: 12/11/2024.

 ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD.
Princípios da OCDE para a governança das águas. Comitê de Desenvolvimento Regional. Publinsing, 2015a. Disponível em: <http://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-on-Water-Governance.pdf>

Governança dos Recursos Hídricos no Brasil,
 OECD Publishing, Paris. 2015b. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt>

Ten years of the OECD Water Governance Initiative.
 Publinsing, 2022.

 PAGNOCCHESCHI, B. **Governabilidade e governança das águas no Brasil.** In: MOURA, Adriana Maria Magalhães de (org.). Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas. Brasília, Ipea, 2016. P. 175-199.

 PEDROSA, V. de A. **Soluções de Conflitos pela Água.** 2016, 84p.

Soluções de Conflitos pela Água. Serra-ES, Grafitusa, 2017, 109p.

Construindo pactos pelo uso da água. 2020, 87p.

 PEREIRA, L. C. C. et al. **Efeitos da falta de saneamento básico público na qualidade da água do estuário do rio Caeté no Norte do Brasil.** Revista Ecohidrologia e Hidrologia. V.21, n.2, p. 293-314, 2021a.

 PEREIRA, M. C. S. et al. **Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar – Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo.** Revista Eng.

San. Ambiental, v. 6,n.3, p.577-590, 2021b. Doi:<https://doi.org/10.1590/S1413-415220190272>

PRESTES, M. P. et al. **Potenciais conflitos pelo uso da água na região hidrográfica 2 no estado de Santa Catarina.** Revista de Geografia (Recife), v.35, n.5, 2018.

REBOUÇAS, A. da C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez.** Bahia Análise & Dados, v.13, n. especial, p.341-345, 2003.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** Embrapa Cerrados. 2002. 29p.

RIBEIRO, N. B.; JOHNSON, R. M. F. **Discussões sobre governança da água: tendências e caminhos comuns.** Revista Ambiente & Sociedade. v.1, p.1-22, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0125r2vu18L1AO>

RIO, M. D.; INFANTE, J.; ALANA, L. A. G. **Use of fresh water over the long run measuring persistence.** Journal Water Policy, v.24, n.9, p. 1383–1393, 2022. Doi:<https://doi.org/10.2166/wp.2022.239>

ROSEMOND, S. D.; DURO, D. C.; DUBÉ, M. **Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality Index.** Journal Environ Monit Assess. v.156, p.223-240, 2009. Doi: <https://10.1007/s10661-008-0480-6>

ROSSI, R. A.; SANTOS, E. **Conflito e regulação das águas no Brasil – a experiência do salitre.** Revista caderno CRH, v.31, n.82, p.151-167, 2018.

ROWBOTTON, J. et al. **Water governance diversity across Europe: Does legacy generate sticking points in implementing multi-level governance?** Journal of Environmental Management, v.319, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115598>

SANTOS, A. M. dos; NUNES, F. G. **Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira.** Revista Geosul, v.36, n.78, p.476-495, 2021. Doi: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72887>

SECRETARIADO DA CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA. **Panorama da Biodiversidade Global 3**, Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas (MMA), 2010., 94páginas,

_____. **Perspectiva Global da Biodiversidade 5.** Montreal, Resumo para decisores políticos, 2020.

SELBORNE, L. **A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento.** Brasília: UNESCO, 2001. 80p.

SILVA, D. de J.; CONCEIÇÃO G.M. da. **Rio Itapecuru: Caracterização Geoambiental e Socioambiental, Município de Caxias, Maranhão, Brasil,** 2011.

SILVA, R. A. S. et al. **Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de abastecimento público.** Revista Scientia Plena, v.13, n.10, 2017.

Doi:<https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109917>

SILVA, M. T. L. **Adaptação e aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água.** Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2017.

SILVA, M. B. M. da; RIBEIRO, M. M. R. **Análise da governança da água por meio do arcabouço de robustez: o caso do Reservatório Epitácio Pessoa, PB.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 28, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220023>

SOARES, L. S. **Planejamento ambiental integrado: subsídio para o desenvolvimento sustentável das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do Rio Itapecuru, Maranhão,** Tese de doutorado - Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2016.

SOARES, L. S. et al. **Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil.** Revista Espacios, v.37, n.14, p.6-18, 2016.

https://www.revistaespacios.com/a16v37n14/16371406.html?utm_source

SOARES, L. S. et al. **Space-temporal analysis of physico-chemical and biological variables of water quality in the itapecuru river, northeastern atlantic hydrographic region, brazil.** Journal caderno prudentino de geografia, v.2, n.44, p.35-56, 2022.

<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9181/6539>

SOUZA, J. R. de. et al. **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil,** REDE Revista Eletrônica do Prodema, v.8, n.1, p. 26-45, 2014.

STRONG, C.; KUZMA, S. **It Could Only Cost 1% of GDP to Solve Global Water Crises.** World resources institute, 2020. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/it-could-only-cost-1-gdp-solve-global-water-crises?>

THOMÉ, V. C.; TOTTI, M. E. **Gerenciamento e governança das águas no Brasil: padrões de interação Estado-sociedade.** In: TOTTI, M. E.; Balsa, C. (org). Gerenciamento e governança de recursos naturais na América Latina: conflitos e atores sociais. Campos dos Goytacazes, RJ: Brasil Multicultural, 2018. 256 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1997.

_____. **Usos e impactos dos recursos hídricos.** In: TUCCI, C.E.M.; MENDES, C. A. (org). Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente (Secretaria de Qualidade Ambiental) / Rhama Consultoria Ambiental, 2006.

_____. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97 – 112. 2008.

_____**Urbanização e recursos hídricos.** In: BICUDO, C.E.de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (org). Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. p.113-128.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**, 2º ed., Carlos: Rima, IEE – Instituto Internacional de Ecologia, 2005. 248 p.

_____**Novas Perspectivas para a gestão de recursos hídricos**, Revista USP, n.70, p.24-35, 2006.

_____**Recursos hídricos no futuro: Problemas e Soluções**, Revista USP Estudos Avançados, v.22, n.63, 2008.

_____**Governança da água**, revista UFMG, v.20, n.2, p.22-235, 2013.

UKPAI, S. N. **Water policy reform in the Nigeria water governance system: assessment of water resources management based on OECD principles on water governance.** Journal Water policy, v.24, n.10, p.1704-1722, 2022. <https://doi.org/10.2166/wp.2022.135>

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **How much water is there on Earth?**. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/how-much-water-there-earth> Acesso em: 28 de fevereiro de 2026.

VALE, F. da S. et al. **Rio Itapecuru: uma visão geoambiental**, em Caxias, 2014. Revista humana et al v.1, n. 2, p. 104-119, 2014. Disponível em: <https://iesfma.com.br/wpcontent/uploads/2017/10/REVISTA-IESF-2ª-EDICAO.pdf>

VALESCO, M. J. M. et al. **Water governance challenges at a local level: implementation of the OECD Water Governance Indicator Framework in the General Pueyrredon Municipality, Buenos Aires Province, Argentina.** Journal Water policy, v.0, n.0, 2023. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.194>

VANNIJNATTEN, D. L. **The potential for adaptive water governance on the US–Mexico border: application of the OECD’s water governance indicators to the Rio Grande/Bravo basin.** Journal Water Policy, v.22, n.6, p. 1047–1066, 2020. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.120>

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos.** Porto Alegre, EDIPUCRS, 2007, 231p.

VAN VLIET, M. T.H. **Urban Water Challenges.** In: **The Future of Urban Clean Water and Sanitation.** Journal One Earth, v.1, n.1, p.10-12, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.08.010>.

VON SPERLING, E. **Afinal, Quanta Água Temos no Planeta?** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.11 n.4, p. 189-199, 2006.

WILSON, C. O., WENG, Q. **Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago**

Metropolitan Statistical Area, Illinois. Journal Science of the Total Environment, v. 409, p.4387–4405, 2011. Doi:10.1016/j.scitotenv.2011.07.001

WOLKMER, M. de F. S; PIMMEL, N. F. **Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental.** Revista Sequência, v.34, n.67, p.165-198. 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p165>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WMO. **State of global water resources 2021.** Geneva-Switzerland, 2022. P.36.

State of global water resources 2023. Geneva-Switzerland, 2024. P.80.

WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. **Rising to the climate change challenge.** 2021. Disponível em: <https://www.wri.org/climate?> Acesso em: 08/05/2025

YANG, L. et al. **The effects of surface pollution on urban river water quality under rainfall events in Wuqing district, Tianjin, China.** Journal of Cleaner Production v.293, 2021, p. 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126136>.

YANG, S. Q. **Coastal Reservoir Technology and Applications**, in: YANG, Shu-Qing. World water crisis and possible solutions, Elsevier, 2022, 1-37p.

YOSHIDA, Y. M. **Recursos hídricos: aspectos éticos, jurídicos, econômicos e socioambientais**, Campinas –SP, editora Alínea, 2007.

XAUD, M. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Dinâmica do uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima utilizando técnicas de detecção de mudanças.** Revista Acta Amazônica, v. 44, n.1, p.107-120, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000100011>

ZHANG, J.; QIN, R.; HE, J. **Biodiversity loss and inter-provincial cooperative protection in China based on input-output model.** Journal of Cleaner Production, v.450, 2024. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141830>

CAPÍTULO I

USO E COBERTURA DA TERRA E SUA IMPLICAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA ZONA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU¹

RESUMO

A mudança da cobertura da terra, caracterizada pela substituição da vegetação nativa por áreas antropizadas, causa perda de biodiversidade, alterações climáticas, redução da quantidade e degradação da qualidade da água. O trabalho teve por objetivo analisar o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, relacionando a distribuição e a concentração das suas classes com o padrão de qualidade da água. Os mapas de uso e cobertura da terra foram desenvolvidos a partir de imagens do satélite OLI/Landsat 8 dos anos de 2003 e 2023, confeccionados usando-se o software, Quantum GIS (QGIS), os dados de qualidade de água foram obtidos no Portal HidroWeb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) com a série histórica de 2003 a 2023. Verificou-se entre 2003 e 2023 redução de 17,14% na área das classes de uso e cobertura da terra que representam a vegetação nativa, especialmente formação florestal e formação savânica e aumento das classes que caracterizam uso alternativo do solo (antropização), principalmente pastagem com avanço de 10,18% e agricultura com avanço de 6,30%. E que o rio Itapecuru apresentou um padrão de qualidade da água melhor no trecho em que há maior proporção de vegetação nativa, alto curso e um padrão de qualidade da água pior, em trechos com maior proporção de usos alternativos do solo, médio e baixo curso.

Palavras-chave: Dinâmica da paisagem. Monitoramento Ambiental. Rede de drenagem.

¹ Trabalho aceito para publicação na revista Caminhos de Geografia - ISSN: 1678-6343 -
Doi: <https://doi.org/10.14393/RCG>, Qualis A1.

CHANGE IN LAND USE AND COVER AND THE IMPLICATIONS ON WATER QUALITY IN A TROPICAL HYDROGRAPHIC BASIN THAT TRANSITIONS BETWEEN THE CERRADO AND AMAZON BIOAMS

ABSTRACT

Land cover change, characterized by the replacement of native vegetation with anthropized areas, leads to biodiversity loss, climate alterations, reduced water availability, and deterioration of water quality. This study aimed to analyze land use and land cover in the Itapecuru River watershed, relating the distribution and concentration of its classes to the pattern of water quality. LULC maps were generated from OLI/Landsat 8 satellite imagery for the years 2003 and 2023 using the open-source software Quantum GIS (QGIS). Water quality data were obtained from the HidroWeb Portal of the National Water Resources Information System (SNIRH), covering a historical time series from 2003 to 2023. The results indicate a 17.14% reduction in areas covered by native vegetation between 2003 and 2023, particularly forest and savanna formations. Conversely, there was an expansion of anthropogenic land use classes, mainly pastureland, which increased by 10.18%, and agriculture, which expanded by 6.30%. The Itapecuru River exhibited better water quality in reaches with a higher proportion of native vegetation, corresponding to the upper course, whereas poorer water quality was observed in reaches with a predominance of anthropogenic land uses, corresponding to the middle and lower courses.

Keywords: Landscape dynamics. Environmental monitoring. Drainage network.

1 INTRODUÇÃO

O levantamento do uso e cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2013). Sendo considerada a expressão das atividades humanas na superfície terrestre, ligada diretamente ao uso da terra e seu manejo (Seabra; Cruz, 2013). Apresentando papel fundamental no delineamento do ambiente em escalas global, regional e local (Krusche et al., 2005).

De acordo com Witjes, Herold e de Bruin (2024), o levantamento do uso e cobertura da terra fornece estimativas de cobertura do solo com previsões corretas de classe em nível de pixel e estimativas de área de classe regional, sendo importante para muitos propósitos de monitoramento. Nessa perspectiva, Winkler et al. (2021), salientam que quantificar a dinâmica da mudança do uso da terra é fundamental para enfrentar os desafios socioambientais globais, como segurança alimentar, mudanças climáticas e perda de biodiversidade. Visão compartilhada por Agbenorhevi et al. (2024), que consideram a investigação da mudança do uso da terra essencial para abordar os desafios sociais e conservar os ecossistemas.

Nesse contexto de monitoramento do uso e cobertura da terra, um dos principais indicadores é a cobertura vegetal, em que o tipo de vegetação presente, implica distintos comportamentos nos atributos do solo e da água, sendo que a remoção das florestas tem causado aumento significativo dos processos que levam à degradação de imensas áreas, com prejuízos à hidrologia e à biodiversidade (Bueno; Galbiatti; Borges, 2005).

A degradação do planeta em função da alteração na cobertura da terra e das mudanças climáticas, continua sendo um dos desafios mais complexos que as gerações presentes e futuras da humanidade enfrentam (Nguyen et al., 2023). Eventos extremos de mudança climática têm impactos consequentes que influenciam as respostas da dinâmica da vegetação, com reflexos na cobertura da terra, bem como no funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos e no bem-estar humano (Afuye; Kalumba; Orimoloye, 2021).

A mudança na cobertura da terra representa um dos mais graves problemas ambientais, sendo amplificada por sua relação direta com a ocorrência de eventos climáticos extremos, e intensificada em bacias hidrográficas, por conta da degradação da qualidade da água dos corpos hídricos. Para Külling et al. (2024), a utilização dos solos em que há a substituição da vegetação nativa por usos alternativos, representa riscos significativos de perda de biodiversidade a nível mundial, afetam a estabilidade ecológica, a quantidade e a qualidade da água.

Essa descaracterização da paisagem natural, especialmente com a substituição de áreas vegetadas, impacta de forma direta e negativa os recursos hídricos, alinhado a esse pensamento

Tambosi et al. (2015), comentam que a biodiversidade tem singular importância para preservação e perenidade do fornecimento de água potável, através da cobertura florestal ou de vegetação nativa situada em diferentes posições de relevo. Tucci; Mendes (2006), corroboram com esse entendimento ao relatarem que as alterações sobre o uso e manejo do solo da bacia hidrográfica em que ocorre o desmatamento, geralmente tende a alterar a vazão média em função da diminuição da evapotranspiração, com aumento das vazões máximas e diminuição das mínimas.

Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observam-se diversas alterações na dinâmica da paisagem decorrentes da ocupação desordenada, que levam à fragmentação e destruição da vegetação nativa, desencadeadas pelo aumento de áreas de pastagens, de cultivos agrícolas (principalmente monoculturas) e da expansão urbana em todos os seus cursos (alto, médio e baixo), com influência nos recursos hídricos e na biodiversidade (Masullo; Soares, 2019).

Essa alteração na cobertura natural da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que ameaça a manutenção dos recursos hídricos, é desencadeada pela intensificação do desmatamento nos biomas Cerrado e Amazônia, que são os principais biomas dessa bacia hidrográfica. Conforme Marques et al. (2024), com base no Relatório Anual do Desmatamento no Brasil – (RAD2023) do MapBiomas, no ano de 2023 foi registrado no Maranhão o desmatamento de 10.341 ha no bioma Amazônia e 320.884 ha no bioma Cerrado, o que tornou o estado no maior desmatador do cerrado dentre todas as unidades da federação, respondendo por 28% do total da área desmatada nesse bioma no referido ano.

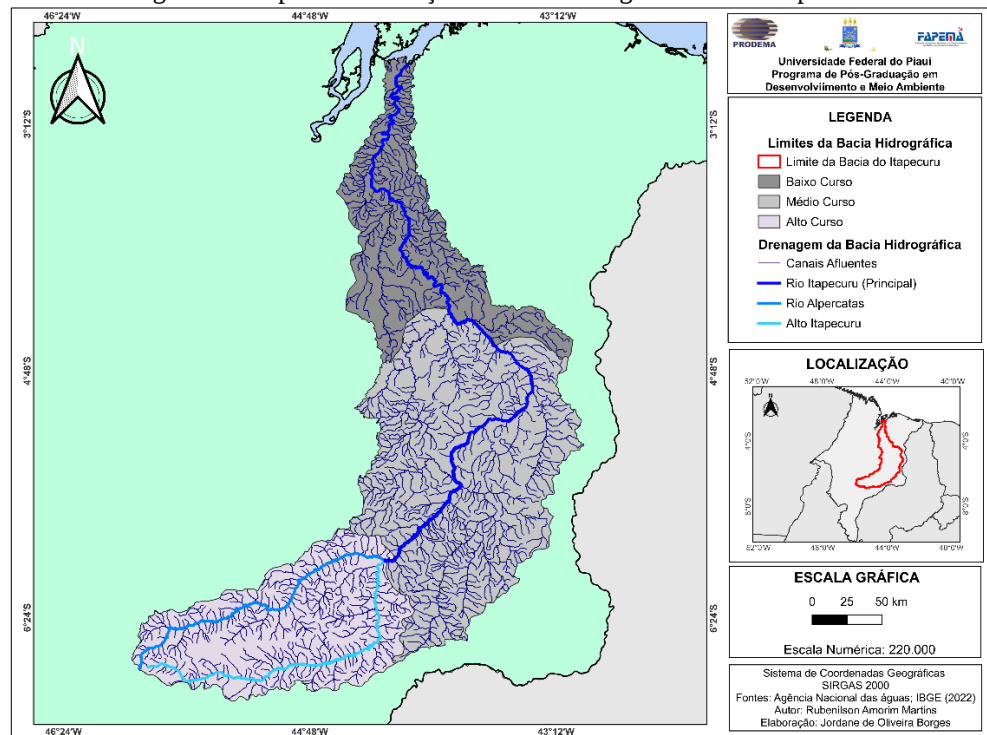
Nesse contexto, o estudo teve como objetivo destacar a mudança do padrão de uso e cobertura da terra, relacionando-a com a alteração da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre os anos de 2003 e 2023, este direcionamento se justifica pela intensificação do desmatamento que culmina na alteração do uso e cobertura da terra e na degradação da qualidade da água, a hipótese que fundamenta este trabalho é que a bacia hidrográfica do rio Itapecuru passa por um processo progressivo de alteração do uso e cobertura da terra caracterizado pela redução da vegetação nativa, com impactos negativos na qualidade da água. Desse modo pretende-se ressaltar a importância da cobertura vegetal para a permanência dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequados aos usos múltiplos e ao desenvolvimento das suas funções ecológicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está localizada na parte centro-leste do estado do Maranhão, entre as coordenadas de 2°51'33" a 6°52'22" Latitude S e 43°02'49 a 45°58'57" Longitude O (figura 1), limita-se ao sul e leste com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba através da Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras pequenas elevações, a oeste e sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim e a noroeste com a bacia hidrográfica do rio Munim (IBGE, 1998).

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com uma área de 53.216,84 km², o que equivale a 16,03% da área do estado, representando a segunda maior bacia hidrográfica do Maranhão, atrás apenas da bacia hidrográfica do rio Mearim com área de 99.058,68 km². O principal rio é o Itapecuru, que nasce no sul do estado no sistema formado pelas Serras da Croeira, Itapecuru e Alpercatas, em altitude de aproximadamente 530 m, percorre cerca de 852,71 km, desaguando na baía do Arraial, a sudeste da Ilha do Maranhão (Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão - NUGEO, 2016).

Compreende áreas dos biomas Cerrado e Amazônia, no bioma Cerrado apresenta como formações vegetais características, formação florestal, formação savânica e formação campestre, no bioma Amazônia se destaca a formação florestal (Silva et al., 2022). Com essas formações vegetais transicionando do Cerrado no sul da bacia hidrográfica, para as florestas

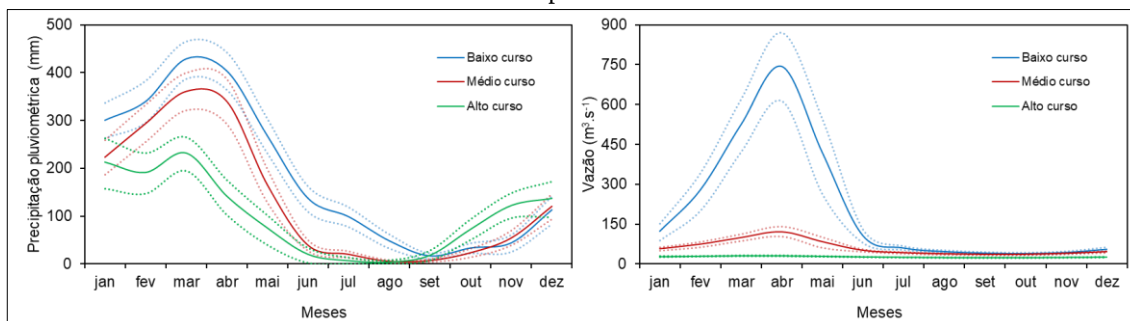
estacionais no centro e na parte leste, e para a floresta ombrófila no noroeste do estado sob influência do bioma Amazônia (IBGE, 1997).

Situa-se em uma zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia, com base no índice de umidade de Thornthwaite encontra-se: clima subúmido a seco no alto curso, clima úmido a subúmido no curso médio e clima úmido no baixo curso (IBGE, 1998). Sendo caracterizados por altas temperaturas (média anual de 27°C a 29°C nos cursos alto e médio e 26°C a 27°C no baixo curso), variação de umidade, com menor umidade do ar na parte sul – alto e médio curso (precipitações anuais entre 1.200 mm e 1.400 mm) e maior umidade do ar na parte norte da bacia – baixo curso (precipitações anuais entre 1.400 mm e mais de 2.000 mm), demarcando dois períodos sazonais bem definidos, um chuvoso e outro de estiagem (Alcântara, 2004).

Para definição dos períodos sazonais foram extraídos dados do portal HidroWeb gerenciado pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico – ANA, das estações pluviométricas Campo Largo – 644015, Coroatá – 444001 e Presidente Juscelino – 344010 e das estações fluviométricas, Mirador – 33420000, Fernando Falcão – 33430000, Colinas – 33480000, Caxias – 33550000, Codó – 33590000, Coroatá – 33630000 e Cantanhede – 33680000.

A partir desses dados foi calculada a média climatológica da precipitação pluviométrica e vazão, com base nos últimos 30 anos (1993 a 2023). De acordo com a média climatológica foram identificados períodos sazonais bem definidos, um chuvoso (dezembro a maio) e um de estiagem (junho a novembro) com padrões similares nos cursos da bacia (figura 2). O mesmo padrão foi observado para os dados de vazão.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) e vazão (m^3/s) dos setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Martins; Lourenço; Soares (2025).

Quanto ao padrão sazonal da precipitação pluviométrica e da vazão (figura 2), pode-se observar uma variação espacial em relação aos cursos dos corpos d'água. No período chuvoso os valores médios mais baixos observados foram no alto curso, tanto para precipitação como

para vazão ($\sim 164\text{mm}$ e $28\text{ m}^3/\text{s}$) e os valores mais elevados no baixo curso ($\sim 308\text{ mm}$ e $358\text{ m}^3/\text{s}$). No período de estiagem os menores valores médios de precipitação pluviométrica e vazão também foram observados no alto curso ($\sim 41\text{mm}$ e $24\text{ m}^3/\text{s}$) e os maiores no baixo curso ($\sim 63\text{mm}$ e $56\text{ m}^3/\text{s}$).

2.2 PROCESSAMENTO DE DADOS PARA USO E COBERTURA DA TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru foi delimitada a partir da hipsometria do estado do Maranhão obedecendo a ordem de nascentes e a altitude, realizada pelo Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. Após a inclusão da bacia delimitada, foi realizado o recorte da rede de drenagem produzida pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), destacando e subdividindo o canal principal e toda bacia hidrográfica em três setores fluviais alto, médio e baixo curso.

Utilizou-se o software, Quantum GIS (QGIS) versão Firenze 3.28 para o processamento dos dados, sendo gerados dados cartográficos da bacia hidrográfica como um todo e dos trechos nos quais a mesma se encontra dividida (alto, médio e baixo curso); servindo como base para o recorte de uso e cobertura da bacia nos anos de 2003 e 2023. O mesmo *software* foi usado para a inserção da localização das estações fluviométricas das quais foram extraídos dados de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru e da delimitação da unidade de conservação do Parque Estadual do Mirador.

Foram utilizados os dados do MapBiomas de uso e cobertura da terra produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens do satélite OLI/Landsat 8 (compostas por 6 cenas para cobrir a área de abrangência, cujas órbitas foram 220 e 221, nos pontos 62, 63 e 64). As bandas utilizadas para a classificação de uso e cobertura foram as bandas 4, 5, 6, com resolução espacial de 30m e a pancromática (banda 8) com resolução espacial de 15 m. Todo o processo foi feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning) através da plataforma Google Earth Engine.

Para o entendimento das mudanças no uso e cobertura da terra na comparação de 2003 para 2023, foram produzidos mapas com as transições das classes entre diferentes pares de anos selecionados. Sendo possível visualizar o dinamismo da alteração da paisagem em escala temporal reduzida (ano a ano). Fez-se também a inserção de dados das estações fluviométricas baseados em coordenadas fornecidos pela ANA, transformando-os em shapefiles de pontos e da delimitação em polígono da unidade de conservação Parque Estadual do Mirador fornecido pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão-SEMA.

As classes atribuídas nos mapas gerais e setoriais foram formação florestal, formação savânica, mangue, apicum, campo alagado, formação campestre, pastagem, agricultura, área urbanizada, solo exposto, mineração e corpos d'água, as quais tiveram suas áreas calculadas em hectares e quilômetros quadrados por meio do software Quantum GIS (QGIS) com a finalidade de especificar a discussão.

Os dados de qualidade da água foram obtidos através do Portal HidroWeb, as séries históricas dos dados dos parâmetros de qualidade da água (temperatura da água, potencial hidrogeniônico-pH, oxigênio dissolvido-OD, condutividade elétrica e turbidez), foram adquiridas das estações fluviométricas Mirador – 33420000, Fernando Falcão – 33430000 (alto curso), Colinas – 33480000, Caxias – 33550000 (médio curso), Codó – 33590000, Coroatá – 33630000 e Cantanhede – 33680000 (baixo curso); com a estação fluviométrica Fernando Falcão alocada no rio Alpercatas e as demais no rio Itapecuru. A série histórica dos dados de qualidade da água foi de 1999 a 2023, com uma periodicidade de coleta bimestral ou trimestral, sempre cobrindo os dois períodos sazonais, estação chuvosa e estação de estiagem. Devido à ausência de dados em alguns períodos, os dados mensais foram agrupados por períodos sazonais, chuvoso e estiagem, facilitando a identificação dos seus padrões espaciais e temporais.

Os gráficos (boxplots) agruparam a série histórica de dados de qualidade da água do portal Hidroweb e foram confeccionados utilizando o programa XLSTAT Basic.

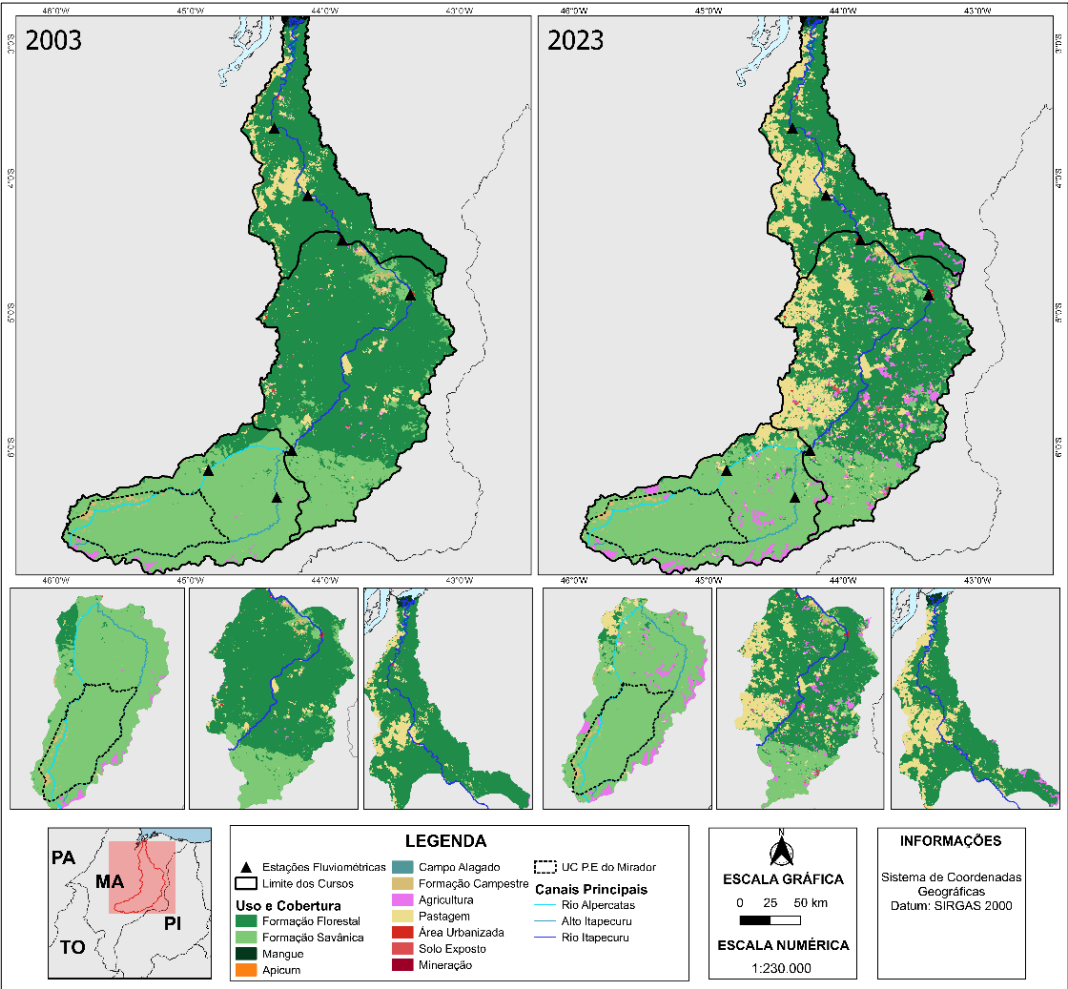
A análise estatística dos dados de qualidade da água foi realizada através da ANOVA e Kruskal-Wallis, utilizando-se o software PAleontological STatistics - Past versão 4.17. Nessa análise o valor $p < 0,05$ indica diferença significativa no aspecto temporal ou espacial da variável em análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

O rio Itapecuru apresenta 852,71 km de extensão ao longo do estado do Maranhão, formando uma rede de drenagem que compreende áreas dos biomas Cerrado e Amazônia, com a formação savânica restrita ao bioma Cerrado e a formação florestal ocorrendo em áreas dos dois biomas (figura 3). Originalmente, o bioma Cerrado situa-se no alto, médio e parte do baixo curso, sendo o bioma dominante na bacia hidrográfica. Já o bioma Amazônia, é observado especialmente, em parte do baixo curso. As classes formação campestre, campo alagado, mangue e apicum, se distribuem ao longo da bacia hidrográfica em meio aos dois biomas dominantes dessa região, definidas a partir de características peculiares às regiões estuarinas e a fatores climáticos, geomorfológicos e edáficos.

Figura 3 - Mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru nos anos de 2003 e 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

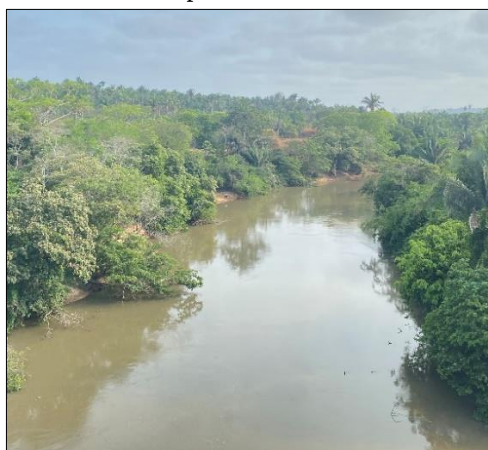
Após análise da distribuição das classes de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru (figura 3), verificou-se que dentre as classes que representam a cobertura natural da terra, a formação florestal apareceu como a classe predominante na bacia

hidrográfica, concentrando-se principalmente nos cursos médio e baixo, essa classe representou 53,21% da área total em 2003 e 40,82% em 2023 (tabela 1).

Já a formação savânica, apareceu ocupando área significativa com 32,47% em 2003 e 27,72% em 2023, especialmente no alto curso. Quanto à formação campestre, que compreendeu 1,76% em 2003 e 2,01% em 2023, essa classe se distribui sobretudo em meio as áreas de cerrado no alto curso dos rios Itapecuru e Alpercatas; as classes campo alagado, mangue e apicum ocupavam um percentual muito pequeno e apresentaram pequena variação entre os anos de 2003 e 2023.

Os mapas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru dos anos de 2003 e 2023 (figura 3), demonstraram o declínio acentuado das classes de uso e cobertura da terra que representam a vegetação nativa, principalmente a formação florestal (figura 4), e a formação savânica, que perderam respectivamente 12,39 e 4,75 pontos percentuais (pp); 23,28% e 14,62% ou 6.587,25 km² e 2.525,21 km².

Figura 4 - Vista parcial do rio Itapecuru, com destaque para a formação florestal no bioma Cerrado, no município de Caxias/MA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nos mapas dos setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observou-se que a diminuição da área com vegetação nativa ocorreu em todos os trechos da bacia, com maior redução da formação florestal nos cursos médio e baixo, e da formação savânica no alto curso.

O alto curso apresentou o maior percentual da área composta por classes que representam a vegetação nativa 84,4%, com a formação savânica ocupando o maior percentual 68,65% em 2023. Seguido pelo médio curso, com 67,53% da sua área ocupada por vegetação nativa, com a formação florestal como classe preponderante 49,25%, visto que, naturalmente, a formação savânica apresenta um padrão de redução à medida que se distancia da parte mais ao sul da bacia hidrográfica, local de domínio do cerrado e se aproxima da parte mais ao norte com maior influência do bioma Amazônia.

Já o baixo curso, apresentou o menor percentual de sua área representada pela vegetação nativa 62,89%, com a formação florestal representando 59,77% desse total (tabela 1), sendo o único trecho da bacia em que houve ocorrência das classes mangue e apicum, nas proximidades da foz do rio Itapecuru na baía do Arraial.

Essa perda de vegetação nativa verificada na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, é um recorte do que ocorreu no estado do Maranhão, onde entre os anos de 1985 e 2022 houve redução de 21% da área de vegetação nativa, que em 1985 representava 82% e, em 2022, correspondia a 61% da área total do estado (Projeto MapBiomass, 2022). Esse panorama pode comprometer a manutenção dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas aos usos múltiplos e contribuir para a instabilidade climática, pois com a redução da vegetação nativa se tem a perda da biodiversidade, dos serviços ecossistêmicos, especialmente os prestados pela vegetação.

Serviços ecossistêmicos são benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais (Brasil, 2021). Estes serviços proporcionados pelas florestas, contribuem para evitar a erosão dos solos provocada pela água, pelo vento ou por outros fenômenos, a redução do escoamento superficial e o aumento da infiltração da água (Fielder et al., 2008).

Tabela 1 - Classes de usos correspondentes a área ocupada em km² e percentual do total e dos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Bacia do rio Itapecuru	- área (km ² e %)		alto curso - área (km ² e %)		médio curso - área (km ² e %)		baixo curso - área (km ² e %)	
	2003	2023	2003	2023	2003	2023	2003	2023
Formação florestal	28.311,52 53,21%	21.724,27 40,82%	1.897,27 12,66%	1.620,65 10,81%	17.685,10 67,69%	12.867,35 49,25%	8.729,15 72,10%	7.236,27 59,77%
Formação savânica	17.279,82 32,47%	14.754,61 27,72%	11.701,10 78,07%	10.273,44 68,55%	5.353,41 20,49%	4.351,83 16,65%	225,31 1,86%	129,33 1,06%
Mangue	134,31 0,25%	135,99 0,25%	- -	- -	- -	- -	134,31 1,11%	135,99 1,12%
Apicum	0,39 0,00%	0,15 0,00%	- -	- -	- -	- -	0,39 0,00%	0,15 0,00%
Campo alagado	227,98 0,42%	229,05 0,43%	135,25 0,90%	140,60 0,94%	12,18 0,04%	13,79 0,05%	80,55 0,66%	74,66 0,61%
Formação campestre	939,23 1,76%	1.070,02 2,01%	644,56 4,30%	614,70 4,10%	255,43 0,86%	414,54 1,58%	39,24 0,32%	40,78 0,33 %
Pastagem	4.364,91 8,20 %	9.780,42 18,38%	187,44 1,25%	878,88 5,86%	1.846,85 7,07%	5.478,23 20,97%	2.330,62 19,25%	3.423,31 28,28%
Agricultura	1694,77 3,18%	5043,13 9,48 %	388,49 2,59%	1410,19 9,40%	847,27 3,24%	2700,65 10,33%	459,01 3,79%	932,29 7,70%
Área urbanizada	133,60 0,25%	181,58 0,34%	8,56 0,05%	13,00 0,08%	77,34 0,29%	104,50 0,40%	47,70 0,39%	64,08 0,52%
Solo exposto	40,72 0,07%	207,38 0,38%	22,63 0,15%	34,31 0,22%	16,70 0,06%	166,80 0,63%	1,37 0,01%	6,27 0,05 %
Mineração	7,67 0,01%	13,36 0,02%	- -	- -	6,08 0,02%	7,89 0,03%	1,59 0,01%	5,47 0,04%
Corpos d'água	81,92 0,15%	76,88 0,14%	0,92 0,00%	0,45 0,00%	24,20 0,09%	18,98 0,07%	56,80 0,46%	57,45 0,47 %
Total	53.216,84 100%	53.216,84 100%	14.986,22 100%	14.986,22 100%	26.124,56 100%	26.124,56 100%	12.106,04 100%	12.106,04 100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Dentre as classes de uso e cobertura da terra que caracterizam o uso alternativo do solo (antropização), a pastagem e a agricultura foram as que apresentaram maior avanço, verificado especialmente sobre as áreas da formação florestal e da formação savânica.

A pastagem (figura 5) representava 8,20% da área total da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em 2003, em 2023 alcançou 18,38%, correspondendo a um aumento de 10,18pp, aproximadamente 125% ou 5.415,21 km². Já a agricultura, apresentou percentual de avanço ainda maior, em 2003 ocupava 3,18% da área total da bacia, chegando a 9,48% em 2023, crescimento de 6,3pp, aproximadamente 200% ou 3.348,36 km² (tabela 01). Nesse mesmo período a formação florestal e a formação savânica tiveram respectivamente redução da área ocupada de 12,39 pp (6.587,25 km²) e 4,75pp (2.525,21 km²).

Figura 5 - Pastagem no baixo curso do rio Itapecuru, município de Pirapemas/MA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, o alto curso foi o que apresentou o menor percentual da área ocupada por classes que representam usos alternativos do solo (15,56%), seguido do médio curso (32,4%) e baixo curso, que apareceu com o maior percentual (36,64%). Esse quantitativo na área do alto curso, apesar de representar o menor percentual de usos alternativos do solo em relação aos demais trechos, demonstrou um avanço acelerado da área ocupada especialmente pela pastagem, tendo em vista que em 2003 essa classe ocupava 1,25% da área total desse trecho e em 2023 passou para 5,86%, correspondendo a um aumento de 368,8%. Enquanto que a agricultura, que em 2003 representava 2,56%, em 2023 alcançou 9,40%, resultando em um incremento de 267,18%. Esse resultado é um alerta, visto que, no alto curso tem uma unidade de conservação de proteção integral, o Parque Estadual do Mirador, instituído pelo Decreto nº 7641 de 04 de junho de 1980, que ocupa uma área representativa desse trecho da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, 501.204 hectares (figura 3), o qual foi criado para proteção das nascentes dos rios Alpercatas e Itapecuru (Maranhão, 1980).

Esse avanço, especialmente da agricultura, no bioma Cerrado na parte mais ao sul da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (alto curso), deve-se principalmente à expansão da

monocultura de soja sobre o cerrado da região do Matopiba (região que compreende Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Na região do Matopiba, a área de soja aumentou de 1 milhão para 3,4 milhões de hectares, com um crescimento de 253% entre 2000 e 2014. E a maior parte dessa expansão ocorreu sobre a vegetação nativa: (0,78 milhão de hectares) entre 2000 e 2007, e (1,3 milhão de hectares) no período seguinte, entre 2007 e 2014, principalmente no Maranhão e no Piauí, indicando a atual fronteira agrícola no bioma (Filho; Costa, 2016). Nos últimos anos no Brasil, o bioma Cerrado tem enfrentado graves problemas ambientais, devido às mudanças abruptas no uso e cobertura da terra em decorrência da agropecuária, causando aumento do desmatamento, perda de solo, produção de sedimentos e turbidez na água (Cunha et al., 2022).

No médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, dentre as classes que representam uso alternativo do solo, a pastagem e a agricultura também foram as mais representativas, a pastagem ocupava em 2003 um total de 7,07%, avançando em 2023 para 20,97%, representando um incremento de 196,60%. Já a agricultura, que compreendia em 2003, 3,24% da área total desse trecho, em 2023 passou a compreender 10,33%, aumentando sua área ocupada em 218,82%. Enquanto que no baixo curso, o trecho da bacia com maior percentual de áreas antropizadas, a pastagem representava 19,25% da área total em 2003 e em 2023 alcançou 28,28%, acréscimo de 46,90%, quanto à agricultura, em 2003 representava 3,79% e em 2023 avançou para 7,70%, representando um aumento de 103,16%. Esses resultados demonstram a existência de um padrão espacial na dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica, o alto curso apareceu como trecho com menor proporção de alteração na paisagem natural (15,56%), no entanto, foi nesse setor fluvial que se observou entre 2003 e 2023 o avanço mais acelerado dos dois principais tensores ambientais, pastagem com 368,8% e agricultura com 267,18%.

Nos cursos médio e baixo, que apresentaram grande proporção de suas áreas totais com alteração na paisagem natural, ambas acima de 30%, percebeu-se um crescimento menor desses tensores ambientais, a pastagem teve avanço de 196,60% no médio e 46,90% no baixo curso e a agricultura 218,82% no médio e 103,16% no baixo curso. A partir desses resultados, observa-se que a antropização na bacia hidrográfica do rio Itapecuru se processa em um ritmo acelerado sobre a formação savânica no bioma Cerrado no alto curso, e vai desacelerando do médio para o baixo curso em áreas de formação florestal nos biomas Cerrado e Amazônia.

Esse padrão ratifica a pastagem e a agricultura como os grandes tensores ambientais nessa bacia hidrográfica e demonstra o impacto com que áreas de vegetação nativa foram antropizadas e convertidas em atividades agropecuárias, que estão associadas a uma série de problemas ambientais, uma vez que são precedidas pela supressão da vegetação, culminando

na perda dos seus serviços ecossistêmicos, especialmente a captação de CO₂ e a manutenção da quantidade e qualidade da água dos corpos hídricos.

O avanço da agropecuária sobre os biomas brasileiros, sobretudo o cerrado nordestino, tem promovido uma descaracterização ambiental resultante de processos associados à supressão da cobertura vegetal, como o aumento das taxas de erosão dos solos, assoreamento dos corpos hídricos e alteração do regime hidrológico dos rios (Pereira; Morais, 2022). Além disso, as bacias hidrográficas com predomínio de atividades agrícolas, sofrem impactos negativos e significativos, como: maiores concentrações de sólidos totais, turbidez, sólidos suspensos e nutrientes, alterando a qualidade da água e o equilíbrio ecológico (Costa et al., 2024).

O aumento progressivo das áreas de pastagem e de agricultura na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, também foi identificado na pesquisa realizada na referida bacia hidrográfica entre 1990 e 2016 por Masullo et al. (2019), na qual constataram, que por ano, cerca de 535 km² ou 53,5 mil hectares, são convertidas em pastagem ou áreas destinadas à agricultura. Essa realidade detectada na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, se observa em todo o Brasil, com a agropecuária sendo o principal vetor de pressão sobre a cobertura natural da terra, responsável por mais de 97% da perda de vegetação nativa nos últimos cinco anos (Marques et al., 2024).

Outro vetor de pressão sobre a cobertura natural da terra é a área urbanizada, que apesar de não ter grande representatividade em relação ao total da área da bacia hidrográfica do rio Itapecuru e dos seus trechos, apresentou significativo avanço, visto que em 2003 ocupava 0,25% e em 2023, 0,34% do total da área da bacia hidrográfica. Esse mesmo padrão de aumento foi observado nos setores fluviais, onde no alto curso houve um aumento de 0,39% (2003) para 0,52% (2023), no médio curso de 0,29% (2003) para 0,40% (2023) e no baixo curso de 0,05% (2003) para 0,08% (2023). Apesar dos baixos percentuais, o impacto das áreas urbanizadas é fortemente associado a fatores que degradam a qualidade da água, dentre todos os tipos de uso da terra, é um dos que representa maior risco para a qualidade da água, pois apresenta grande antropização do espaço natural.

A intensificação da urbanização causa muitos impactos nas bacias hidrográficas, dentre os quais destacam-se, aumento médio das vazões de cheia, devido a maior capacidade de escoamento, por meio dos condutos e canais de impermeabilização das superfícies; aumento da erosão do solo e da produção de sedimentos em função da falta da cobertura vegetal; deterioração da qualidade da água superficial, devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido, disposição de esgotos e redução da infiltração do solo (Tucci; Mendes, 2006).

As classes solo exposto e mineração ocupavam um percentual muito pequeno e apresentaram variação relativamente pequena entre os anos de 2003 e 2023.

Diante de tantos fatos, entende-se que a conversão da vegetação nativa em usos alternativos do solo, compromete a qualidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, alterando os ecossistemas terrestres e aquáticos, com reverberações na saúde, segurança e bem-estar da população, no desenvolvimento de atividades sociais e econômicas e na biodiversidade.

A substituição da vegetação nativa por áreas antropizadas, em muitos casos não respeitam nem mesmo as áreas protegidas, as quais tem sua integridade e preservação asseguradas por dispositivos legais contemplados no arcabouço legal ambiental do país. Os empreendimentos, especialmente ligados ao agronegócio, frequentemente afetam unidades de conservação da natureza, podendo ocasionar impactos ambientais de grande magnitude (Almeida et al., 2023). Como observado no Parque Estadual do Mirador, com o avanço da agricultura nas áreas próximas aos limites do parque (zona de amortecimento) e até mesmo dentro dessa unidade de conservação.

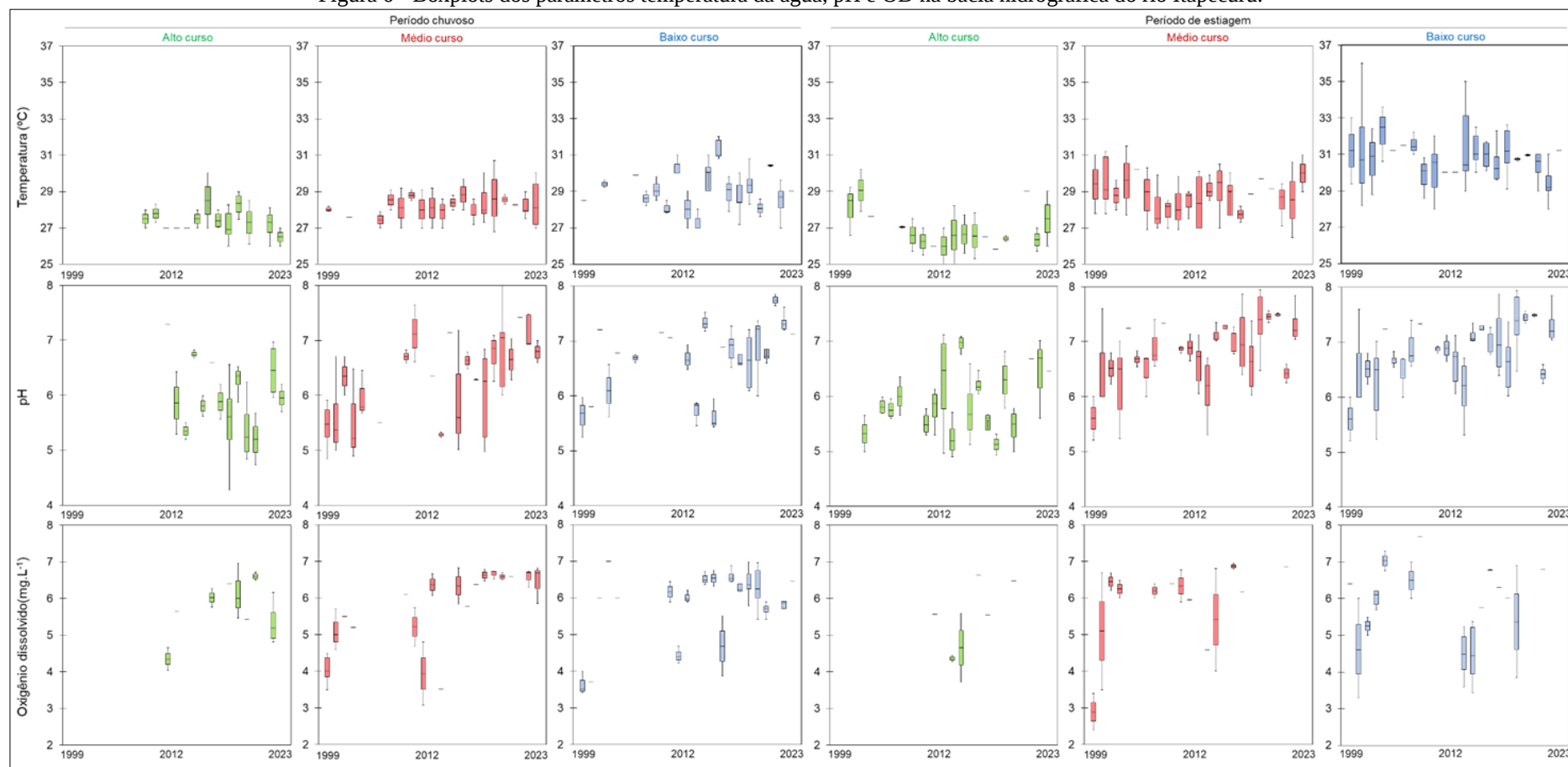
Esses processos antropogênicos que levaram a perda de biodiversidade vegetal através do desmatamento, desencadeados em função de usos alternativos do solo, afetam a estabilidade ecológica, a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, tendo impacto na oferta de serviços ecossistêmicos (Külling et al., 2024). Essa perda de vegetação influencia na quantidade dos recursos hídricos, a partir de interrupções no ciclo da água, pois a água armazenada como umidade do solo e na vegetação, que retorna ao ar por meio da evaporação e transpiração, chamada água verde, é responsável por gerar grande parte da precipitação (Global Commission on the Economics of Water – GCEW, 2024). E na qualidade da água a partir do desencadeamento de processos erosivos, aumento do escoamento superficial e subsuperficial e do maior aporte de sedimentos e nutrientes (Silva et al., 2018).

Assim, na iminência do fim da agenda 2030, balizada no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, verifica-se a necessidade de mudança de paradigma no modo de produção econômica, em que se supere a economia linear e se adentre de vez em uma economia circular e regenerativa; nesse contexto, o panorama do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru requer atenção e uma gestão territorial que compatibilize de forma equilibrada e ambientalmente sustentável, o desenvolvimento econômico e a preservação dos recursos ambientais, em especial os recursos hídricos.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU E SUA RELAÇÃO COM O USO E COBERTURA DA TERRA

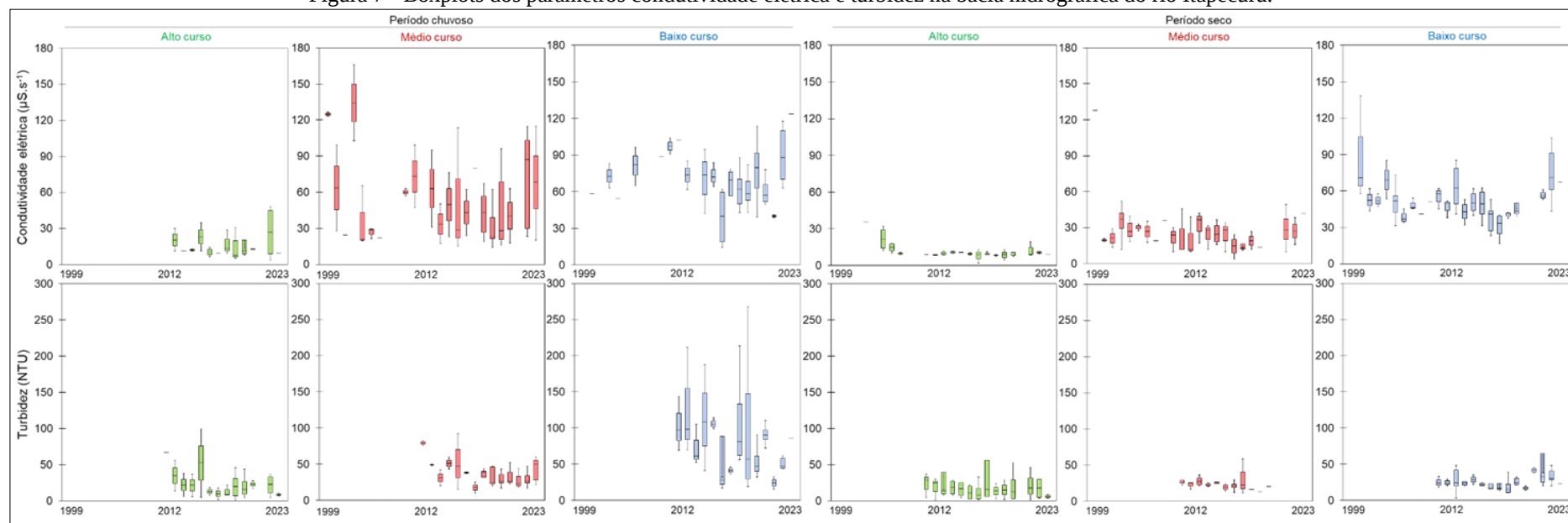
Na perspectiva de identificar tendências da influência do uso e cobertura da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, fez-se um levantamento da série histórica dos dados de qualidade da água oriundos das estações fluviométricas alocadas nos rios Alpercatas e Itapecuru (figuras 6 e 7) e a análise estatística univariada dos referidos dados (tabelas 2 e 3).

Figura 6 - Boxplots dos parâmetros temperatura da água, pH e OD na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 7 - Boxplots dos parâmetros condutividade elétrica e turbidez na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A temperatura superficial da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru variou de 25°C a 36°C (figura 6), sendo observado um claro padrão espacial em todos os períodos sazonais, com as menores temperaturas da água verificadas no alto curso (média de 28,5°C) e as maiores no baixo curso (média de 30,5°C), padrão confirmado pelos níveis de significância de $p < 0,05$ (tabela 2). Podendo ser explicado pela maior concentração de vegetação nativa e maior densidade da mata ciliar no alto curso e maior antropização nos cursos médio e baixo. As florestas ciliares são essenciais para a proteção da qualidade das águas dos rios e, pelo efeito de sombreamento, que interceptam e absorvem a radiação solar, contribuem para a estabilidade térmica, evitando excessivos aquecimentos diurnos e resfriamentos noturnos (Fritzsos et al., 2005). Também foi possível identificar uma variação temporal da temperatura da água, com valores maiores no período chuvoso e menores no período de estiagem no alto curso; nos cursos médio e baixo, observou-se valores maiores no período de estiagem e menores no período chuvoso. Não foi verificada variação significativa entre as décadas 2003/2013 e 2014/2023 em nenhum dos trechos da bacia hidrográfica (tabela 3). O regime térmico dos rios é altamente influenciado pelas condições meteorológicas e fluviais, bem como pela sua localização geográfica, assim, rios localizados em áreas de climas tropicais, tendem a apresentarem temperaturas da água mais elevadas nos períodos mais quentes do ano (Silva, 2023).

Tabela 2 – Padrão espacial das variáveis de qualidade da água nos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre 2003 e 2023.

Var	Espacial											
	2003-2013						2014-2023					
	Variação espacial no período chuvoso			Variação espacial no período de estiagem			Variação espacial no período chuvoso			Variação espacial no período de estiagem		
	Hc	p-valor	Padrão	Hc	p-valor	Padrão	Hc	p-valor	Padrão	Hc	p-valor	Padrão
Temp	13,43	0,0012	>B/<A	40,73	0,0000	>B/<A	40,97	0,0000	>B/<A	46,48	0,0000	>B/<A
Ph	3,997	0,1355	NS	21,43	0,0000	>B/<A	27,85	0,0000	>B/<A	38,61	0,0000	>B/<A
OD	3,688	0,1582	NS	3,41	0,1818	NS	9,131	0,0104	>M/<A	2,601	0,2724	NS
Cond	20,16	0,0000	>B/<A	70,70	0,0000	>B/<A	47,09	0,0000	>B/<A	58,44	0,0000	>B/<A
Turb	13,43	0,0012	>B/<A	3,00	0,2232	NS	42,46	0,0000	>B/<A	10,13	0,0063	>B/<A

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Nota: Var-variáveis; temp-temperatura; pH- potencial hidrogeniônico; OD-oxigênio dissolvido; cond- condutividade elétrica; turb-turbidez; A-alto; M-médio; B-baixo; NS-não significativo

Tabela 3 – Padrão temporal (sazonal e entre décadas) das variáveis de qualidade da água nos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre 2003 e 2023.

Curso	Var	Temporal								
		Sazonal (chuvoso e estiagem 2003-2013)			Sazonal (chuvoso e estiagem 2014-2023)			Decadal (2003 a 2023)		
		Hc	<i>p-valor</i>	Padrão	Hc	<i>p-valor</i>	Padrão	Hc	<i>p-valor</i>	Padrão
A	Temp	0,25	0,6146	NS	4,14	0,0419	>chuv	0,01	0,9076	NS
	Ph	0,34	0,5580	NS	0,22	0,6404	NS	0,00	0,9872	NS
	OD	0,20	0,6547	NS	0,89	0,3460	NS	7,94	0,0048	>2023
	Cond	1,42	0,2335	NS	3,47	0,0623	NS	1,89	0,1696	NS
	Turb	1,32	0,2502	NS	0,82	0,3662	NS	2,21	0,1369	NS
M	Temp	1,79	0,1809	NS	4,43	0,0354	>esti	0,06	0,8007	NS
	pH	0,43	0,5128	NS	2,04	0,1529	NS	2,14	0,1439	NS
	OD	1,57	0,2107	NS	2,67	0,1025	NS	11,71	0,0006	>2023
	Cond	5,76	0,0164	>chuv	13,15	0,0003	>chuv	0,21	0,6503	NS
	Turb	10,63	0,0011	>chuv	11,38	0,0007	>chuv	0,72	0,3948	NS
B	Temp	16,53	0,0000	>esti	30,20	0,0000	>esti	0,97	0,3254	NS
	Ph	0,00	0,9916	NS	4,08	0,0435	>esti	7,40	0,0065	>2023
	OD	1,71	0,1913	NS	0,46	0,4958	NS	7,52	0,0061	>2023
	Cond	18,65	0,0000	>chuv	13,28	0,0003	>chuv	0,45	0,5004	NS
	Turb	21,76	0,0000	>chuv	30,77	0,0000	>chuv	0,01	0,9122	NS

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Nota: Var-variáveis; A-alto; M-médio; B-baixo; temp-temperatura; pH- potencial hidrogeniônico; OD-oxigênio dissolvido; cond-condutividade elétrica; turb-turbidez; chuv-chuvoso; esti-estiagem; NS-não significativo

O pH apresentou padrão espacial significativo, com os maiores valores (variando de 5 a 8) nos cursos médio e baixo, e os menores (variando de 5 a 7), no alto curso, situação validada pelos níveis de significância de $p < 0,05$. Indicando valores maiores do pH no baixo curso e menores no alto curso no período chuvoso na década 2003-2013, e maiores no baixo curso e menores no alto curso nos períodos chuvoso e de estiagem na década 2014-2023 (tabela 2). Não foi verificado um padrão sazonal para o alto e médio curso, já no baixo curso, observou-se valores maiores do pH no período de estiagem na década 2014-2023 e valores mais elevados na década de 2014/2023 em relação à década 2003-2013 (tabela 3). Caracterizando uma elevação progressiva no valor do pH ao longo da série histórica, especialmente no baixo curso, o que pode estar relacionado a mudança no uso e cobertura da terra nesse trecho da bacia

hidrográfica, que apresenta a maior proporção de classes que representam usos alternativos do solo (36,64% do total de sua área), o que pode proporcionar um maior aporte de solo e sedimentos nos corpos d'água nesse trecho, especialmente de íons carbonatos, que contribuem para o aumento da alcalinidade da água ao longo do tempo (Baird; Cann, 2011). A Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, define que as águas enquadradas na classe 2, devem apresentar pH entre 6 e 9.

Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), não foi observado um padrão espacial significativo (tabela 2), mas no período chuvoso da década de 2014/2023, os valores do OD foram maiores no médio e menores no alto curso. Em relação ao aspecto temporal, não foi verificado um padrão sazonal significativo, contudo, na década de 2014/2023 foram verificados valores de OD mais elevados em relação a década de 2003/2013 em todos os trechos da bacia hidrográfica (tabela 3). As concentrações dessa variável variaram de 3,0 mg/L a 7,0 mg/L. De acordo com a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, Art. 15, VI, para águas doces de classe 2, a concentração de OD, em qualquer amostra, não pode ser inferior a 5,0 mg/L oxigênio dissolvido.

ANA (2017), destaca como causas das perdas de oxigênio dissolvido, dentre outras, o consumo pela decomposição de matéria orgânica. Nesse sentido a elevação dos valores de OD na última década da série histórica, pode estar relacionada em alguma medida a melhoria do saneamento básico das cidades instaladas às margens do rio Itapecuru. Segundo IBGE (2010; 2022), essas cidades apresentaram aumento nos percentuais de domicílios com esgotamento sanitário adequado entre 2010 e 2022, principalmente Caxias (156.973 hab.) e Codó (114.275 hab.) as duas cidades mais populosas, que se encontram nos cursos médio e baixo respectivamente.

A condutividade elétrica apresentou um padrão espacial muito significativo em todos os períodos sazonais, com as menores concentrações sendo observadas no alto curso e as maiores no baixo curso, padrão confirmado pelos níveis de significância de $p < 0,05$ (tabela 2). Esse padrão espacial pode ser explicado pela proporção de classes de uso e cobertura da terra que representam vegetação nativa e usos alternativos do solo que cada trecho apresenta, o alto curso possui mais vegetação nativa (84,4% da área total) e os cursos médio e baixo possuem mais usos alternativos do solo, principalmente pastagem e agricultura (32,4% e 36,64% respectivamente). Quanto ao padrão temporal, o alto curso não apresentou variação sazonal significativa, já os cursos médio e baixo, apresentaram variação sazonal relevante, com as maiores concentrações verificadas no período chuvoso. Não foi observado variação considerável nas concentrações dessa variável entre as décadas de 2002/2013 e 2014/2023 em

nenhum dos trechos da bacia hidrográfica (tabela 3). O padrão sazonal pode estar relacionado a elevada precipitação pluviométrica durante o período chuvoso, com aumento do escoamento superficial e do aporte de sedimentos e poluentes nos corpos d'água, situação agravada em áreas com perda da cobertura vegetal natural.

O uso e cobertura da terra tem relação direta com as variações espaciais e temporais das concentrações de condutividade elétrica na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Especialmente a vegetação nativa, que tem importância singular na proteção dos recursos hídricos, por contribuir para redução do escoamento superficial e contenção de processos erosivos nas encostas, ou ainda por proteger os corpos d'água com a vegetação de áreas ripárias (Tambosi et al., 2015). Segundo Esteves (2011), os íons que mais contribuem para elevação dos valores da condutividade elétrica em águas interiores são cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato e cloreto. Esses íons estão presentes em solos e rochas, sendo carregados para os corpos d'água através do escoamento superficial. As alterações causadas pelas atividades humanas potencializam processos erosivos, e o aumento está diretamente relacionado ao aporte de partículas de solo nos corpos d'água da bacia de drenagem no baixo curso do rio Itapecuru (Soares et al., 2022). O aumento nos valores da condutividade elétrica em rios que cortam áreas urbanizadas, mantém uma relação clara com o aporte de poluentes oriundos de esgotos não tratados (Arcos; Cunha, 2021).

A turbidez apresentou padrão espacial significativo, caracterizados principalmente por valores de turbidez menores no alto curso e maiores no baixo curso, situação validada pelos níveis de significância de $p < 0,05$, demonstrando maior turbidez no baixo e menor no alto curso no período chuvoso na década 2003-2013 e nos períodos chuvoso e de estiagem na década 2014-2023 (tabela 2). Com relação ao padrão temporal, o alto curso não apresentou variação sazonal considerável, já os cursos médio e baixo apresentaram variação significativa, e as maiores concentrações dessa variável foram verificadas no período chuvoso. Não foi observado variação relevante nos valores dessa variável entre as décadas de 2002/2013 e 2014/2023 em nenhum dos trechos da bacia hidrográfica (tabela 3). Esses padrões podem estar associados ao uso e cobertura da terra verificado na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, em que os cursos superiores apresentaram maiores concentrações de vegetação nativa e menor quantidade de cidades em relação ao curso inferior, e ao aumento do escoamento superficial, do aporte de sedimentos e poluentes nos corpos d'água durante o período chuvoso. Os processos erosivos superficiais, são controlados pela duração e intensidade da precipitação, capacidade de infiltração e natureza das partículas, topografia, tipo e densidade da cobertura vegetal e uso do solo (Stevaux; Latrubesse, 2017). Em estudo realizado no baixo curso do rio Itapecuru, Martins

et al. (2022), verificaram que no período chuvoso houve aumento nos valores da turbidez, associando essa elevação ao aumento do escoamento superficial e da descarga de esgoto, com consequente carreamento de sedimentos, nutrientes e poluentes para o corpo hídrico.

Apesar da turbidez da água apresentar os maiores valores no período chuvoso, os valores observados ao longo da série histórica no alto e médio curso estiveram quase sempre abaixo de 100 UNT. Já no baixo curso, a maioria dos valores de turbidez estiveram acima de 100 UNT. A Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, Art. 15, V, define que para águas doces classe 2, os valores de turbidez, não podem ser superiores a 100 UNT (Brasil, 2005).

Os resultados da pesquisa indicaram que o alto curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresentou qualidade da água melhor e o baixo curso qualidade pior. Essa situação leva ao entendimento de que pode haver uma relação entre a alteração da cobertura natural da terra e a degradação da qualidade da água, haja vista, que no trecho com menor alteração na cobertura natural da terra (alto curso) foi verificada uma melhor qualidade da água e no trecho com maior alteração na cobertura natural da terra (baixo curso) verificou-se maior degradação da qualidade da água.

A relação entre a mudança no uso e cobertura da terra e a degradação da qualidade da água, também foi analisada em outros trabalhos realizados na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Com destaque ao realizado no alto e médio curso do rio Itapecuru por Pereira; Moraes (2022), no qual constataram que os altos valores de turbidez e condutividade elétrica, impactaram na qualidade da água, e que a elevação dos valores dessas variáveis está associada à diminuição da cobertura vegetal e aumento do assoreamento, com essas variáveis apresentando concentrações menores no alto e maiores no médio curso. E ao trabalho realizado no baixo curso do rio Itapecuru por Soares et al. (2022), que detectaram concentrações elevadas em algumas variáveis de qualidade da água como, sólidos totais em suspensão, transparência, turbidez e ferro total, indicando que a qualidade da água foi influenciada por processos erosivos.

O avanço das áreas urbanizadas, a exemplo do aumento das áreas de pastagem e de agricultura, que culminou na perda de vegetação nativa, é um outro fator que agrava a mudança no uso e cobertura da terra e a degradação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente em seu baixo curso, visto que de um total de onze cidades que o rio Itapecuru atravessa a zona urbanizada, oito estão inseridas nesse trecho, as quais em geral apresentam serviços de saneamento básico e gestão territorial deficientes (figura 8).

Figura 08 - Ocupação das margens do Rio Itapecuru, município de Itapecuru-Mirim - MA



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O impacto das áreas urbanizadas na qualidade da água do rio Itapecuru ocorre em função da falta ou ineficiência de políticas urbanas, de planejamento ambiental e da ausência ou limitação do sistema de coleta e tratamento de esgoto. A disposição de esgoto sem tratamento está relacionada à degradação da qualidade da água no baixo curso do rio Itapecuru, especialmente pelas elevadas concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo total, que são ocasionadas pelo lançamento de esgoto doméstico *in natura*, em cidades que margeiam o rio Itapecuru (Soares et al., 2016; Martins et al., 2022; Martins et al., 2023).

Demonstrando a necessidade da implementação de uma governança e gestão da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que seja integrada e possa alinhar instituições, políticas, normas, estratégias e ações de gestão de recursos hídricos, com os demais setores e instituições que gerenciam outros recursos ambientais, em especial as ligadas ao uso e ocupação do solo e ao saneamento básico. Nesse contexto, Silva et al. (2019), destacam que a governança e gestão das águas deve passar por uma abordagem sistêmica complexa e interdisciplinar, uma vez que envolve a correlação dos recursos hídricos, com os outros elementos e processos que compõem as paisagens, seja em seus aspectos naturais ou culturais.

Verificada a relação da degradação da qualidade da água com as classes que caracterizam alteração da cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru especialmente pastagem, agricultura e área urbanizada, entende-se que se faz necessário uma mudança na forma de utilização dos recursos ambientais no território da bacia hidrográfica, pautada pelo planejamento do uso do solo, de modo a compatibilizar o avanço das atividades econômicas, sobretudo o agronegócio, com a preservação da vegetação nativa e dos recursos hídricos, vislumbrando um desenvolvimento sustentável, e o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, sobretudo: 2-fome zero e agricultura sustentável, 6-água potável e saneamento, 13-ação contra mudança global do clima, 14-vida na água, 15-vida terrestre.

4 CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru passa por um processo contínuo e acentuado de mudança no uso e cobertura da terra, com uma progressiva substituição da cobertura natural por usos alternativos do solo, que redundaram em uma redução expressiva da área ocupada pela vegetação nativa (23,28% de formação florestal e 14,62% de formação savânica), que foi ocupada em sua grande maioria por pastagem, agricultura e urbanização. Gerando impactos diretos e negativos na qualidade da água dos corpos hídricos da bacia hidrográfica, com destaque ao rio Itapecuru, que apresentou perda progressiva da qualidade da água ao longo dos seus trechos.

A perda de qualidade da água do rio Itapecuru foi detectada especialmente nos cursos médio e baixo, a partir do aumento progressivo do pH e dos elevados valores de condutividade elétrica e turbidez verificados, sobretudo no período chuvoso, como consequência da alteração da cobertura da terra, caracterizada pela substituição da vegetação nativa por usos alternativos do solo, resultando no maior aporte de sedimentos, nutrientes e poluentes no curso d'água.

Nesse contexto, acredita-se que os resultados dessa pesquisa poderão ser utilizados como uma importante ferramenta para tomada de decisão, pelas organizações ligadas à gestão da água e ordenamento territorial, gestores públicos e comitê da bacia hidrográfica, de modo a nortear o planejamento da gestão e governança da água no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Fomentando o diálogo entre os tomadores de decisão, usuários da água e a sociedade em geral, para se alcançar a boa governança hídrica e uma gestão descentralizada da água, e recuperar a qualidade ambiental dessa bacia hidrográfica, especialmente a qualidade da água do rio Itapecuru, que é essencial a uma série de usos da água e de relevância estratégica para o desenvolvimento de atividades sociais e econômicas em uma região significativa do estado do Maranhão, a qual inclui a cidade de São Luís, capital do estado.

E que assim, se possa implementar uma gestão integrada, envolvendo sinergicamente todos os entes federados, a partir do zoneamento ecológico econômico – ZEE, da gestão urbana com a implementação do plano diretor e do zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano; da gestão ambiental com foco na preservação da vegetação nativa, respaldada na Lei nº 12.651/2012 que instituiu o Novo Código Florestal, Política Nacional da Biodiversidade instituída pelo Decreto nº 4339/2002 e demais dispositivos legais pertinentes; dos recursos hídricos pautado na Lei nº 9433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 8.149 de 15 de junho de 2004 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos; além do saneamento básico a partir da aplicação das Leis 11.445/2007, 12.305/2010 e 14.026/2020 que dispõem sobre a temática em todas as escalas.

REFERÊNCIAS

- AFUYE, G. A.; KALUMBA, A. M.; ORIMOLOYE, I. R. **Characterisation of vegetation response to climate change: A review**. Journal Sustainability, v. 13, n. 13, 2021. Doi:<https://doi.org/10.3390/su13137265>
- AGBENORHEVI, A. E. et al. **Analyzing land use and land cover change in the Pra River Basin: A multi-tool approach for informed decision-making**. Journal Environmental Challenges. v.15, p.100-922, 2024. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100922>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2017. Brasília: ANA, 2017. 177 p.
- ALCÂNTARA, E. H. de. **Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão - Brasil**. Revista Caminhos de Geografia, v. 5, n. 11, p. 97–113, 2004. Doi:<http://dx.doi.org/10.14393/RCG51115328>
- ALMEIDA, F. S. de. et al. **Impactos Ambientais Causados por Empreendimentos em Unidades de Conservação da Natureza na Região Sudeste do Brasil**. Revista biodiversidade brasileira, v.13, n.3, 1-21p, 2023. Doi: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v13i3.2305>
- ARCOS, A. N.; CUNHA, H. B. da. **Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira**. Revista caminhos da geografia, v.22, n.80, p.01-14, 2021. Doi: <http://doi.org/10.14393/RCG228053079>
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 4ºed, 2011. 844p.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2024.
- BRASIL. Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021. **Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114119.htm. Acesso em: 21 de maio de 2024.
- BUENO, L. f.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. **Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde - Conchal – SP**. Revista Engenharia Agrícola, v.25, n.3, p.742-748, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/m3yHLVvqhtN7N4FtqCRcVRB/?format=pdf>
- COSTA, C. W. et al. **Impactos das atividades antrópicas em bacia hidrográfica periurbana verificados por meio de indicador ambiental–Extremoz/RN**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.17, n.4, p.3022-3036, 2024. Disponível:<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259970/47352>

CUNHA, E.R.D. et al. **Assessment of current and future land use/cover changes in soil erosion in the Rio da Prata basin (Brazil)**. Journal Science of the Total Environment, v. 818, p. 151-811, 2022. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151811>

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIELDER, N. C.; SOARES, T. S.; SILVA, G. F. da. **Produtos florestais não madeireiros: importância e manejo sustentável da floresta**. Revista ciências exatas e naturais, v.10, n.2, p. 263-278, 2008. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/712/885>

FILHO, A. C.; COSTA, K. **A expansão da soja no cerrado Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável**. São Paulo, Agroicone- INPUT, 2016. 30 p.

FRITZSONS, E. et al. **A influência da floresta ciliar sobre a temperatura das águas do rio Capivari, região cárstica curitibana**. Revista floresta, v.35, n.3, 2005. Doi:[10.5380/rf.v35i3.5195](https://doi.org/10.5380/rf.v35i3.5195)

GLOBAL COMMISSION ON THE ECONOMICS OF WATER – GCEW. **The economics of water: valuing the hydrological cycle as a global common good**. 223p. 2024. Disponível em: <https://economicsofwater.watercommission.org/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Zoneamento geoambiental do estado do – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial**. Diretoria de Geociência, Divisão de Geociências da Bahia. Salvador: IBGE, 1997.44 p.

Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial. Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

Manuais Técnicos em Geociências: manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro, 3ª edição, 2013,171 p.

Cidades e Estados do Brasil. Rio de Janeiro, 2010, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em: 06 de junho de 2025 e 15 de dezembro de 2025.

KRUSCHE, A. V. et al. **Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia**. Revista Acta Amazonica, v.35, n.2, p.197-205, 2005. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672005000200009>

KÜLLING, N. et al. **Nature's contributions to people and biodiversity mapping in Switzerland: spatial patterns and environmental drivers**. Journal Ecological Indicators, v. 163, 2024. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112079>

MARANHÃO. **Decreto-Lei nº 7641 de 4 de junho de 1980**. Diário oficial do estado do Maranhão, Poder Executivo, São Luís, MA.

MARQUES, C. et al. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023 (RAD2023)**. São Paulo, Brasil - MapBiomas, 2024. 154 p. Doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21184.14087>

MARTINS, R. A. et al. **Assessment of surface water quality of the lower course of the Itapecuru river basin, Maranhão state, Brazil**. Journal applied ecology and environmental research, v. 20, n.6, 5381-5396p. 2022. Doi: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2006_53815396

MARTINS, R. A. et al. **Qualidade da água do baixo curso do rio itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos**. Revista Foco, v.16, n.9, 01-22p. 2023. Doi:<http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v16n9-111>

MARTINS, R.A; LOURENÇO, C.B; SOARES, L.S. **Água, de usos a conflitos: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão**. Revista sapiência, v.14, n.04, p.377-402, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31668/d7d6hs13>

MASULLO, Y. A. G.; SOARES, L. S. **Análise espacial da dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Itapecuru, MA**. In: MASULLO, Y. A. G.; SOARES, L. S. (org.). Mais Itapecuru: subsídios ao planejamento e a gestão de recursos hídricos. São Luís, São Luís, IMESC, 2019. 264p.

MASULLO, Y. A. et al. **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA**. Revista brasileira de geografia física, v.12, n.03 p.1054-1073, 2019. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1054-1073>

NGUYEN, T. T. et al. **Security risks from climate change and environmental degradation: Implications for sustainable land use transformation in the Global South**. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 63, p. 101-322, 2023. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101322>

NUGEO - Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão**. Relatório Técnico. 2016. 166 p.

PEREIRA, P. B.; MORAIS, R. C. de S. **Impactos das mudanças de uso e cobertura das terras sobre parâmetros hidrológicos do alto e médio curso do rio Itapecuru, Nordeste do Brasil**. Revista Equador, v.11, n.1, p.55-71, 2022. Doi: <https://doi.org/10.26694/equador.v11i1.13354>

PROJETO MAPBIOMAS - **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022**. Coleção 8. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download-dos-atbdsaib> Acesso em: 20 de fevereiro de 2025.

SEABRA, V. da S.; CRUZ, C. M. **Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João, RJ**. Revista Sociedade. & Natureza, v.25 n.2, p.411-426, 2013. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321328750015>

SILVA, C. G. de M. **Modelo para determinação da temperatura de água em rios**. Engineering & technology scientific jornal, v.1, n.1, 2023. Doi:<http://dx.doi.org/10.55977/etsjournal.v01i01.e023008>

SILVA, E. V. da. et al. **Planejamento, governança e gestão de recursos hídricos**. In: MASULLO, Y. A. G., SOARES, L. S. (org.). Mais Itapecuru: subsídios ao planejamento e a gestão de recursos hídricos. São Luís, São Luís, IMESC, 2019. 264p.

SILVA, J. L. C. et al. **Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil**. Revista gestão e sustentabilidade ambiental, v. 7, n. 2, p.180-191, 2018.
Doi:<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>

SILVA, Q. D. et al. **Uso e cobertura da terra médio curso da bacia do rio Itapecuru**. Revista Research, Society and Development, v. 11, n. 8, 2022. Doi:
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.29610>

SOARES, L. S. et al. **Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil**. Revista Espacios, v.37, n.14, p.6-18, 2016. Disponível em:https://www.revistaespacios.com/a16v37n14/16371406.html?utm_source

SOARES, L. S. et al. **Space-temporal analysis of physico-chemical and biological variables of water quality in the itapecuru river, northeastern atlantic hydrographic region, brazil**. Journal caderno prudentino de geografia, v.2, n.44, p.35-56, 2022. Disponível em:<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9181/6539>

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo, Oficina de textos, 2017. 336p.

TAMBOSI, L. R. et al. **Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal**. Revista estudos avançados, v.29, n.84, p.151-162, 2015.
Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000200010>

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental – Brasília: MMA, 2006, p.302.

WINKLER, K. et al. **As mudanças globais no uso da terra são quatro vezes maiores do que as estimadas anteriormente**. Revista Comunicação da natureza, v. 12, n. 1, 2021.
Doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

WITJES, M.; HEROLD, M.; DE BRUIN, S. **Iterative mapping of probabilities: A data fusion framework for generating accurate land cover maps that match area statistics**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. V.131, p.102-932, 2024. Doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.10641340>

CAPÍTULO II

APLICAÇÃO DE ÍNDICES COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA TROPICAL NA INTERFACE DOS BIOMAS CERRADO E AMAZÔNIA

RESUMO

O monitoramento da qualidade da água é essencial para assegurar os usos possíveis com segurança adequada e subsidiar ações de gestão e governança da água. O objetivo desse trabalho foi mensurar a condição de qualidade da água com aplicação de índices em corpos hídricos nos setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Utilizou-se variáveis ambientais que foram submetidas a análise estatística univariada e multivariada e os Índices de Qualidade da Água IQA-NSF e IQA-CCME e os Índices de Estado Trófico – IET e TRIX. Os resultados demonstram a existência de um forte padrão espacial na qualidade da água, todos os índices indicaram que o alto curso apresenta melhor condição de qualidade da água, enquanto o baixo curso apresenta condição pior. A sazonalidade teve um forte efeito na variabilidade das condições de qualidade de água, com o IQA-NSF demarcando uma qualidade melhor no período de estiagem, o IET apontando uma qualidade melhor no período chuvoso em todos os trechos da bacia hidrográfica e o TRIX indicando qualidade da água melhor no período de estiagem no alto e médio curso. Os parâmetros de fósforo total e coliformes termotolerante foram os que mais contribuíram para a diminuição dos valores dos índices, impactando diretamente na qualidade da água, esses parâmetros apresentaram valores acima do valor de referência da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, respectivamente em 90% e 66,66% das estações de amostragem, associando a degradação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru ao lançamento de esgoto doméstico sem tratamento ou com tratamento inadequado.

Palavras-chave: Monitoramento da qualidade da água. Gestão de recursos hídricos. Bacia hidrográfica.

² Este capítulo está finalizado e pronto para submissão em periódico na área de ciências ambientais.

APPLICATION OF INDICES AS A TOOL FOR ASSESSING WATER QUALITY IN A TROPICAL WATERSHED AT THE INTERFACE OF THE CERRADO AND AMAZON BIOMES

ABSTRACT

Water quality monitoring is essential to ensure the safe use of water resources and to support water management and governance actions. This study aimed to assess water quality conditions through the application of indices in water bodies located in the fluvial sectors of the Itapecuru River watershed. Environmental variables were analyzed using univariate and multivariate statistical approaches, and the Water Quality Indices WQI-NSF and WQI-CCME, as well as the Trophic State Indices – TSI and TRIX, were applied. The results demonstrate the existence of a strong spatial pattern in water quality. All indices indicated that the upper course exhibits better water quality conditions, whereas the lower course presents poorer conditions. Seasonality had a significant effect on the variability of water quality conditions. The WQI-NSF indicated better water quality during the dry season, the TSI indicated better conditions during the rainy season across all sections of the watershed, and the TRIX indicated better water quality during the dry season in the upper and middle courses. Total phosphorus and thermotolerant coliforms were the parameters that most contributed to the reduction of index values, directly impacting water quality. These parameters exceeded the reference limits established by the Brazilian National Environmental Council Resolution – CONAMA n° 357 of March 17, 2005, in 90% and 66.66% of the sampling stations, respectively. These results associate the degradation of water quality in the Itapecuru River watershed with the discharge of untreated or inadequately treated domestic sewage.

Keywords: Water quality monitoring; Water resources management; Watershed.

1 INTRODUÇÃO

A água é a base da vida no planeta Terra, pois mantém a biodiversidade e a sobrevivência da espécie humana (Tundisi, J.; Tundisi, T., 2020). É essencial para o bom funcionamento dos sistemas humanos e naturais (Asaka; Argomedo; Jones, 2024). E a sua utilização pela sociedade visa a atender as necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais (Souza et al., 2014).

Para atender a todas as demandas de forma a sustentar a diversidade biológica e as atividades humanas, a água doce precisa estar disponível em quantidade e qualidade adequadas (Tundisi, 2006). De acordo com a Organização das Nações Unidas (2023), a escassez de água está se tornando endêmica, como resultado do impacto local do estresse hídrico físico, juntamente com a aceleração e a disseminação da poluição.

Isso se deve ao aumento da população humana, a intensificação e diversificação dos usos dos recursos hídricos, a urbanização, a mudança do padrão uso e cobertura da terra e as alterações climáticas, que exacerbam a escassez, e a degradação da qualidade da água a nível regional e global (Ahmed et al., 2022 ; Wen et al., 2024). Situação que evidencia a necessidade de uma melhor gestão hídrica (Organização das Nações Unidas, 2021). Essa melhoria perpassa pela modernização e implementação de instrumentos de gestão da água, com destaque especial ao monitoramento da qualidade da água.

Os dados do monitoramento permitem avaliar se a água dos rios apresenta qualidade compatível com os usos a que se destina, sendo imprescindível para gestores e tomadores de decisão em recursos hídricos (Lima; Mamede; Neto, 2018; Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2024). Apesar de sua importância, dados relacionados à qualidade da água permanecem escassos, em grande parte devido à baixa capacidade de monitoramento e produção de relatórios, especialmente em muitos dos países menos desenvolvidos da Ásia e da África (Organização das Nações Unidas, 2023).

Até 2030, a saúde e os meios de subsistência de 4,8 bilhões de pessoas podem estar em risco se o monitoramento atual da qualidade da água não for melhorado. Em 2023, mais de 2 milhões de medições de qualidade da água foram usadas para relatar esse indicador, mas os países que representam a metade de menor renda do mundo, contribuíram com menos de 3% desse total (60.000). (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, 2024).

Diante dessa realidade, os índices utilizados no monitoramento da qualidade da água, ganham destaque como importantes ferramentas para produção de informações e otimização da gestão hídrica, pois podem informar o estado ou qualidade da água de forma resumida e esclarecedora (Almeida, 2021 ; Kumar, 2024).

No estado do Maranhão o monitoramento da qualidade da água ainda está em fase inicial. Com reflexos diretos na gestão hídrica e consequentemente na qualidade da água dos rios, haja vista que as bacias hidrográficas do estado, a exemplo da bacia do rio Itapecuru, apresentam grandes problemas ambientais com destaque a destruição da mata ciliar, assoreamento e poluição das águas, os quais se agravam nos trechos urbanizados (Silva; Conceição, 2011; ANA, 2016; Soares, 2016).

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru, concentra cerca de 57 municípios com uma população estimada em aproximadamente 1.500.000 habitantes, que direta ou indiretamente fazem algum tipo de uso da água dos canais fluviais que formam essa rede de drenagem, adicionalmente, tem-se aproximadamente 505.396 habitantes da cidade de São Luís que utilizam a água do rio Itapecuru para abastecimento urbano através da adutora do Sistema ITALUÍS, o que faz do rio Itapecuru o principal manancial para o abastecimento humano do estado do Maranhão (NUGEO, 2016; Nascimento, 2021; IBGE, 2022).

Apesar da grande importância socioambiental, o rio Itapecuru sofre forte pressão antrópica, especialmente pela intensificação da alteração no uso e cobertura da terra, com retração de áreas com vegetação nativa nos biomas Amazônia e Cerrado e aumento de áreas com pastagem e agricultura, redundando em perda de biodiversidade, assoreamento e maior aporte de sedimentos e nutrientes nos corpos d'água (Martins et al., 2026). Além da degradação da qualidade da água, desencadeada pela disposição de esgotos sem tratamento, oriundos principalmente de onze cidades instaladas às suas margens ao longo de todos os seus trechos, as quais apresentam baixa cobertura de tratamento de esgoto, com percentuais inferiores a 8% (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SINISA, 2020). Situação que interfere na condição de qualidade da água e compromete a sua utilização, mediante os diferentes usos da água realizados nesse corpo hídrico (Martins et al., 2023).

Nessa perspectiva, o presente trabalho objetivou mensurar a condição de qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, através da aplicação de Índices de Qualidade da Água - IQA-NSF e IQA-CCME e Índices de Estado Trófico – IET e TRIX, este direcionamento se justifica pela limitação no monitoramento da qualidade da água nessa bacia hidrográfica, a hipótese que fundamenta este trabalho é que a qualidade da água do rio Itapecuru encontra-se degradada e imprópria para a realização de alguns usos, de forma que, entende-se que o trabalho poderá contribuir para formulação de um padrão espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica, destacando os usos que podem ser desenvolvidos com segurança adequada e os que podem representar risco à saúde humana.

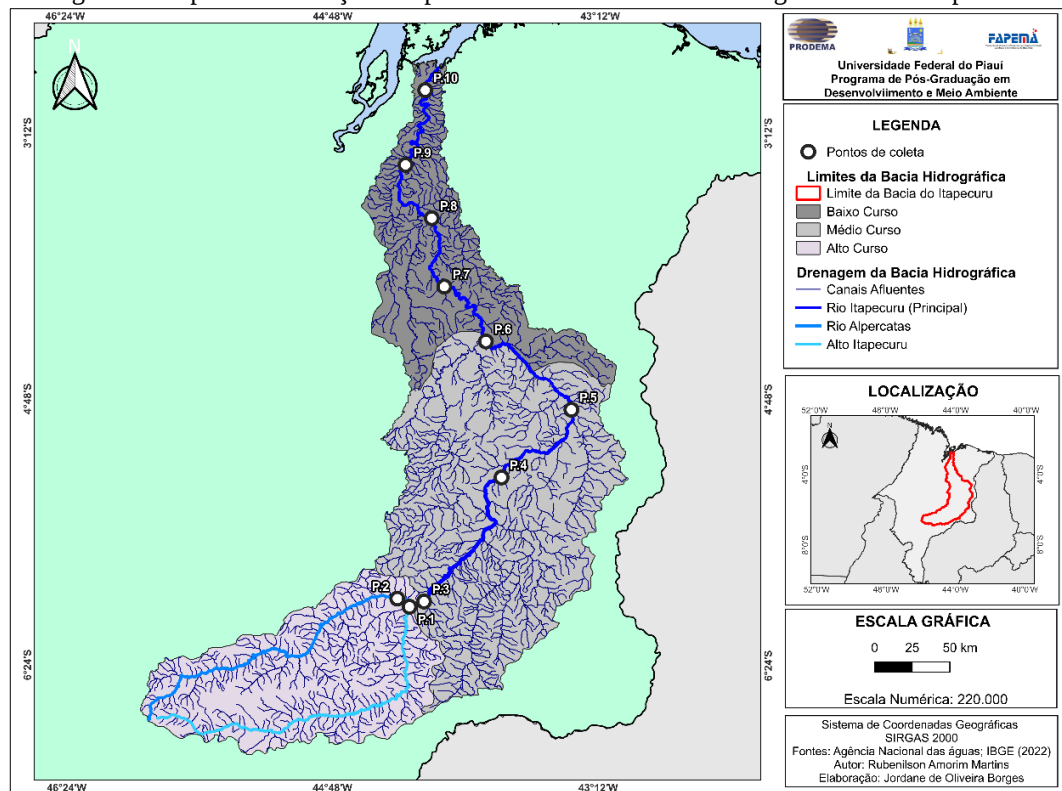
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está localizada na parte centro-leste do estado do Maranhão, entre as coordenadas de 2°51'33'' a 6°52'22'' S e 43°02'49 a 45°58'57'' O (figura 1), tendo como limites a bacia hidrográfica do rio Parnaíba ao sul, Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras elevações de menor altitude a leste, a bacia hidrográfica do rio Mearim a oeste e sudeste e a bacia hidrográfica do rio Munim a noroeste (IBGE, 1998).

A referida bacia hidrográfica apresenta área de 53.216,84 km², o que representa 16,03% da área total do estado, é considerada a segunda maior bacia do Maranhão, atrás apenas da bacia hidrográfica do rio Mearim com área de 99.058,68 km². O rio Itapecuru, maior rio maranhense, é o principal canal fluvial dessa rede de drenagem. Nasce no sul do estado em um sistema formado pelas Serras da Croeira, Itapecuru e Alpercatas, a uma altitude de aproximadamente 530 m, percorre cerca de 852,71 km, desaguando na baía do Arraial, a sudeste da Ilha do Maranhão (NUGEO, 2016). No alto curso, próximo a cidade de Colinas, ocorre a confluência do rio Itapecuru com o rio Alpercatas, seu principal afluente pela margem esquerda, a partir desse ponto o rio Itapecuru se torna mais largo e mais volumoso (figura 1) (IBGE, 1997).

Figura 1- Mapa de localização dos pontos de coleta e da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Essa bacia hidrográfica compreende áreas dos biomas Cerrado e Amazônia, no bioma Cerrado apresenta como formações vegetais características, formação florestal, formação

savânica e formação campestre, no bioma Amazônia se destaca a formação florestal (Silva et al., 2022). Com essas formações vegetais transicionando do Cerrado no sul da bacia hidrográfica, para as florestas estacionais no centro e na parte leste, e para a floresta ombrófila no noroeste do estado sob influência do bioma Amazônia (IBGE, 1997).

Situa-se em uma zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia, com base no índice de umidade de Thornthwaite encontra-se: clima subúmido a seco no alto curso, clima úmido a subúmido no curso médio e clima úmido no baixo curso (IBGE, 1998).

Sendo caracterizados por altas temperaturas (média anual de 27°C a 29°C nos cursos alto e médio e 26°C a 27°C no baixo curso), variação da umidade, com menor umidade do ar na parte sul – alto e médio curso (precipitações anuais entre 1.200 mm e 1.400 mm) e maior umidade do ar na parte norte da bacia – baixo curso (precipitações anuais entre 1.400 mm e mais de 2.000 mm), demarcando dois períodos sazonais bem definidos, um chuvoso e outro de estiagem (Alcântara, 2004).

2.2 ESTRATÉGIA AMOSTRAL

Foram realizadas coletas de amostras de água no alto, médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (figura 1), especialmente no baixo curso do rio Alpercatas e ao longo de 623 km no rio Itapecuru, com a definição de dez estações de coletas, nove na calha principal do rio Itapecuru e uma no rio Alpercatas (tabela 1). As amostragens foram realizadas com periodicidade bimestral, ao longo do ano de 2023, totalizando seis campanhas, três no período chuvoso e três no período de estiagem.

Tabela 1: Localização dos pontos de coleta de amostras de água.

Ponto	Coordenadas	Município
P.1 – Rio Itapecuru	6°3'9.59" S / 44°20'11.33" O	Colinas
P.2 – Rio Alpercatas	6°0'12.66" S / 44°23'20.62" O	Colinas
P.3 – Rio Itapecuru	6°1'15.67" S / 44°14'56.61" O	Colinas
P.4 – Rio Itapecuru	5°16'24.80" S / 43°47'5.91" O	Caxias
P.5 – Rio Itapecuru	4°51'55.55" S / 43°21'59.84" O	Caxias
P.6 – Rio Itapecuru	4°27'20.01" S / 43°52'47.87" O	Codó
P.7 – Rio Itapecuru	4°7'33.21" S / 44°7'47.44" O	Coroatá
P.8 – Rio Itapecuru	3°42'51.43" S / 44°12'19.13" O	Pirapemas
P.9 – Rio Itapecuru	3°23'37.32" S / 44°21'44.79" O	Itapecuru-Mirim
P.10 – Rio Itapecuru	2°56'37.87" S / 44°14'42.11" O	Rosário

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

2.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA E DE ANÁLISE

A metodologia de coleta e preservação das amostras seguiu as diretrizes do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e

efluentes líquidos, da ANA e Cetesb, 2011, que fixa as condições exigíveis para a elaboração e planejamento de coleta de amostras de água superficiais.

As amostras de água foram coletadas com o auxílio de balde e garrafas de Van Dorn, com posterior distribuição do seu volume proporcionalmente nos diversos frascos destinados aos ensaios físico-químicos e bacteriológicos, como forma de garantir a homogeneidade da amostra, tomando o cuidado de manter um espaço vazio no frasco para sua posterior homogeneização.

Na coleta de amostras para análise física e química, foram utilizados frascos plásticos com capacidade para 1L, lavados abundantemente com a mesma água a ser coletada, acondicionadas em caixa de isopor e mantidas resfriadas durante o transporte até o laboratório e início das análises.

As amostras para análise bacteriológica foram armazenadas em frasco plástico de 250 ml, que foram esterilizados, e acondicionadas em caixa de isopor e mantidas resfriadas do transporte até o laboratório e início das análises.

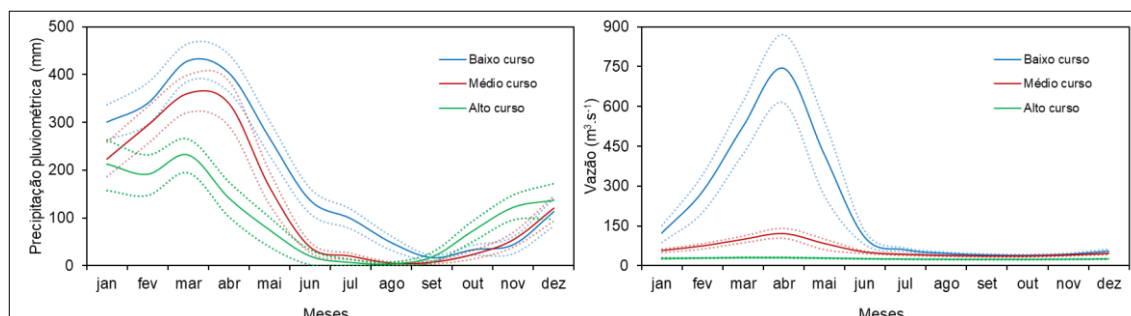
2.4 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

2.4.1 Precipitação pluviométrica e vazão

Para definição dessas variáveis foram extraídos dados do portal HidroWeb gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, das estações pluviométricas Campo Largo – 644015, Coroatá – 444001 e Presidente Juscelino – 344010 e das estações fluviométricas, Mirador – 33420000, Fernando Falcão – 33430000, Colinas – 33480000, Caxias – 33550000, Codó – 33590000, Coroatá – 33630000 e Cantanhede – 33680000.

A partir desses dados foi calculada a média climatológica da precipitação pluviométrica e vazão, com base nos últimos 30 anos (1993 a 2023). De acordo com a média climatológica foram identificados períodos sazonais bem definidos, um chuvoso (dezembro a maio) e um de estiagem (junho a novembro) com padrões similares nos cursos da bacia (figura 2). O mesmo padrão foi observado para os dados de vazão.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) e vazão (m^3/s) ao longo da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Martins; Lourenço; Soares (2025).

Quanto ao padrão sazonal da precipitação pluviométrica e da vazão, pode-se observar uma variação espacial em relação aos cursos dos corpos hídricos. No período chuvoso os valores médios mais baixos observados foram no alto curso, tanto para precipitação como para vazão ($\sim 164\text{mm}$ e $28\text{ m}^3/\text{s}$) e os valores mais elevados no baixo curso ($\sim 308\text{ mm}$ e $358\text{ m}^3/\text{s}$). Destaca-se março como mês que apresentou os valores médios de precipitação mais elevados em todos os trechos, ~ 231 no alto, $\sim 361\text{ mm}$ no médio, $\sim 428\text{ mm}$ no baixo; e abril os valores médios mais elevados de vazão em todos os trechos, $31\text{ m}^3/\text{s}$ no alto, $122\text{ m}^3/\text{s}$ no médio e $744\text{ m}^3/\text{s}$ no baixo.

No período de estiagem os menores valores médios de precipitação pluviométrica e vazão também foram observados no alto curso ($\sim 41\text{mm}$ e $24\text{ m}^3/\text{s}$) e os maiores no baixo curso ($\sim 63\text{mm}$ e $56\text{ m}^3/\text{s}$). Destaca-se o mês de agosto com os menores valores médios de precipitação no alto curso $\sim 4\text{mm}$ e médio curso $\sim 5\text{mm}$ e setembro no baixo curso $\sim 16\text{mm}$; e setembro com os menores valores médios de vazão no alto curso $22\text{ m}^3/\text{s}$ e médio curso $35\text{ m}^3/\text{s}$ e outubro no baixo curso $39\text{ m}^3/\text{s}$.

2.4.2 Variáveis físicas e químicas

As variáveis físicas e químicas, temperatura da água $^{\circ}\text{C}$, potencial hidrogeniônico-pH, oxigênio dissolvido-OD mg/L e condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) foram mensurados *in situ* por meio da utilização de sonda multiparâmetro HANNA HI 9828. A turbidez UNT foi mensurada com a utilização de turbidímetro HANNA HI 93703. As demais variáveis físico-químicas, sólidos totais mg/L , fósforo total mg/L , nitrogênio total mg/L , demanda bioquímica de oxigênio-DBO mg/L e clorofila-*a* $\mu\text{g/L}$ foram analisadas no Laboratório de Análises Químicas do Curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão – UFMA e determinadas de acordo com as técnicas do Standard Methods Water and Wasterwater (American Public Health Association - APHA, 2005).

2.4.3 Variáveis biológicas

As variáveis biológicas coliformes termotolerantes (NMP/100ml) e *Escherichia coli* (NMP/100ml) foram analisadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Água da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, mediante técnicas do Standard Methods Water and Wasterwater (APHA, 2005).

2.5 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA-NSF

O Índice de Qualidade da Água – IQA-NSF, foi determinado com base em metodologia adaptada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB 2022, que incorpora nove variáveis (temperatura, potencial hidrogeniônico-pH, oxigênio dissolvido-OD, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio-DBO, nitrogênio total, fósforo total, coliformes

termotolerantes e resíduo total) consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas.

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondente às variáveis que integram o índice, conforme fórmula abaixo:

$$IQA = \prod_{i=1}^n w_i q_i$$

Em que:

IQA: Índice de Qualidade da Água, apresenta um número entre 0 a 100 (tabela 2);

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 a 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Em que:

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Tabela 2: Classificação do IQA-NSF e IQA-CCME.

Categoria	Ponderação	
	IQA-NSF	IQA-CCME
Ótima	80 a 100	95 a 100
Boa	52 a 79	80 a 94
Regular	37 a 51	65 a 79
Ruim	20 a 36	45 a 64
Péssima	0 a 19	0 a 44

Fonte: CETESB (2022); CCME (2017).

2.6 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA-CCME

A definição do IQA-CCME, se baseia na comparação dos valores dos dados de monitoramento da qualidade da água com os padrões de qualidade da água instituídos pela legislação, no caso do Brasil pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 17 de março de 2005. O índice foi determinado a partir do cálculo dos valores das variáveis potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, turbidez e coliformes termotolerantes, sendo, portanto, as mesmas variáveis que a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012) adota na definição desse índice, com os valores dessas variáveis estabelecidos conforme classes de enquadramento presentes na Resolução do Conama nº 357/2005.

O índice varia de 0 a 100 (tabela 2), sendo que valor perto de zero significa uma situação em que a condição do corpo hídrico está muito distante do enquadramento desejado e próximo de cem indicará situação de conformidade com o enquadramento (ANA, 2012).

Após a definição do corpo d'água, do período, dos parâmetros e diretrizes, cada um dos três fatores que compõem o IQA do CCME deve ser calculado. O cálculo de F1 e F2 é relativamente simples, enquanto F3 requer algumas etapas adicionais. Foi determinado que a contribuição do primeiro termo (F1) para a pontuação final do IQA do CCME é maior do que a contribuição dos outros dois termos (CCME, 2017).

Assim, o índice analisa três fatores.

Fator 1 - Abrangência: representa o número de variáveis de qualidade da água que, pelo menos uma vez no período de observação, não atenderam os limites estabelecidos. É calculado pela Equação 1.

$$F_1 = \frac{\text{Número de variáveis que violaram}}{\text{Número total de variáveis analisadas}} \times 100$$

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que as variáveis de qualidade da água estiverem em desconformidade, em relação ao número de observações. Dado pela Equação 2.

$$F_2 = \frac{\text{Número de testes que violaram}}{\text{Número total de testes}} \times 100$$

Fator 3 - Amplitude: representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, isto é, a diferença entre o valor mensurado e o valor a ser alcançado de acordo com o objetivo de qualidade da água.

O fator F3 é calculado em três etapas:

1) O número de vezes em que a concentração individual é maior que (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo), ou seja, quando o valor do teste não deve exceder o objetivo (valor do padrão), o cálculo é dado pela Equação 3:

$$\Delta v = \frac{(\text{Valor do teste que falhou})}{(\text{Valor do padrão})} - 1$$

Para os casos em que o valor do teste não deve ser abaixo do objetivo (valor do padrão),

o cálculo é dado pela equação 4:

$$\Delta v = \frac{(\text{Valor do padrão})}{(\text{Valor do teste que falhou})} - 1$$

2) A quantidade coletiva pela qual os testes individuais estão fora de conformidade é calculada somando-se as variações de cada teste em relação aos seus limites e dividindo pelo número total

de testes. Esta variável é denominada ‘soma normalizada das variações’, ou *snv* e é calculada pela Equação 5:

$$snv = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta vi}{\text{Número total de coletas}}$$

3) O valor de F_3 é calculado pela soma normalizada das variações dos objetivos (*snv*), sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100 (Equação 6).

$$F_3 = \frac{snv}{(0,01 \times snv) + 0,01}$$

Portanto, o índice pode ser obtido através da Equação 7.

$$IQA\ CCME = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

O divisor 1,732 normaliza os valores resultantes para um intervalo entre 0 e 100, onde 0 representa a “pior” qualidade da água e 100 representa a “melhor” qualidade da água.

2.7 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET

O Índice do Estado Trófico-IET seguiu a metodologia adotada pela Cetesb, sendo composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila *a* – IET(CL), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lóticos, segundo as equações:

- Rios

$$IET\ (CL) = \frac{10 \times (6 - (0,7 - 0,6 \times (\ln CL)))}{\ln 20}$$

$$IET\ (PT) = \frac{10 \times (6 - (0,42 - 0,36 \times (\ln PT)))}{\ln 20}$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida a superfície da água, em µg/L;

CL: concentração de clorofila *a* medida a superfície da água, em µg/L;

ln: logaritmo natural.

O resultado dos valores mensais apresentados nas tabelas do IET será a média aritmética simples, com arredondamento da primeira casa decimal, dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila *a*, segundo a equação:

$$IET = \frac{[IET\ (PT) + IET\ (CL)]}{2}$$

Tabela 3: Classificação do estado trófico para rios segundo índice Carlson modificado.

Categoria estado trófico	Ponderação	P-total – P (mg/m ⁻³)	Clorofila-a (mg/m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < P ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	35 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 63	640 < P	7,46 < CL

Fonte: CETESB (2018).

2.8 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE TRIX

O índice TRIX inclui em sua fórmula o desvio da saturação de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total e clorofila-*a*, obtidos em cada ponto de amostragem. Nos cálculos, essas variáveis mencionadas têm o mesmo peso para determinar o estado trófico. O índice TRIX é calculado analisando os parâmetros acima mencionados e utilizando a equação:

$$TRIX = \frac{\log(\text{Chla} \times \text{DO} \times \text{TN} \times \text{TP}) + K}{m}$$

Onde:

Chla: Concentração de clorofila-*a* (µg/L), DO: valor absoluto do desvio da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido (100 - % DO), TN: concentração de nitrogênio total (µg/L), TP: concentração de fósforo total (µg/L), K e m são constantes onde, K = 1,5 e m = 1,2.

O TRIX foi escalado de 0 a 10, sendo o valor 10 o mais alto na categorização e indica um corpo de água hipereutrófico, esse índice cobre uma faixa de quatro estados tróficos (0–4 alta qualidade e baixo nível trófico; 4–5 boa qualidade e nível trófico moderado; 5–6 qualidade moderada e alto nível trófico e 6–10 degradado e nível trófico muito alto) (Giovanardi; Vollenweider, 2004).

2.9 CONFECÇÃO DE MAPAS, GRÁFICOS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os mapas de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru e da rede de amostragem foram confeccionadas utilizando o software Quantum GIS-QGIS versão Firenze 3.28, já os mapas com a distribuição dos resultados dos Índices de Qualidade da Água e Índices de Estado Trófico foram desenvolvidos usando os softwares Quantum GIS-QGIS versão Firenze 3.28 e Surfer versão 9.

A análise da variabilidade espacial e temporal das variáveis ambientais e dos Índices de Qualidade da Água e Índices de Estado Trófico foi realizada através da ANOVA e Kruskal-Wallis, utilizando-se o software PAleontological STatistics - Past versão 4.17. Em que o valor $p < 0,05$ indica diferença significativa no aspecto temporal ou espacial da variável em questão.

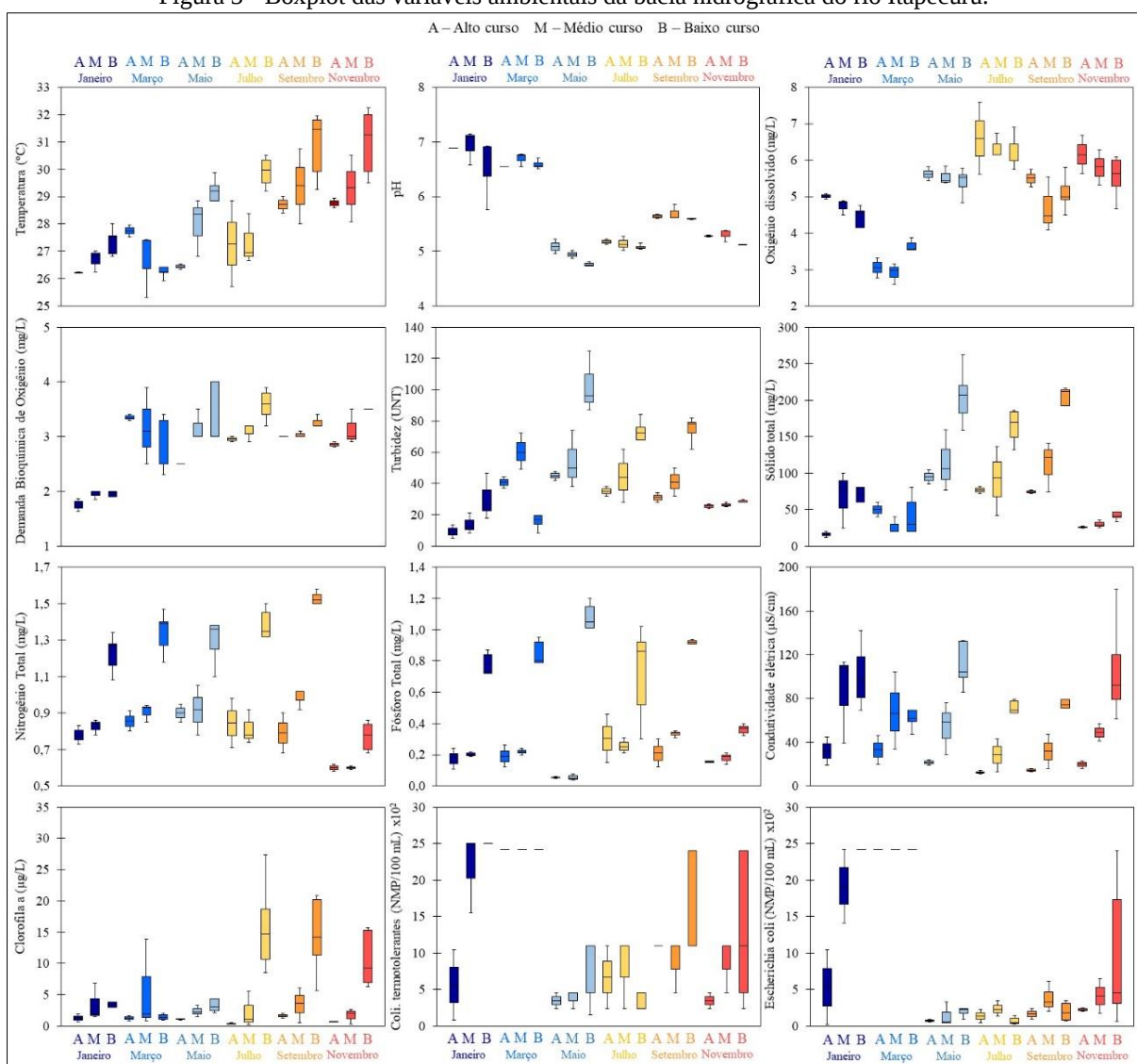
Usou-se o diagrama de caixa (boxplots) para fazer representação gráfica da distribuição espacial e temporal das variáveis ambientais de qualidade de água. Já a análise multivariada dessas variáveis foi realizada a partir da análise hierárquica de agrupamento (HCA) e análise de componentes principais (ACP), utilizando o programa XLSTAT Basic.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

As variáveis ambientais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresentaram um forte padrão espacial, relacionado aos setores fluviais (baixo, médio e alto curso), assim como, uma variabilidade sazonal devido a dinâmica da precipitação pluviométrica na região, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3 - Boxplot das variáveis ambientais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A temperatura superficial da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru variou de 25,5°C a 32,25°C, com diferença estatística significativa entre os cursos ($p < 0,0048$) e entre os períodos sazonais ($p < 0,0000$). As menores temperaturas foram observadas no alto curso (média ~ 27,27°C) e as maiores no baixo (média ~ 29,11°C). Esse padrão pode estar associado a maior concentração de vegetação nativa no alto curso, onde os canais fluviais de menor

dimensão e que apresentam matas ciliares regulares e densas, tem capacidade de produzir sombreamento, ocasionando uma redução significativa da temperatura (Albanell; Ryu; Martín, 2024). Quanto a sazonalidade, as menores temperaturas foram observadas no período chuvoso (média ~ 27,32°C) e as maiores no período de estiagem (média ~ 29,57°C), o que está relacionado a temperatura do ar, que é menor no período chuvoso, sendo um dos fatores determinantes da temperatura superficial da água. O regime térmico dos rios é altamente influenciado pelas condições meteorológicas e fluviais, bem como pela sua localização geográfica, assim, rios localizados em áreas de climas tropicais, tendem a apresentarem elevadas temperaturas da água nos períodos mais quentes do ano (Silva, 2023).

O pH variou de 4,5 a 7,2, apesar dessa amplitude, não apresentou diferença estatística significativa entre os cursos ($p < 0,4108$), mas sim entre os períodos sazonais ($p < 0,0000$), com valores maiores no período chuvoso (média ~ 6,05), especialmente em janeiro e março, e valores menores (média ~ 5,32) no período de estiagem. A Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, define que as águas enquadradas na classe 2, devem apresentar pH entre 6 e 9, nesse sentido, os valores de pH de maio a novembro estiverem abaixo do determinado pela resolução. O pH sofre influência da matéria orgânica a ser decomposta presente na água, em geral, quanto maior a quantidade disponível, menor será o pH, isso se deve aos intensos processos de respiração e decomposição, que libera CO₂ (g) na massa d'água, com consequente formação de H₂CO₃ e íons hidrogênio (H⁺) (Oliveira; Souza; Castro, 2009). De modo que quanto menores as vazões, maiores as concentrações de matéria orgânica, diminuindo os valores de pH, que também é influenciado pela temperatura da água, que ao aumentar, tende a diminuir o valor de pH, em função da intensificação da decomposição da matéria orgânica (Fia et al., 2015).

Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), ele variou de 2,40 a 6,68 mg/L, sem apresentar um padrão espacial definido ($p < 0,3294$), com as maiores concentrações no alto curso (média ~ 5,32 mg/L) e menores no baixo curso (média ~ 4,98 mg/L). Temporalmente, as maiores concentrações foram observadas no período de estiagem (média ~ 5,71 mg/L) e as menores no período chuvoso (média ~ 4,41 mg/L), demarcando um padrão sazonal significativo ($p < 0,0000$). De acordo com a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, Art. 15, VI, para águas doces de classe 2, a concentração de OD, em qualquer amostra, não pode ser inferior a 5,0 mg/L, nesse sentido, a maior parte das amostras do período chuvoso (especialmente nos meses de janeiro e março) ficaram abaixo do estabelecido. Estes padrões observados, podem estar relacionados ao maior aporte de solo e sedimentos e consequente oxidação de íons metálicos (como o ferro e manganês) (Esteves, 2011), assim como, o aumento da turbidez que

diminui a fotossíntese pelo fitoplâncton (Nunes et al., 2022), maior aporte de esgoto doméstico enriquecido com matéria orgânica (Olds et al., 2018), fatores que se pronunciam com maior intensidade no período chuvoso.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), variou de 1,55 a 4 mg/L, não sendo observado um padrão espacial significativo ($p < 0,1919$). Quanto ao padrão temporal, os valores de DBO foram menores no período chuvoso (média ~ 2,71 mg/L) e maiores no período de estiagem (média ~ 3,24 mg/L), demarcando um padrão temporal significativo ($p < 0,0000$). Apesar dessa variação da DBO, todos valores dessa variável estiveram dentro do valor de referência determinado pela Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, que para águas classes 2, define a DBO 5 dias à 20°C de até 5 mg/L. Essa dinâmica sazonal com valores de DBO menores no período chuvoso e maiores no período de estiagem, pode estar associada ao lançamento de efluentes não tratados na água, aumentando a concentração de matéria orgânica no período de estiagem, devido à diminuição da capacidade de diluição dos corpos d'água, por conta da expressiva redução da precipitação pluviométrica e da vazão. A baixa vazão verificada nos rios em períodos de estiagem, diminui a capacidade de diluição dos poluentes (Silva Junior; Azevedo, 2022). As cidades instaladas as margens do rio Itapecuru, apresentam deficiência nos serviços de saneamento básico, especialmente coleta e tratamento de esgoto, as quais possuem baixa cobertura de coleta de esgoto, com percentuais inferiores a 8% (SINISA, 2020). O déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras tem resultado em uma parcela significativa de carga poluidora chegando aos corpos d'água (ANA, 2017).

A turbidez variou de 5,17 a 125 UNT, apresentando um significativo padrão espacial ($p < 0,0054$) e temporal ($p < 0,0000$), com valores menores no alto curso (média ~ 31,10 UNT) e maiores no baixo curso (média ~ 55,24 UNT); sazonalmente, verificou-se valores menores no período de estiagem (média ~ 41,45 UNT) e maiores no período chuvoso (média ~ 58,15 UNT). Com base na Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, em corpos d'água enquadrados na classe 2, a turbidez pode ser de até 100 UNT. Esses padrões podem estar associados ao uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, em que o alto curso apresenta maior concentrações de vegetação nativa (84,4%) e menor quantidade de cidades em relação ao baixo curso, esse trecho conta com 62,89% de sua área ocupada por vegetação nativa, e ao aumento do escoamento superficial, do aporte de sedimentos e poluentes nos corpos d'água durante o período chuvoso (Martins et al., 2026). Esse aumento da turbidez, está também relacionado com os processos erosivos superficiais, que são controlados pela duração e intensidade da precipitação, capacidade de infiltração e natureza das partículas, topografia, tipo e densidade da cobertura vegetal e uso do solo (Stevaux; Latrubesse, 2017).

Os sólidos totais apresentaram variação de 12 a 261 mg/L, onde o alto curso apresentou valores menores (média ~ 56 mg/L), e o baixo curso valores maiores (média ~ 121 mg/L), caracterizando um padrão espacial significativo ($p < 0,0013$). Sazonalmente, durante o período de estiagem verificou-se valores menores (média ~ 124 mg/L) e maiores no chuvoso (média ~ 156 mg/L), apresentando um padrão temporal significativo ($p < 0,0000$). A variação nos valores dos sólidos totais, ao longo dos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, pode ser explicada pelo padrão de uso e cobertura da terra, caracterizado por menor antropização no alto curso e maior no baixo curso (Martins et al., 2026). A retirada da cobertura vegetal expõe os solos, desencadeando processos erosivos, que são intensificados quando da ocorrência das chuvas, carreando sólidos para os corpos d'água (Araújo, 2016).

Quanto aos nutrientes inorgânicos dissolvidos, o nitrogênio total variou de 0,58 a 1,58 mg/L, apresentou um padrão espacial significativo ($p < 0,0000$), com valores menores no alto curso (média ~ 0,80 mg/L) e valores maiores no baixo curso (média ~ 1,25 mg/L); temporalmente, observou-se valores maiores no período chuvoso (média ~ 1,08 mg/L) e menores no período de estiagem (média ~ 0,98 mg/L), apresentando diferença sazonal significativa ($p < 0,0008$). Já o Fósforo total variou de 0,04 a 1,20 mg/L, com diferença estatística significativa entre os setores fluviais ($p < 0,0000$), o alto curso apresentou valores menores (média ~ 0,18 mg/L) e o baixo curso valores maiores (média ~ 0,73 mg/L), quanto a temporalidade, não houve diferença significativa entre os períodos sazonais ($p < 0,4582$). De acordo com a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, em corpos d'água enquadrados na classe 2, o valor do fósforo total para ambiente lótico é de 0,1 mg/L, no presente estudo os valores do fósforo total estiveram acima do valor de referência em quase todos os meses e trechos amostrados.

Essa variabilidade espacial do nitrogênio total e do fósforo total, sugere que esses nutrientes inorgânicos tem origem majoritariamente antropogênica, associada a disposição de esgoto sem tratamento nos corpos d'água, tendo em vista que o alto curso que apresentou valores menores, apresenta menor concentração de áreas urbanizadas e o baixo curso, que apresentou valores maiores, tem maior quantitativo de cidades, especialmente às margens do rio Itapecuru. Esse padrão espacial se repete com a proporção de áreas de pastagens e agricultura, o alto curso tem 5,86% e 9,40% da sua área ocupada respectivamente por pastagem e agricultura e o baixo curso 28,28% e 7,70%, o que sugere maior enriquecimento dos corpos d'água por esses nutrientes inorgânicos no trecho de maior avanço da agropecuária (Martins et al., 2026). Em bacias hidrográficas que possuem uso para fins de agricultura, especialmente

irrigada, o aumento das concentrações de fosforo e nitrogênio pode estar associado as práticas agrícolas (Sales et al., 2020).

A condutividade elétrica variou de 11 a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando um padrão espacial significativo ($p < 0,0000$), com valores menores no alto curso (média $\sim 22,17 \mu\text{S}/\text{cm}$) e maiores no baixo curso (média $\sim 90,67 \mu\text{S}/\text{cm}$); temporalmente, não foi verificado diferença estatística significativa entre os períodos sazonais ($p < 0,2312$). Essa variação espacial da condutividade elétrica, segue a mesma dinâmica dos nutrientes inorgânicos e tem fontes similares como efluentes e a agropecuária. O aumento nos valores da condutividade elétrica em rios que cortam áreas urbanizadas, mantém uma relação clara com o aporte de poluentes oriundos de esgotos não tratados (Arcos; Cunha, 2021).

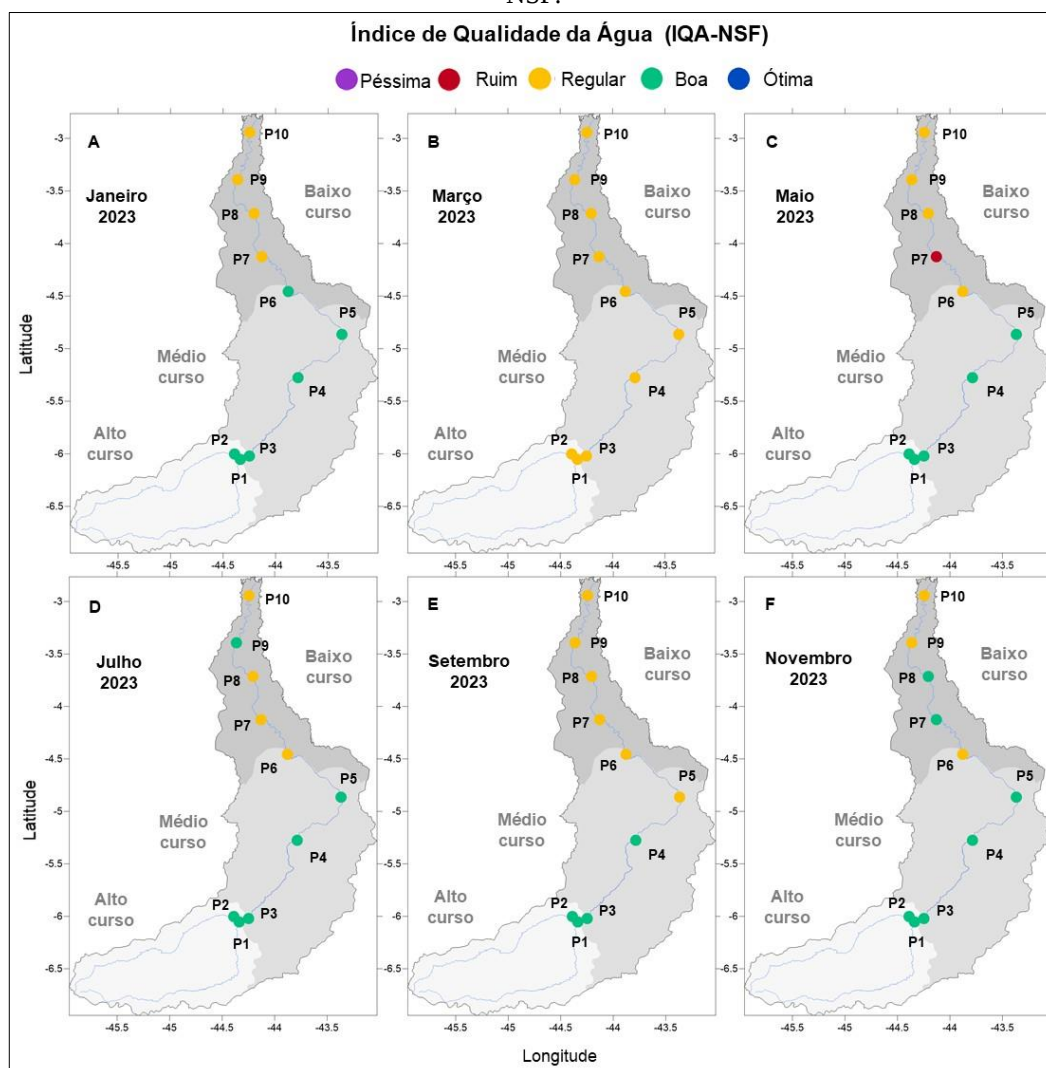
A clorofila-*a* apresentou variação de 0,22 a 27,36 $\mu\text{g}/\text{L}$, revelando um padrão espacial significativo ($p < 0,0000$), com valores menores no alto curso (média $\sim 1,05 \mu\text{g}/\text{L}$) e maiores no baixo (média $\sim 8,43 \mu\text{g}/\text{L}$); não foi observado diferença estatística significativa entre os períodos sazonais ($p < 0,1278$). A Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, define que em corpos d'água enquadrados na classe 2, o valor máximo da clorofila-*a* é de 10 $\mu\text{g}/\text{L}$. A dinâmica espacial da clorofila-*a* está relacionada a variação dos nutrientes inorgânicos (fósforo e nitrogênio), em que os setores fluviais com maiores concentrações de nutrientes, também apresentaram as maiores concentrações de clorofila-*a*. No ambiente aquático, a quantidade de clorofila permite monitorar diretamente o desenvolvimento do fitoplâncton, que está associado ao enriquecimento da água por nutrientes, que leva à eutrofização (Nieto et al., 2024).

Os Coliformes termotolerantes variaram de 78 a 2.500 NMP, não apresentaram um padrão espacial ($p < 0,7279$), contudo, temporalmente, foi observado diferença estatística significativa entre os períodos sazonais ($p < 0,0000$), caracterizada por valores maiores no período chuvoso (média $\sim 1.616,82$ NMP) e menores no de estiagem (média ~ 945 NMP). Os valores verificados sobretudo no baixo curso e durante o período chuvoso, estiveram acima do valor de referência definido pela Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, que para corpos d'água enquadrados na classe 2, não deve exceder um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. O mesmo padrão foi observado para *Escherichia coli*, que variou de 0 a 2.419 NMP, com diferença significativa entre os períodos sazonais ($p < 0,0000$), com o período chuvoso apresentando valores maiores (média $\sim 1.371,12$ NMP) e o período de estiagem menores (média $\sim 347,69$ NMP). Os altos índices de coliformes no período chuvoso se deve ao maior aporte de poluentes, especialmente esgoto doméstico e fezes de animais, por conta da intensificação do escoamento superficial e subsuperficial que aumentam a carga de contaminantes biológicos, químicos e orgânicos em ambientes aquáticos (Paruch et al., 2019).

3.2 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA-NSF e IQA-CCME)

De acordo com o Índice de Qualidade de Água (IQA-NSF), a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru variou de 36 (P7) a 71 (P2), sendo classificada como boa em 46,66%, regular 51,66% e ruim 3,33% das estações de amostragem (figura 4). Foi identificado um forte padrão espacial ($p < 0,0000$), os pontos de 1 e 2 (alto curso) com 83,33% na classe boa, os pontos de 3 a 5 (médio curso) 77,77% na classe boa e os pontos 6 a 10 (baixo curso) 83,33% na classe regular, com o alto e médio curso se mantendo na classe boa em quase todo o ano e baixo curso se mantendo na classe regular. Esse padrão foi alterado apenas no pico do período chuvoso (março), quando toda a bacia foi enquadrada na categoria regular. Estes resultados foram similares a outros estudos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, onde foi observado que os corpos hídricos apresentaram classe de qualidade de água para o IQA-NSF enquadradas como regular e boa, especialmente no baixo curso (Soares et al., 2016; Martins et al., 2022).

Figura 4 - Classificação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru com base no IQA-NSF.

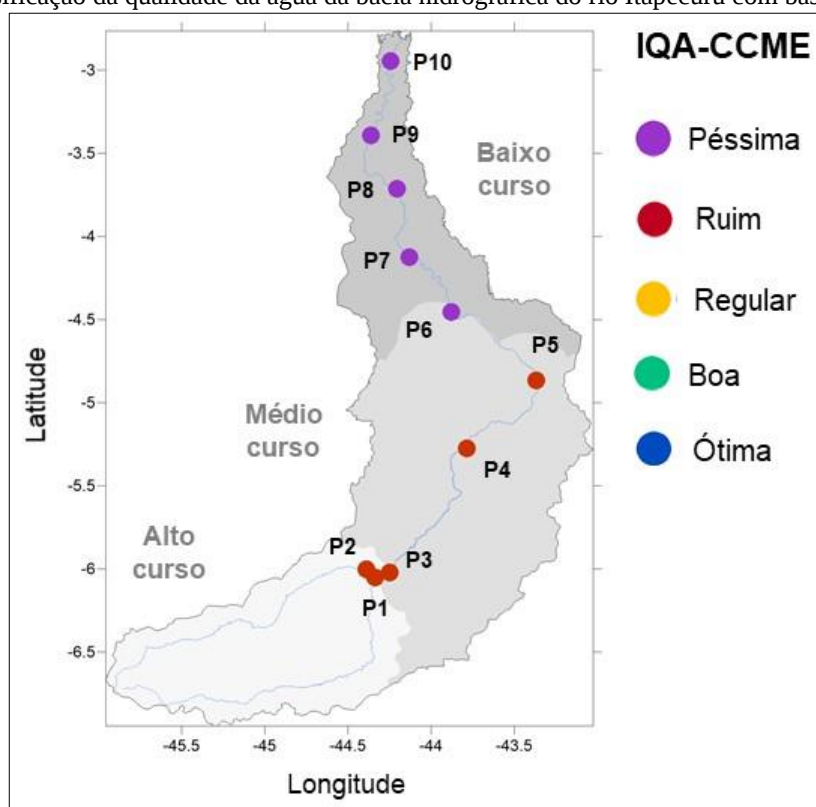


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Já quanto a variabilidade temporal, o IQA-NSF apresentou diferenças estatísticas significativas entre os períodos sazonais na bacia hidrográfica, com 56,66% na classe boa no período de estiagem e 33,66% na classe boa no período chuvoso ($p < 0,0046$), no recorte por trechos, o alto curso teve 66,66% na classe boa no período chuvoso e 100% no período de estiagem, o médio curso 66,66% na classe boa no chuvoso e 88,88% na estiagem e o baixo curso teve 6,66% na classe boa no chuvoso e 20% na estiagem, demonstrando maior degradação da qualidade da água no período chuvoso (Janeiro, março e maio), o que pode estar associado ao aumento do escoamento superficial da água e maior carreamento de materiais para os cursos d'água. Resultados similares foram observados em outras pesquisas realizadas no baixo curso do rio Itapecuru, nas quais o IQA demonstrou que a qualidade da água variou em função da sazonalidade, apresentando perda significativa da qualidade no período chuvoso (fevereiro, abril e junho) (Martins et al., 2022).

Já no Índice de Qualidade de Água (IQA-CCME), a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru variou de 34 (P7) a 55 (P1), com a classe ruim detectada nos cursos alto e médio (P1 a P5) e a classe péssima ocorrendo no baixo curso (P6 a P10), demarcando um padrão espacial significativo ($p < 0,0000$) (figura 5). A classe ruim indica que a qualidade da água está frequentemente alterada e a classe péssima indica que quase sempre os parâmetros de qualidade da água não atendem aos padrões estabelecidos pelo enquadramento (CCME, 2017). O resultado do IQA-CCME demonstrou que a condição de qualidade da água dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, está em desconformidade com a classe de qualidade em que encontram-se enquadrados, variando entre as classes péssima e ruim, destaca-se que no caso do rio Itapecuru e Alpercatas a classe de enquadramento é a classe 2. Resultado similar foi observado em estudos realizados no baixo curso do rio Itapecuru, onde o IQA-CCME também enquadrou a água do rio Itapecuru na classe péssima (Martins et al., 2023).

Figura 5 - Classificação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru com base no IQA-CCME.



Fonte: Martins; Lourenço; Soares, 2025.

Esse enquadramento dos referidos corpos d'água na classes péssima e ruim, compromete e inviabiliza o desenvolvimento com segurança adequada dos usos da classe 2, que são: abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; aquicultura e atividade de pesca (Brasil, 2005).

A variação espacial e temporal da qualidade da água ao longo da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, verificada pelos Índices de Qualidade da Água, caracterizada por uma qualidade da água melhor no alto curso e durante o período de estiagem e pior no baixo curso e no período chuvoso, pode ser explicada pelo avanço da urbanização e deficiência dos serviços de saneamento básico, especialmente no baixo curso, trecho que apresenta a maior quantidade de cidades ao longo do rio Itapecuru, as quais tem baixa cobertura de coleta de esgoto, com percentuais inferiores a 8%, e contingentes populacionais que perfazem um total de 378.792 habitantes (SINISA, 2020; IBGE, 2022). E pelos diferentes padrões de uso e cobertura da terra dessa bacia hidrográfica, caracterizados por maior concentração de vegetação nativa no alto curso e maior antropização nos cursos médio e baixo (Masullo et al., 2019; Martins et al., 2026).

Em consonância com essa realidade, os parâmetros que mais contribuíram para a redução dos valores do IQA-NSF foram fósforo total, nitrogênio total e coliformes

termotolerantes, já para o IQACME, foram fósforo total que em 90% das amostras, potencial hidrogeniônico (pH) em 68,33% e coliformes termotolerantes em 66,66%, violaram o critério estabelecido como objetivo do monitoramento para a classe 2. Nesse sentido, o aporte dos coliformes termotolerantes e, especialmente dos nutrientes inorgânicos nos corpos d'água, ocorre de forma contínua ao longo de todos os períodos sazonais, tendo o esgoto doméstico, agropastoril e os fertilizantes agrícolas, como suas principais fontes. Essas variáveis podem associar a perda de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente no baixo curso, com a disposição de efluentes sem tratamento ou com tratamento inadequado. Em estudos realizados na bacia hidrográfica do rio Itapecuru o fósforo total, nitrogênio total e coliformes termotolerantes também foram as variáveis que mais contribuíram para a redução do IQA-SNF, sendo associadas à disposição de efluentes não tratados (Soares et al. 2016; Amorim et al., 2017).

Deve-se atenção, principalmente, ao aumento das concentrações de fósforo, por ser um dos principais impulsionadores do desafio global de nutrientes e da emergência da perda de biodiversidade com relação aos ecossistemas de água doce e marinhos, com impactos que incluem florações de algas tóxicas, mortes em massa de peixes, emissões de gases de efeito estufa e a perda de valor econômico, social e cultural (Brownlie et al., 2022).

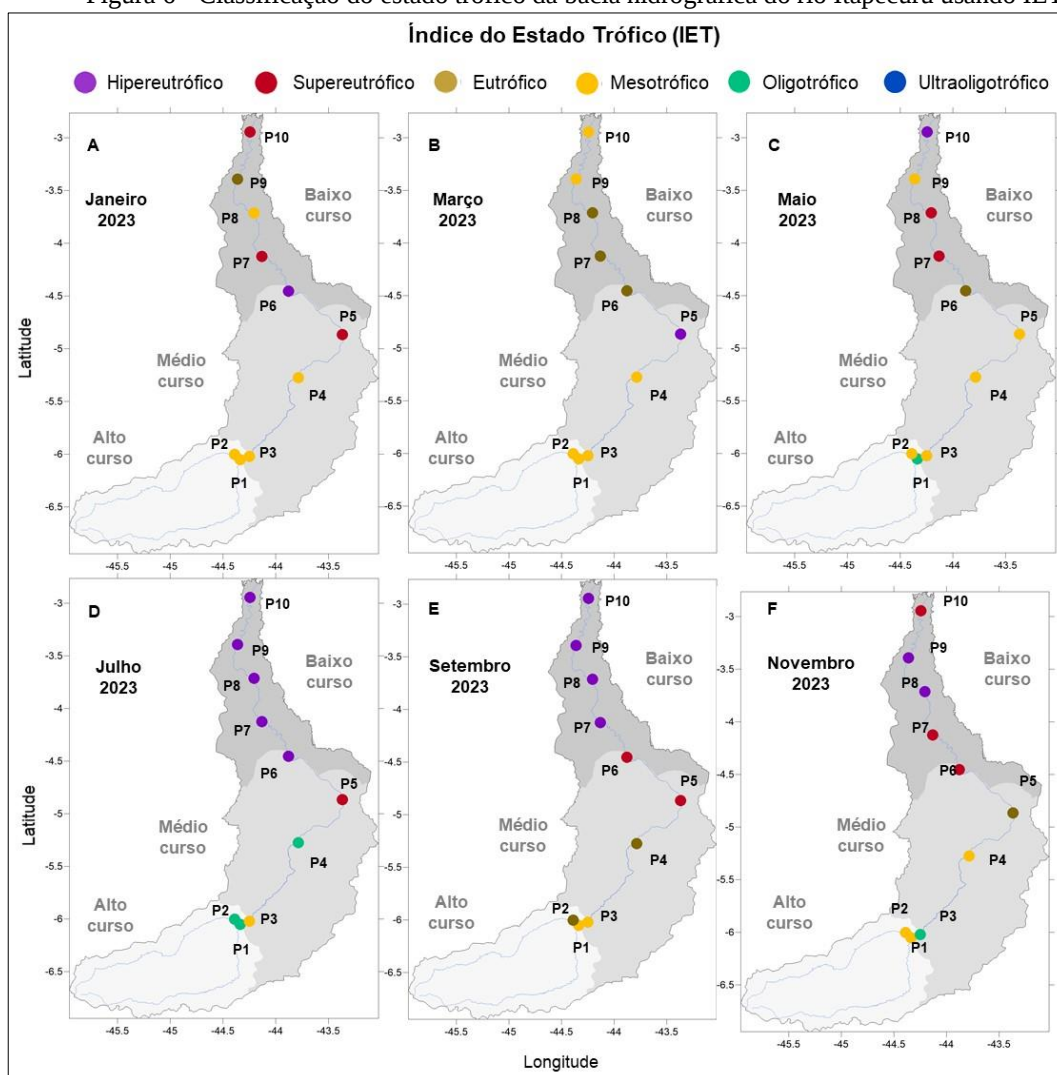
A elevada concentração dessas variáveis representa risco à saúde pública, pela presença de bactérias do grupo coliformes termotolerantes (especialmente *Escherichia coli*), e ao equilíbrio ecológico do ambiente aquático por conta da redução do pH e pela eutrofização, podendo levar ao perecimento da biota aquática, à limitação ou inviabilização dos usos da água, comprometendo o desenvolvimento das atividades sociais e econômicas, possibilitando a geração de conflitos pelo uso da água e exercendo pressão adicional sobre os mecanismos de governança hídrica na bacia hidrográfica.

A utilização dos Índices de Qualidade da Água nesse trabalho, conseguiu mensurar com mais robustez a compatibilidade da condição de qualidade da água com os usos previstos para a classe de enquadramento dos corpos hídricos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, de modo que o IQA-NSF concentra os resultados de suas variáveis na indicação da contaminação por lançamento de efluentes, visando o abastecimento público Cetesb (2022), já o IQA-CCME, se mostra mais versátil, pois não apresenta variáveis definidas, podendo ser adequado ao objetivo do monitoramento, usa os valores definidos na legislação ambiental como referência e monitora a qualidade da água para variados usos.

3.3 ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO (IET e TRIX)

Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, o IET variou de 30,7 (P4) a 54,37 (P7), demarcando níveis de trofia que variaram de oligotrófico a hipereutrófico, com 8,33% de oligotrófico, 36,66% mesotrófico, 13,33% eutrófico, 18,33% supereutrófico e 23,33% hipereutrófico (figura 6). Foi observado um padrão espacial significativo ($p < 0,0000$), com um aumento progressivo dos níveis de trofia do alto para o baixo curso, em que o alto e o médio curso concentraram 23,33% dos níveis tróficos que caracterizam eutrofização (eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico) e o baixo curso 76,66%.

Figura 6 - Classificação do estado trófico da bacia hidrográfica do rio Itapecuru usando IET.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

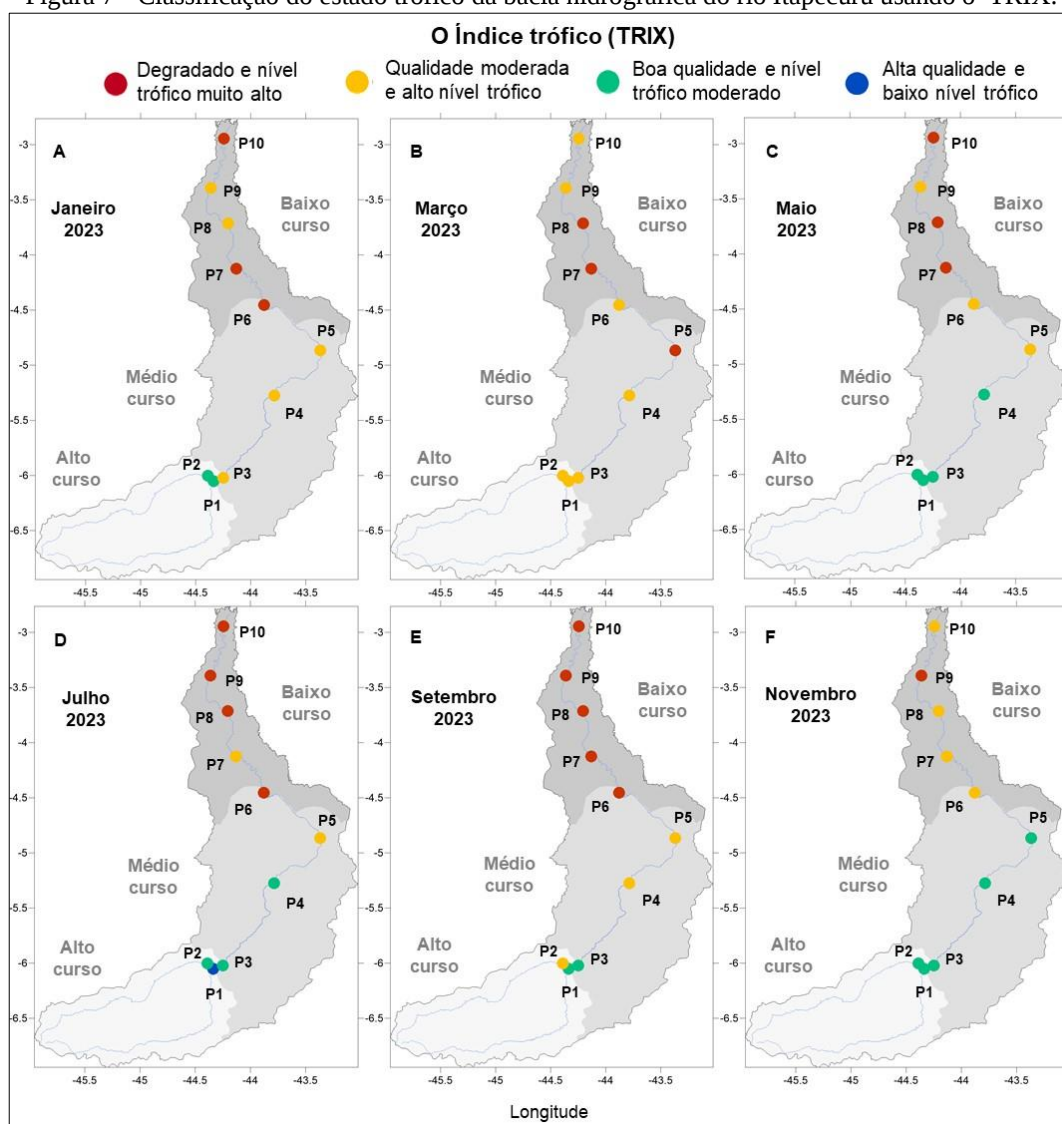
Quanto a variação temporal, não foi observado alteração sazonal significativa nos níveis de trofia na bacia hidrográfica ($p < 0,3956$), contudo, no recorte sazonal por trechos, o alto curso no período chuvoso apresentou 83,33% mesotrófico e 16,66% oligotrófico, já no período de estiagem 50% mesotrófico e 33,33% oligotrófico; o médio curso no chuvoso 77,77% mesotrófico e 11,11% hipereutrófico, já no período de estiagem 33,33% mesotrófico e 22,22%

oligotrófico; no baixo curso no chuvoso 33,33% eutrófico e 26,66% mesotrófico, já no período de estiagem 73,33% hipereutrófico e 26,66% supereutrófico. Com base nos percentuais apresentados e tomando como referência Cetesb (2022), que define os níveis ultraoligotrófico, oligotrófico e mesotrófico como níveis de trofia que não indicam eutrofização de corpos hídricos, ao passo que os níveis eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico indicam que esses ambientes estão eutrofizados. A água dos corpos hídricos em todos os trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, tiveram maior quantidade de estações de amostragem indicando não eutrofização no período chuvoso.

Essa menor eutrofização no período chuvoso, pode estar relacionado ao efeito de diluição dos íons de fósforo nos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Os aportes pontuais diminuem em concentração com o aumento da vazão do rio, devido à diluição de um aporte relativamente constante, enquanto a carga difusa geralmente aumenta com a vazão. Porém a redução das entradas pontuais seria mais eficaz para diminuir o risco de eutrofização, devido à predominância dessas fontes durante o período de crescimento de plantas e algas (Bowes et al., 2008; Mainstone; Parr, 2022). E a menor disponibilidade e intensidade de luz necessária ao desenvolvimento dos fitoplanctons, por conta da concentração de nuvens no período chuvoso. A luz solar é um dos principais recursos para regulação do crescimento e da produtividade do fitoplâncton (JO et al., 2023).

O TRIX variou de 6,47 (P3) a 9,04 (P7) na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, verificando-se todos os níveis tróficos desse índice, com o nível trófico baixo representando 1,66%, o nível trófico moderado 26,66%, o nível trófico alto 40% e o nível trófico muito alto 31,66% (figura 7). Esses níveis de trofia apresentaram um forte padrão espacial ($p < 0,0000$), com os cursos alto e médio concentrando 56,565% nos níveis tróficos baixo e moderado, que indicam alta e boa qualidade da água, e o baixo curso, concentrando 100% dos níveis tróficos alto e muito alto, indicando qualidade da água moderada e degradada. Repetindo o padrão espacial detectado pelo IET, no qual, também se verificou um padrão de aumento da eutrofização do alto para o baixo curso.

Figura 7 - Classificação do estado trófico da bacia hidrográfica do rio Itapecuru usando o TRIx.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No aspecto temporal, não foi observado diferenças estatísticas significativas entre os dois períodos sazonais na bacia hidrográfica ($p < 0,2348$), contudo, no recorte sazonal por trechos, o alto curso apresentou no período chuvoso 66,66% das estações de amostragem indicando boa qualidade e 33,33% qualidade moderada, no período de estiagem 66,66% boa qualidade e 16,66% alta qualidade; no médio curso no chuvoso 66,66% qualidade moderada e 22,22% boa qualidade e no período de estiagem 66,66% boa qualidade e 33,33% qualidade moderada; já no baixo curso no chuvoso, 53,33% degradada e 46,66% qualidade moderada e no período de estiagem 66,66% degradada e 33,33% qualidade moderada. Os percentuais apresentados com o indicativo do nível de qualidade da água referente a cada nível trófico, demonstraram que a água dos corpos hídricos dos cursos alto e médio tiveram maior quantidade de estações de amostragem indicando não eutrofização no período de estiagem. Já no baixo curso, a água se manteve eutrofizada nos dois períodos sazonais.

As concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido (variável utilizada no TRIX) nos cursos alto e médio durante o período de estiagem, podem ter influenciado na variação sazonal desse índice, que foi diferente da verificada com o IET nesses trechos da bacia hidrográfica, uma vez que o fósforo total e a clorofila-*a*, não tiveram variação temporal significativa; com relação ao baixo curso, os valores reduzidos de oxigênio dissolvido e os elevados valores de fósforo total registrados nos dois períodos sazonais, podem ter sido responsável pela não variação temporal do TRIX nesse trecho.

O padrão espacial da trofia na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com aumento da degradação da água do alto para o baixo curso, foi verificado nos dois Índices de Estado Trófico aplicados, indicando que a disponibilidade de nutrientes inorgânicos (fósforo e nitrogênio) impacta diretamente no aumento da biomassa de clorofila *a*, o que pode estar relacionado ao lançamento de efluentes urbanos, utilização de fertilizantes químicos em atividades agrícolas, associada a degradação da cobertura vegetal ao longo do tempo, especialmente no baixo curso.

A urbanização e o aumento dos volumes de águas residuais não tratadas de residências, indústria e agricultura são fatores que contribuem para a deterioração da qualidade da água, particularmente em países em desenvolvimento (Van Vliet, 2019). A urbanização de forma desordenada, sem diretrizes de ocupação, impacta gravemente no ciclo hidrológico, pois causa drásticas alterações na drenagem, com progressivo crescimento das vazões máximas, em função da impermeabilização do solo e a diminuição de fragmentos florestais, elevando a possibilidade de ocorrência de enchentes e deslizamentos, impondo riscos à saúde e à vida humana (Benini; Mendiondo, 2015). O avanço da agropecuária sobre áreas de vegetação nativa na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, suprimiu para fins de uso alternativo do solo entre os anos de 2003 e 2023, 37,9% da área das formações florestal e savânica, o que corresponde a 9.112,46 km² (Martins et al., 2026).

Quanto a sazonalidade, não foi possível observar variação estatística significativa em nenhum dos índices aplicados na bacia hidrográfica, contudo, ao se observar a variação dos níveis tróficos em cada trecho, verifica-se que a trofia se altera de forma distinta no alto e médio curso em relação ao baixo curso dependendo do índice utilizado. Com o IET, em todos os trechos (alto, médio e baixo curso), a eutrofização foi menor no período chuvoso. Já com o TRIX, no alto e médio curso, a eutrofização foi menor no período de estiagem, e o baixo curso se manteve eutrofizado nos dois períodos sazonais.

A intensificação da eutrofização no período de estiagem verificada pelo IET, pode estar associada a redução da vazão na bacia hidrográfica, e da capacidade de diluição dos corpos hídricos. Oliveira et al. (2008), destacam que concentrações mais elevadas de nutrientes durante

a estiagem, demonstram a dificuldade de diluição nesse período, causada pela diminuição da chuva e, conseqüentemente, do volume de água nos cursos d'água. Figueiredo et al. (2014), constataram alteração sazonal nas concentrações de nitrogênio e fósforo no rio Doce no estado do Espírito Santo, esses nutrientes apresentaram níveis mais elevados, devido ao lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, em períodos de menor incidência de precipitação pluviométrica e vazão.

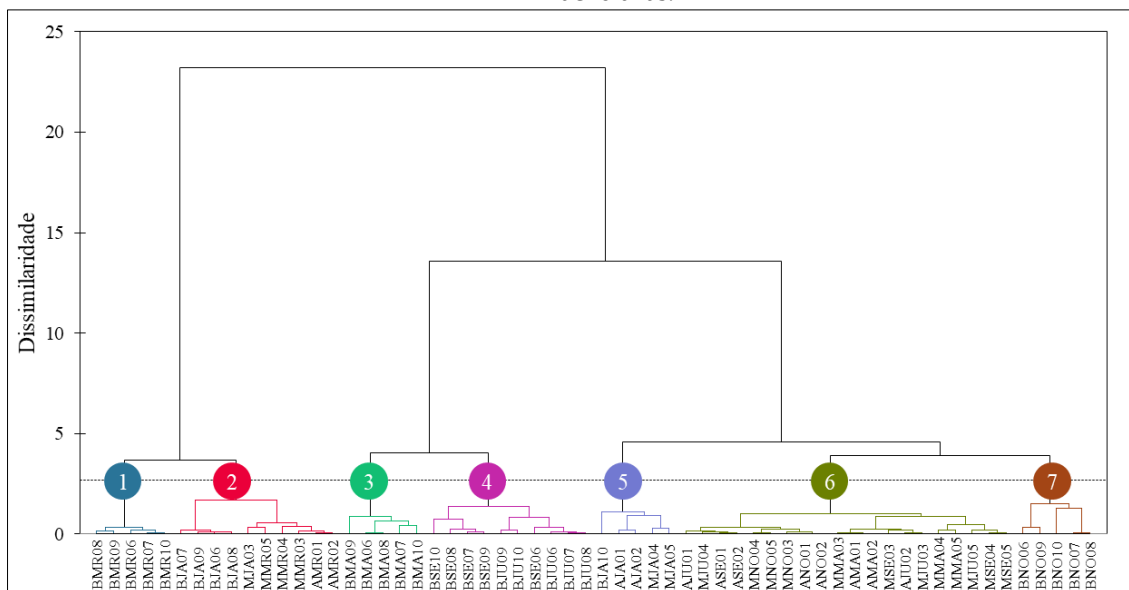
Os resultados dos índices TRIX e IET no baixo curso, demonstraram que os corpos hídricos desse setor fluvial encontram-se eutrofizados em praticamente todo o ano, indicam que o aumento nas concentrações de nutrientes inorgânicos é causado por processos antropogênicos, resultando na eutrofização artificial da água. Que pode limitar ou inviabilizar alguns usos da água. E sobretudo, em função do excesso de fósforo e nitrogênio, desestabilizar os ecossistemas de água doce, podendo criar zonas mortas a jusante, causar perecimento da ictiofauna e redução da biodiversidade, além de permitir que espécies invasoras se espalhem nesses ecossistemas aquáticos (PNUMA, 2024).

Na análise geral dos níveis de trofia na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, os dois índices espelharam de forma similar o padrão espacial e a não existência de padrão temporal, na observação da sazonalidade por trechos, os índices demonstraram resultados distintos no alto e médio curso. Isso devido a maior quantidade de parâmetros do TRIX, dentre os quais, o oxigênio dissolvido, que apresentou valores muito destoantes entre o alto, médio e o baixo curso, onde as concentrações dessa variável foram maiores no alto e médio curso, sobretudo no período de estiagem. Essas diferenças verificadas nos resultados dos índices, melhoraram a compreensão dos processos que desencadeiam a eutrofização na área de estudo e justificam a utilização dos dois Índices de Estado Trófico.

3.4 PADRÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

No dendrograma apresentado na (figura 8), as linhas verticais representam os agrupamentos de todas as estações de amostragem, distribuídas nos setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (A- alto, M- médio e B- baixo), e pelos meses das coletas (JA- janeiro, MR- março, MA- maio, JU- julho, SE- setembro e NO- novembro) e os valores graduados de 0 a 25 representam as medidas de dissimilaridades calculadas empregando-se as distâncias euclidianas.

Figura 8 - Dendrograma das amostras de águas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru a partir das distâncias Euclidianas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

O dendrograma formou sete grupos, os quais foram definidos a partir das estações de amostragem distribuídas ao longo dos setores fluviais da bacia hidrográfica e dos meses correspondentes aos períodos chuvoso e de estiagem, com base na similaridade das variáveis ambientais. Os agrupamentos formados pelos grupos (1-2) apresentaram baixa dissimilaridade, o grupo (1) reuniu as estações de amostragem do baixo curso no mês de março, que concentrou variáveis que apresentaram baixa dissimilaridade com o grupo (2), que agrupou as estações de amostragem do baixo curso no mês de janeiro e do médio e alto curso no mês de março, ambos os meses do período chuvoso. Essa baixa dissimilaridade pode ser verificada ao comparar o baixo curso em março (grupo 1 - BMR) e janeiro (grupo 2-BJA) e baixo curso em março (1-BMR) e médio e alto curso em março (2-AMR e MMR), a partir dos valores médios de algumas variáveis e índices.

Valor médio do pH no BMR (6,58) e no BJA (6,49), MMR (6,69) e AMR (6,54), turbidez (27,62) e (32,88), (14,03) e (40,85), fósforo total (0,78) e (0,72), (0,22) e (0,19), OD (3,56) e (4,51), (2,90) e (3,05), coliformes termotolerantes (2.419) e (2.500), (2.419) e (2.419), IQA-NSF (47,2) e (51), (47,33) e (49,50) e IET (42,17) e (42,28), (41,98) e (37,72). As pequenas diferenças nos valores médios das variáveis ambientais e dos índices, verificadas nos meses de janeiro e março e entre os setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, demonstraram que há uma baixa variabilidade no período chuvoso e entre os trechos da bacia hidrográfica nesses meses do referido período sazonal, com exceção ao fósforo total que mostrou diferença significativa nos valores registrados no baixo em relação ao alto e médio curso. A similaridade desse agrupamento que foi todo constituído no mês de março, que

representa o pico do período chuvoso, demonstra a influência da elevação da precipitação pluviométrica, da vazão e da capacidade de diluição dos corpos hídricos na dinâmica das variáveis ambientais, a ponto de minimizar o forte efeito que a espacialidade exerce sobre essas variáveis na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Com o aumento da vazão de alimentação, o controle das concentrações de poluentes passa a ser realizado principalmente por diluição em vez de degradação (Chen et al., 2023). A diluição responde por parte significativa da redução das concentrações de solutos em cursos d'água (Huang et al., 2020).

Os grupos (3-4) apresentaram uma dissimilaridade relativamente baixa, com o grupo (3) agregando estações de amostragem do baixo curso no mês de maio, no final do período chuvoso, e o grupo (4) concentrando estações do baixo curso nos meses de julho e setembro que representam o período de estiagem, o que pode ser observado pelos valores médios das variáveis: pH no BMA (4,64), no BJU (5,08) e no BSE (5,60), turbidez (102), (69,2) e (74,6), fósforo total (0,9), (0,72) e (0,88), OD (5,4), (6,21) e (5,09), DBO (3,4), (3,58) e (3,28), coliformes termotolerantes (914), (328) e (1,620), IQA-NSF (41), (50,20) e (46,20) e IET (45,84), (51,95) e (52,20). Verificando-se uma variação temporal pouco significativa, com variáveis apresentando valores relativamente próximos, indicando certa similaridade do mês de maio com os meses de julho e setembro. O que pode estar relacionado ao fato do mês de maio ser considerado um mês de transição entre o período chuvoso e o período de estiagem, enquanto julho e setembro representam o período de estiagem. Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru são observados dois períodos sazonais, um chuvoso (dezembro a maio) e um de estiagem (junho a novembro) com padrões similares nos cursos da bacia (Martins; Lourenço; Soares, 2025). Em estudo realizado no baixo curso do rio Itapecuru, Martins et al. (2022), verificaram entre os meses do período estiagem pouca variabilidade nos valores das variáveis turbidez, OD, condutividade elétrica, sólidos totais, nitrogênio total, coliformes termotolerantes e no valor do IQA-NSF. Outro fator que pode explicar essa similaridade, é o efeito da espacialidade, haja vista que, todas essas estações de amostragem desse agrupamento estão no baixo curso.

O grupo (5) compreendeu uma estação de amostragem do baixo curso (BJA-10) e estações de amostragem do médio (MJA) e alto curso (AJA) no mês de janeiro no período chuvoso, formando subgrupos que apresentaram dissimilaridade significativa. O que pode ser verificado com a comparação de valores médios de variáveis ambientais e índices. O valor médio do pH no BJA-10 (6,73), no MJA (7,13) e no AJA (6,89), turbidez (17,90), (16,86) e (9,29), fósforo total (0,72), (0,21) e (0,18), OD (2,40), (4,86) e (5,01), coliformes termotolerantes (201,30), (2026,55) e (562,10), IQA-NSF (51), (60,50) e (68) e IET (46,41), (42,88) e (37). Os valores das variáveis turbidez, fósforo total, OD e o IQA e o IET,

demonstraram um padrão espacial para o mês de janeiro, com menor degradação da qualidade da água no alto e maior no baixo curso. Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, o alto curso apresentou a melhor qualidade da água, e foi observado um aumento significativo na degradação da qualidade da água do médio para o baixo curso (Martins et al., 2026).

Quanto aos grupos (6-7), percebeu-se similaridade entre os subgrupos do grupo (6), que agregou estações de amostragem do alto e médio curso (AM) nos meses de maio, julho, setembro e novembro, e certa dissimilaridade com o grupo (7), que reuniu estações do baixo curso (B) no mês de novembro. O que pode ser demonstrado pelos valores de algumas variáveis e índices. O valor médio do pH no AMMA (5), AMJU (5,15), AMSE (5,67) AMNO (5,33) e BNO (5,12), turbidez (50), (40,8), (37), (25,5) e (28,2), fósforo total (0,05), (0,27), (0,28), (0,16) e (0,36), OD (5,57), (6,44), (5,02), (5,97) e (5,54), coliformes termotolerantes (372), (756), (972), (565) e (1320), IQA-NSF (57,20), (55,60), (55,20), (59,75) e (52,40) e IET (36,06), (36,35), (40,88), (35,27) e (48,69).

Ficou demonstrado que não há grandes diferenças no comportamento dessas variáveis entre o mês de maio no fim do período chuvoso e os meses do período de estiagem no alto e médio curso (grupo 6), exceto pela turbidez, que representou bem o efeito da sazonalidade ao apresentar o maior valor médio no mês de maio, contudo, como o grupo 7 é formado por estações de amostragens do baixo curso, verificou-se diferenças significativas nos valores do fósforo total, coliformes termotolerantes e dos índices em relação ao grupo 6, o que destaca a influência da espacialidade nos valores dessas variáveis. A variação espacial da qualidade de água superficial em bacias hidrográficas, pode ser ocasionada por especificidades do entorno (uso e cobertura da terra), diferentes usos da água e influências de atividades antrópicas, que acabam por descaracterizar a dinâmica hidrológica de um determinado trecho, diferenciando-o dos demais (Rodrigues Filho et al., 2015).

Os agrupamentos que formaram os grupos (1-2 e 6-7), representam os extremos do dendrograma, demarcando uma grande dissimilaridade nas variáveis ambientais verificadas em todos os trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, as estações de amostragem agrupadas nos meses de janeiro e março no período chuvoso formaram os grupos (1-2) e as estações de coleta agrupadas nos meses de maio, julho, setembro e novembro no período de estiagem formaram os grupos (6-7). A dissimilaridade observada demonstra a influência da sazonalidade na dinâmica hidrológica e das variáveis ambientais dos rios da bacia hidrográfica, produzindo padrões espacial e temporal muito significativos, em função, sobretudo, das variações de vazão e diluição, no aporte de sedimentos, nutrientes e poluentes, da temperatura e da disponibilidade de luz. De modo que o pH, turbidez, sólidos totais, nitrogênio total, coliformes termotolerantes

Variáveis (Eixos E1 e E2: 61,11 %)

Amostras (Eixos E1 e E2: 61,11 %)

Os eixos 1 e 2 explicaram 61,11% da variabilidade dos dados, demonstrando que existe um padrão espacial e temporal significativo, fortemente correlacionado. Na parte positiva do eixo 1, as variáveis temperatura da água, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD) apresentaram grande correlação, com ocorrência nos diferentes setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, nos meses de maio, julho, setembro e novembro. Indicando associação com o período de estiagem, formando um padrão sazonal significativo, o que pode estar relacionada ao aumento da temperatura, concentração da carga de matéria orgânica e de fitoplâncton, resultando em maior produção primária de oxigênio e aumento da demanda devido a decomposição. Existe uma dinâmica sazonal pronunciada do OD, impulsionada pela temperatura, atividade biológica e condições hidrodinâmicas, com influência dominante dos produtores primários (isto é, organismos fotossintéticos) (Maier et al., 2025). A elevação da temperatura da água aumenta a capacidade de assimilação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Chapra; Camacho; McBride, 2021).

Na parte negativa do eixo 1, turbidez, nitrogênio total, fósforo total e sólidos totais mantiveram forte correlação, estando associadas ao baixo curso, formando um forte padrão espacial. A elevação dos valores dessas variáveis, em geral está relacionada ao aporte de poluentes e sedimentos, não por acaso a associação das mesmas com o setor fluvial da bacia

hidrográfica que apresenta maior degradação da qualidade da água e maior proporção classes uso de cobertura de terra que caracterizam antropização. As maiores concentrações de turbidez e condutividade elétrica, assim como a maior proporção de áreas antropizadas (36,64%), foram verificadas no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (Martins et al., 2026). As principais fontes de poluição por nitrogênio e fósforo de rios em áreas urbanas, são o esgoto doméstico e sedimentos do fundo do rio em período de estiagem, já no período chuvoso são as águas pluviais e o escoamento superficial urbano (Chen; Yao; Chen Yiling, 2025).

Já na parte positiva do eixo 2, precipitação, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e pH foram variáveis que apresentaram grande correlação, com ocorrência nos diferentes trechos da bacia hidrográfica, durante o período chuvoso, formando um padrão temporal significativo. Essa forte correlação se deve ao maior aporte de matéria orgânica, de fontes pontuais (efluentes) e difusas (agropecuária), durante o período chuvoso, que eleva as concentrações das bactérias do grupo coliformes termotolerantes e impacta o pH em consequência da posterior decomposição da matéria orgânica. O aumento do escoamento superficial após a chuva leva mais matéria orgânica para o rio, resultando na diminuição do valor do pH (Ling et al., 2017). A precipitação e o consequente aumento do escoamento superficial está associada a aumentos exponenciais nas concentrações de bactérias do grupo coliformes em corpos d'água (Tornevi; Bergstedt; Forsberg, 2014).

A parte negativa do eixo 2, correlacionou de forma significativa as variáveis vazão, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade, associando-as ao período chuvoso e ao baixo curso, formando padrões temporal e espacial. Essa correlação pode ser explicada pelo aumento do escoamento superficial e subsuperficial, que culminam com o aumento da vazão, do carreamento de material para os corpos d'água durante o período chuvoso, e pela mudança no uso e cobertura da terra, caracterizada pela perda de vegetação nativa e avanço de áreas antropizadas. Por ano, cerca de 535 km² ou 53,5 mil hectares, são convertidas em pastagem ou áreas destinadas à agricultura na bacia hidrográfica do rio Itapecuru (Masullo et al., 2019). Chuvas intensas aumentam os níveis de água e vazões dos rios, além de poderem levar à mobilização de sedimentos e poluentes para os seus leitos (Uber et al., 2025).

4 CONCLUSÕES

Ao longo desse estudo foi verificado que a bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresentou significativa degradação da qualidade da água ao longo dos seus trechos, a partir da aplicação dos Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico e da dinâmica de algumas variáveis ambientais, especialmente fósforo total, coliformes termotolerantes e turbidez, pôde-se determinar que as principais causas da perda de qualidade da água são o lançamento de esgoto *in natura* nos corpos d'água e a mudança do uso e cobertura da terra no território da bacia hidrográfica, sendo possível estabelecer um padrão espacial, no qual o alto curso apresentou melhor qualidade da água e o baixo curso uma maior degradação da qualidade da água.

Essa realidade observada na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, liga o alerta acerca dos usos da água no seu território, pois a baixa qualidade pode impossibilitar que alguns usos sejam desenvolvidos com segurança adequada, sem representar riscos à saúde, segurança e bem-estar dos usuários da água e ao equilíbrio ecológico na bacia hidrográfica, evidenciando a urgência com que esse cenário de degradação da qualidade da água deve ser revertido, de modo a garantir a perenidade dos recursos hídricos em quantidade e qualidade necessárias aos múltiplos usos da água e o alcance das metas do ODS 6 (Água potável e Saneamento).

Demonstrada ainda, a necessidade de investimentos em ações para adequar a qualidade da água às exigências estabelecidas pela Resolução do Conama nº 357 de 17 de março de 2005, sobretudo, o enquadramento dos corpos hídricos, com o estabelecimento da classe que deve ser alcançada ou mantida, com base nos os usos preponderantes pretendidos e o contínuo monitoramento para acompanhar a condição e controle do corpo hídrico, como forma de verificar a compatibilidade da qualidade da água, com o tipo de uso a ser desenvolvido.

E por fim, sugere-se que sejam realizadas políticas de saneamento básico no território da bacia hidrográfica, especialmente nas cidades instaladas às margens dos principais corpos hídricos dessa rede de drenagem; de gestão territorial para ordenar o uso e ocupação do solo em todo o território da bacia hidrográfica e em governança e gestão hídrica, para garantir a perenidade dos recursos hídricos, promovendo a equidade entre os diferentes usuários da água, mantendo suas funções ecológicas e o desenvolvimento das atividades sociais e econômicas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Panorama das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2012. 265 p.

_____. **Resolução nº 643 de 27 de junho de 2016**. Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água –QUALIÁGUA. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/643-2016.pdf. Acesso em: 06/07/2025.

_____. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. 92 p.

_____. **Relatório digital de qualidade da água superficial no Brasil 2024**. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: <https://qualidadedaagua.ana.gov.br/>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Org: BRANDÃO, C. J. et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

AHMED, S. F., et al. **Threats, challenges and sustainable conservation strategies for freshwater biodiversity**. Journal Environmental Research, v.214, 2022. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113808>

ALBANELL, C. M.; RYU, D.; MARTÍN, M. A. P. **Water temperature model to assess impact of riparian vegetation on jucar river and spain**. Journal Water, v.16, 2024. Doi:<https://doi.org/10.3390/w16213121>

ALCÂNTARA, E. H. de. **Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão - Brasil**. Revista Caminhos de Geografia, v. 5, n. 11, p. 97–113, 2004. Doi:<http://dx.doi.org/10.14393/RCG51115328>

ALMEIDA, R. A. S. de. **Índices de qualidade da água**. Cruz das Almas-BA, EDUFRB, 2021. 141p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed., 2005. Section 9222. Membrane filter technique for members of the coliform group. American Public Health Association, Washington, DC.

AMORIM, D. G. et al. **Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA)**. Revista engenharia sanitária e ambiental, v.2, n.2, p.251-259, 2017. Doi:<https://10.1590/S1413-41522016131212>

ARAÚJO, O. **Bacia hidrográfica do rio Jacuípe: influência de cidades do médio curso no processo de degradação ambiental**. Revista Sitientibus, n.54, p.23-34, 2016. Doi:10.13102/sitientibus.v0i54.4629

ARCOS, A. N.; CUNHA, H. B. da. **Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira**. Revista caminhos da geografia, v.22, n.80, p.01-14, 2021.
Doi:<http://doi.org/10.14393/RCG228053079>

ASAKA, J. O., ARGOMEDO, D. W., JONES, N. P. **Climate change risks to water security: Exploring the interplay between climate change, water theft, and water (in)security**. Journal Water Policy. v.00, n.0, p.1-22, 2024. Doi:
<https://doi.org/10.2166/wp.2024.213>

BENINI, R. de M.; MENDIONDO, E.M. **Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho**. Revista floresta e ambiente, v.22, n.2, 2015.
Doi:<https://doi.org/10.1590/2179-8087.103114>

BOWES, M. J.; SMITH, J.T.; HELEN, S.; NEAL, C. Modelling of phosphorus inputs to rivers diffuse and sources. Journal the Science of the total environment, v.395, n.2-3, 2008.
Doi: <https://10.1016/j.scitotenv.2008.01.054>

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em:
https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450
Acesso em: 08 de julho de 2025.

BROWNLIE, W.J. et al. **Our Phosphorus Future**. UK Centre for Ecology & Hydrology, Edinburgh. 2022, 388 p. Doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17834.08645>

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Water Quality Index, User's Manual**, 2017. 23P.

CHAPRA, S. C.; CAMACHO, L. A.; MCBRIDE, G. B. **Impact of Global Warming on Dissolved Oxygen and BOD Assimilative Capacity of the World's Rivers: Modeling Analysis**. Journal water v.13, n.17, 2021. Doi:<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/17/2408>

CHEN Y. et al. **Impact of degradation and dilution characteristics of effluent discharged from Shaying River on the water quality of water-intake of Xifei River**. Journal of Hohai University , v.51, n.6, p.29-36, 2003. Doi:<https://doi.org/10.3876/j.issn.1000-1980.2023.06.004>

CHEN, Yuanpei.; YAO, Weike.; CHEN, Yiling. **High-precision prediction of total nitrogen based on distance correlation and machine learning models—a case study o dongjiang river, china**. journal water, v.17, n.8, p.11-31, 2025.
Doi:<https://doi.org/10.3390/w17081131>

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. série relatórios 2017**. São Paulo, SP, 2018. 301 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relatório-de-Qualidade-das-Águas-Interiores-no-Estado-de-São-Paulo-2017.pdf> Acesso em: 12 de novembro de 2024.

Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. série relatórios 2021. São Paulo, SP, 2022. 287 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/RAI-2021-Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo.pdf> Acesso em: 05 de dezembro de 2024.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIA, R. et al. **Qualidade da água em um ecossistema lótico urbano**. Revista brasileira de recursos hídricos, v.20, n.1, p.267-275, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/FatimaFia/publication/305306771>

FIGUEIREDO, J. A. de et al. **Avaliação biogeoquímica de águas fluviais com ênfase no comportamento dos compostos de nitrogênio e fósforo total para diagnoses provenientes do sistema aquático Bacia do Rio Doce, no Espírito Santo**. Revista Geochimica Brasiliensis, v.28, n.2, p. 215-226, 2014. Doi: <https://10.5327/Z0102-9800201400020009>

GIOVANARDI, F., VOLLENWEIDER, R.A. **Trophic conditions of marine coastal waters: Experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas**. Journal of Limnology. V.63, n.2, p.199–218, 2004. Doi:<https://doi.org/10.4081/>

HUANG, Z. G. et al. **Dilution and precipitation dominated regulation of stream water chemistry of a volcanic watershed**. Journal of hydrology, v.583, 2020. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124564>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Zoneamento geoambiental do estado do – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial**. Diretoria de Geociência, Divisão de Geociências da Bahia. Salvador: IBGE, 1997.44 p.

Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial. Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

Cidades e Estados do Brasil. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 06/06/2025.

JO, C. O. et al. **Light Intensity Required for the Spring Phytoplankton Bloom in the East Sea**. Journal Sensors and Materials, v.35, n, 9, p.3499–3509, 2023. Doi:<https://doi.org/10.18494/SAM4489>

KUMAR, D. et al. **Global water quality indices: Development, implications, and limitations**. Journal Total Environment Advances, v.9, 2024. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.teadva.2023.200095>

LIMA, B. P., MAMEDE, G. L., NETO, I. E. **Monitoramento e modelagem da qualidade da água em uma bacia hidrográfica semiárida**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.23, n.1, p.125-135, 2018. Doi: <https://10.1590/S1413-41522018167115>

LING, T. Y. et al. **Influence of rainfall on the physicochemical characteristics of a tropical river in Sarawak, Malaysia.** Polish Journal of Environmental Studies, v. 26, n. 5, p. 2053-2065, 2017. Doi: <https://doi.org/10.15244/pjoes/69439>

MAIER, J. et al. **Hydrodynamic and Primary Production Effects on Seasonal DO Variability in the Danube River.** Journal egusphere, v.15, n.80, 2025. Doi:<https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-1580>

MAINSTONE, C. P.; PARR, W. **Phosphorus in rivers — ecology and management.** Journal the Science of the total environment, v.283, p.25-47, 2022. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00937-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00937-8)

MARTINS, R. A. et al. **Assessment of surface water quality of the lower course of the Itapecuru river basin, Maranhão state, Brazil.** Journal applied ecology and environmental research, v.6. 2022. Doi: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2006_53815396

MARTINS, R. A. et al. **qualidade da água do baixo curso do rio itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos.** Revista Foco, v.16, n.9, 01-22p. 2023. Doi:<http://10.54751/revistafoco.v16n9-111>

MARTINS, R.A; LOURENÇO, C.B; SOARES, L.S. **Água, de usos a conflitos: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão.** Revista sapiência, v.14, n.04, p.377-402, 2025. Doi: <https://doi.org/10.31668/d7d6hs13>

MARTINS, R.A; BORGES, J. de O.; LOURENÇO, C.B.; SOARES, L.S. **Uso e cobertura da terra e sua implicação na qualidade da água em uma bacia hidrográfica na zona de transição amazônia-cerrado: um estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.** Revista caminhos de geografia, v.27, p. e2720, 2026. Doi:[10.14393/RCG2778953](https://doi.org/10.14393/RCG2778953)

MASULLO, Y. A. et al. **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA.** Revista brasileira de geografia física, v.12, n.03 p.1054-1073, 2019. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1054-1073>

NASCIMENTO, M. A. S. do. **Abastecimento de água no município de São Luís (Maranhão), após 10 anos do marco regulatório 2007.** São Luís. Editora Paschal. 2021.108 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021.** O valor da água: fatos e dados. UNESCO. Paris, 2021.

_____. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023.** Parcerias e cooperação para água: fatos, dados e exemplos de ação. UNESCO. Paris, 2023.

NIETO, P.; J.; G.; et al. **Previsão da concentração de clorofila-a como indicador da biomassa fitoplanctônica no reservatório de El Val utilizando diversas técnicas de aprendizado de máquina: um estudo de caso na bacia do rio Ebro, Espanha.** Revista de Hidrologia, v.639, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131639>

NÚCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO-NUGEO. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão.** Relatório Técnico. 2016. 166 p.

NUNES, P. et al. **Responses of Phytoplanktonic Chlorophyll-a Composition to Inorganic Turbidity Caused by Mine Tailings.** Journal Front. Environ. Sci, v.9: 2022. Doi: 10.3389/fenvs.2021.605838

OLDS, H.T. et al. **High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators.** Journal PLoS Med, v.15 n.7, 2018. Doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002614>

OLIVEIRA, L. C. de. et al. **Variação espacial e temporal dos fatores limnológicos em riachos da microbacia do rio São Francisco Verdadeiro.** Revista engenharia agrícola, v.28, n.4, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400017>

OLIVEIRA, T.M.B.F.; SOUZA, L. di; CASTRO, S.S.L.de. **Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/ Mossoró - RN - Brasil.** Revista Eclética Química, v.34, n.3, p.17-26, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702009000300002>

PARUCH, L. et al. **Faecal pollution affects abundance and diversity of aquatic microbial community in anthropo-zoogenically influenced lotic ecosystems.** Journal Scientific Reports, v. 9, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56058-x>

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA. **Progresso na Qualidade da Água Ambiente: Status de médio prazo do Indicador 6.3.2 do ODS e necessidades de aceleração, com foco especial em Saúde,** Nairóbi.2024. 78P.

QUEIROZ, L. G.; SILVA, F. T. da.; PAIVA, T. C. B. de. **Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil.** Revista ambiente e água, v.12 n.2, 2017. Doi:<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1949>

RODRIGUES-FILHO, J. L. e t al. **Padrões espaciais de qualidade de água na Bacia do Rio Xingu (Amazônia) anteriores a barragem de Belo Monte.** Brazilian journal of biology, v.75, n.3, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02914BM>

SALAES, J.M. de J. et al. **Variabilidade espaço-temporal da qualidade da água em área de agricultura irrigada.** Revista brasileira de agricultura irrigada, v.14, n.3, p.4071-4085, 2020. Doi: <https://10.7127/rbai.v14n101167>

SILVA, C. G. de M. **Modelo para determinação da temperatura de água em rios.** Engineering & technology scientific journal, v.1, n.1, 2023. Doi:<http://dx.doi.org/10.55977/etsjournal.v01i01.e023008>

SILVA, D. de J.; CONCEIÇÃO G.M. da. **Rio Itapecuru: caracterização geoambiental e socioambiental, município de Caxias, Maranhão, Brasil**, 2011.

SILVA, Q. D. et al. **Uso e cobertura da terra médio curso da bacia do rio Itapecuru**. Revista Research, Society and Development, v. 11, n. 8, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.29610>

SILVA JUNIOR, L.R.S. da; AZEVEDO, J.P.S de. **Influência do saneamento na qualidade de água em rios: uma análise através de modelagem de qualidade de água**. Revista mix sustentável, v.8, n.1, p.41-52, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.41-52>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO (SINISA, 2020). **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Ministério das cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2020.

SOARES, L. S. et al. **Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil**. Revista Espacios, v.37, n.14, p.6-18, 2016. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a16v37n14/16371406.html?utm_source

SOUZA, J. R. de. et al. **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil**. REDE - Revista Eletrônica do Prodepa, v.8, n.1, p. 26-45, 2014.

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo, Oficina de textos, 2017. 336p.

WEN, J. et al. **Trends and drivers of water use change in economic activities of Zhejiang Province, China, before and during the COVID-19 pandemic**. Journal of Hydrology, v.631, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130830>

TORNEVI, A.; BERGSTEDT, O.; FORSBERG, B. **Precipitation effects on microbial pollution in a river: lag structures and seasonal effect modification**. Journal PloS one, v.9, n.5, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098546>

TUNDISI, J. G. **Novas perspectivas para a gestão dos recursos hídricos**. Revista USP, n.70, p.24-35, 2006.

TUNDISI, J. G., TUNDISI, T. M. **A água**. São Carlos: editora Scienza, 2020. 130p.

UBER, M. et al. **Dinâmica da precipitação, vazão, sedimentos em suspensão e transporte de micropoluentes no rio Mosela, Europa Central**. Journal environ Sci Eur, v. 37, n.204, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01243-1>

VAN VLIET, M. T.H. **Urban Water Challenges**. In: **The Future of Urban Clean Water and Sanitation**. Journal One Earth, v.1, n.1, p.10-12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.08.010>

CAPÍTULO III

ÁGUA, DE USOS A CONFLITOS: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU, MARANHÃO³

RESUMO

A água é essencial para a sobrevivência de todos os organismos. Além de necessitar dela para suas funções vitais, o que é suprido pela dessedentação, à espécie humana também a utiliza para muitas outras atividades, esses usos múltiplos da água democratizam o acesso, que é cada vez mais ameaçado pela redução da disponibilidade em quantidade e qualidade necessária aos diversos usos. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo identificar os principais usos da água e cenários de conflitos hídricos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Os usos da água foram identificados a partir de visitas de campo na bacia hidrográfica, análise de imagens de satélite e de revisão de literatura; o balanço hídrico foi verificado pela comparação entre a disponibilidade hídrica dos corpos d'água (vazão natural) e a demanda hídrica outorgada (volume de água captado com a autorização do Órgão Gestor de Recursos Hídricos); a condição de qualidade da água foi definida a partir do índice de qualidade da água - IQA-CCME e os cenários de riscos de conflitos foram traçados em função do balanço hídrico e da condição de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru. Os resultados mostraram que existe uma grande diversidade de usos da água na bacia hidrográfica, com destaque para irrigação, o abastecimento urbano e rural e a pecuária. Mostraram ainda, uma grande disponibilidade hídrica, com baixo comprometimento da oferta de água com percentuais inferiores a 25%, com possível subestimação desse percentual por conta de captações irregulares; uma condição de qualidade da água ruim, tendo em vista a classe de enquadramento dos corpos d'água e cenários de riscos de potenciais conflitos hídricos em função da perda de qualidade da água.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica. Qualidade da água. Conflitos Hídricos.

³ Trabalho publicado na Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas educacionais, v.14, n.04, 2025.
Doi: <https://doi.org/10.31668/d7d6hs13>, Qualis A3.

WATER, FROM USES TO CONFLICTS: CASE STUDY IN THE ITAPECURU RIVER BASIN, MARANHÃO

ABSTRACT

Water is essential for the survival of all living organisms. In addition to fulfilling vital physiological functions through direct consumption, human societies rely on water for a wide range of other activities. These multiple uses promote broad access; however, such access is increasingly threatened by declining water availability in both quantity and quality required to sustain diverse demands. In this context, this study aimed to identify the main water uses and potential water conflict scenarios in the Itapecuru River basin. Water uses were identified through field visits within the basin, satellite image analysis, and literature review. The water balance was assessed by comparing the natural water availability of water bodies (natural streamflow) with the authorized water demand (volume of water abstracted under permits issued by the Water Resources Management Authority). Water quality conditions were determined using the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME-WQI). Potential water conflict risk scenarios were defined based on the water balance and water quality conditions of the Alpercatas and Itapecuru rivers. The results revealed a wide diversity of water uses within the basin, particularly irrigation, urban and rural water supply, and livestock farming. The basin exhibited high water availability, with low levels of water supply commitment (less than 25%), although this percentage may be underestimated due to irregular water abstractions. However, water quality conditions were classified as poor, considering the legal classification of the water bodies, leading to potential conflict risk scenarios primarily associated with water quality degradation rather than quantitative scarcity.

Keywords: Water availability. Water quality. Water conflicts.

1 INTRODUÇÃO

Todos os organismos necessitam de água para a sobrevivência. Além de necessitar dela para suas funções vitais, o que é suprido pela dessedentação, a espécie humana também usa água para muitas outras atividades (Tundisi, J.; Tundisi, T., 2020). A água alimenta a prosperidade, atendendo às necessidades básicas humanas, apoia a saúde, os meios de subsistência e o desenvolvimento econômico, sustenta a segurança alimentar e energética e defende a integridade ambiental (Organização das Nações Unidas, 2024).

Nessa perspectiva a água é tida como uma substância indispensável à vida e que propicia diversas atividades humanas, mas que vem se tornando um recurso cada vez mais raro. Isso porque ela tem que estar junto ao usuário, ou ser transportada até ele em quantidade e qualidade apropriada aos múltiplos usos (Ribeiro, Santos, Silva, 2019).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (2024), o uso da água doce tem aumentado um pouco menos de 1% ao ano, globalmente os usos que mais demandam água são: agricultura 70%, usos industriais incluindo a geração de energia 20% e uso doméstico 10%. No Brasil os principais usos consuntivos (quando ocorre retira de água do manancial) são: irrigação 50%, abastecimento urbano 23,4%, indústria 9,2%, consumo animal 7,9%, termoelétrica 6,4%, mineração 1,6% e abastecimento rural 1,5% (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2024).

A intensificação e diversificação do uso da água para atender as demandas impostas pelas atividades econômicas e sociais, aumenta a procura por água e pode levar ao aguçamento de tensões e conflitos entre os usuários dos recursos hídricos, nesse contexto Böhmelt et al. (2014), consideram o aumento da densidade populacional, da produtividade agrícola e do desenvolvimento econômico, como os maiores impulsionadores da demanda por água doce, com mais probabilidade de aumentar o risco de conflito doméstico por água.

A gênese dos conflitos pela água está na forma de apropriação da água, suas transformações concretas decorrentes das atividades humanas e quais os fins que se busca com a apropriação desse recurso (Fracalanza, 2005). Corroborando com esse entendimento Karamidehkordi et al. (2024), relatam que os conflitos pela água surgem quando há uma distribuição limitada e desigual dos recursos hídricos, levando à tensão entre diferentes partes interessadas, como comunidades locais, indústria e governos.

Para Pedrosa (2020), os conflitos pelo uso da água podem ser divididos em três tipos, o primeiro ocorre quando a água está indisponível, em certo intervalo de tempo, em quantidade ou qualidade, para atender os usos requeridos, incluindo as funções ambientais contidas nos

ecossistemas associados à fonte hídrica; o segundo decorre de planejamentos setoriais discordantes e o terceiro se origina de legislação correlatas em desarmonia.

Em análise final, a relação disponibilidade hídrica versus demanda hídrica, é o que arquiteta os conflitos pelo uso da água, que surgem pela escassez, impactando na quantidade; pela insalubridade ambiental, por conta da perda de qualidade da água e por cenários futuros que vislumbrem a ocorrência desses fatores. Conflitos podem, portanto, surgir em várias escalas e níveis, entre os setores de uso agrícola, industrial e doméstico da água, bem como a reserva natural devido ao aumento do estresse hídrico na bacia hidrográfica (Du plessis, 2019).

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresenta disponibilidade hídrica anual da ordem 1.112.550.000 m³/s/ano, e demanda hídrica de 306.640.000 m³/s/ano, que corresponde a 27,56% da disponibilidade hídrica, os usos que mais demandam água são, abastecimento urbano 66,86% - 204.920.000 m³/s/ano, irrigação 23,59% - 72.340.000 m³/s/ano, abastecimento rural 4,44% - 13.640.000 m³/s/ano, pecuária 4,17% - 12.830.000 m³/s/ano e indústria 0,94% - 2.910.000 m³/s/ano (NUGEO, 2016).

Apesar dessa bacia hidrográfica apresentar um percentual relativamente baixo de comprometimento da disponibilidade hídrica 27,56%, a existência de captações irregulares, que não entram no cálculo da demanda hídrica, e a degradação da qualidade da água observada em muitos corpos d'água, especialmente no rio Itapecuru, que foi verificada a partir de concentrações elevadas de variáveis físicas, químicas e biológicas, que estão associadas principalmente à disposição de efluentes domésticos sem tratamento e a mudança no uso e cobertura da terra no território da bacia hidrográfica, geram cenários de riscos de conflitos hídricos (Costa et al., 2015; NUGEO, 2016; Paula et al., 2022; Soares et al., 2022).

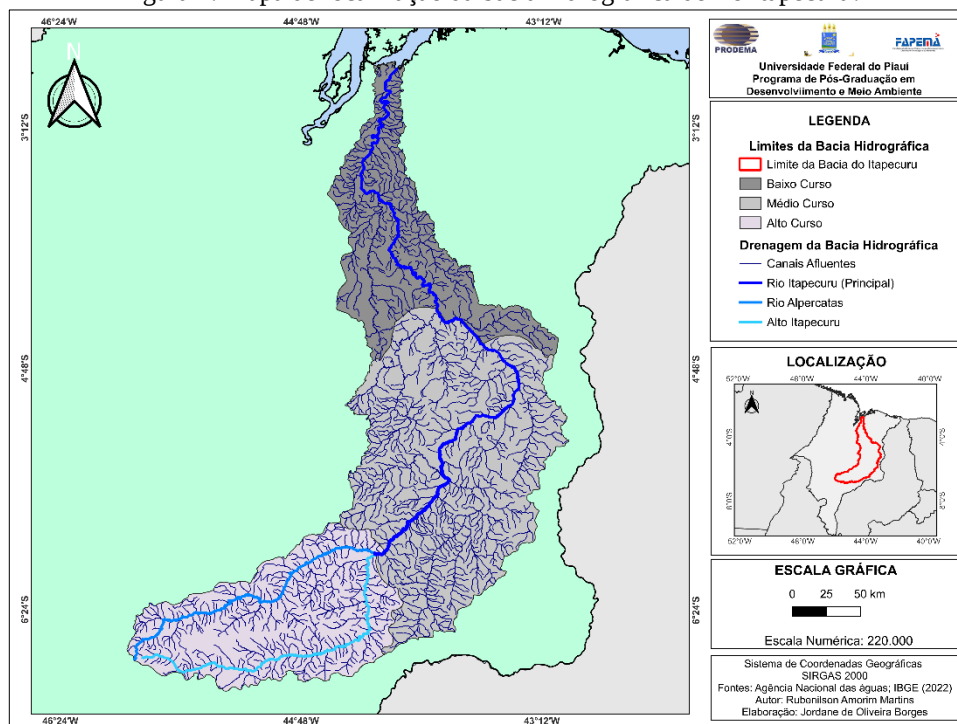
Nesse contexto, a pesquisa teve por objetivo identificar os principais usos da água e cenários de riscos de conflitos hídricos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, este direcionamento se justifica pelo fato dos conflitos hídricos em geral serem causados pela impossibilidade de se realizar determinados tipos de usos da água, o que ocorre em função da redução da quantidade e perda de qualidade água, a hipótese que fundamenta este trabalho é que os cenários de conflitos pelo uso da água na bacia do hidrográfica do rio Itapecuru são projetados especialmente por causa da degradação da qualidade da água que inviabiliza alguns usos, para tanto foi verificada a condição da qualidade da água por meio do IQA-CCME e a disponibilidade hídrica através do balanço hídrico. Entendendo-se que a pesquisa poderá nortear a gestão e governança da água no território da bacia hidrográfica acerca dos usos da água e projeção de cenários de conflitos hídricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está localizada na parte centro-leste do estado do Maranhão, entre as coordenadas de 2°51'33" a 6°52'22" Latitude S e 43°02'49 a 45°58'57" Longitude O (figura 1), limita-se ao sul e leste com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba através da Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras pequenas elevações, a oeste e sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim e a noroeste com a bacia hidrográfica do rio Munim (IBGE, 1998).

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Possui área de 53.216,84 km², o que equivale a 16,03% da área do estado, representando a segunda maior bacia hidrográfica do Maranhão, atrás apenas da bacia hidrográfica do rio Mearim com área de 99.058,68 km². O principal rio é o Itapecuru, que nasce no sul do estado no sistema formado pelas Serras da Croeira, Itapecuru e Alpercatas, em altitude de aproximadamente 530 m, percorre cerca de 852,71 km, desaguando na baía do Arraial, a Sudeste da Ilha do Maranhão (NUGEO, 2016). No alto curso, próximo a cidade de Colinas, ocorre a confluência do rio Itapecuru com o rio Alpercatas, seu principal afluente pela margem esquerda, a partir desse ponto o rio Itapecuru se torna mais largo e volumoso (figura 1) (IBGE, 1997).

Situa-se em uma zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia; com base no índice de umidade de Thornthwaite encontra-

se: clima úmido no baixo curso, clima úmido a subúmido no curso médio e clima subúmido a seco no alto curso; o que é refletido nas formações vegetais que transicionam do Cerrado no sul, para floresta estacional decidual e semidecidual, na parte norte da bacia hidrográfica (IBGE, 1998).

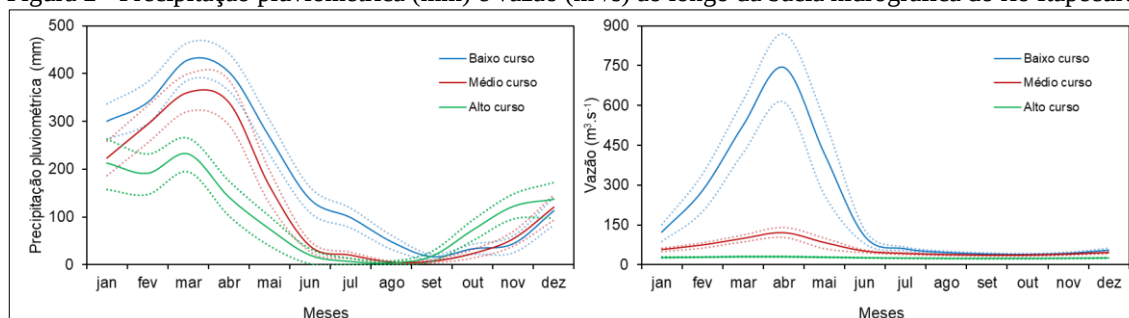
2.2 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

2.2.1 Precipitação pluviométrica e vazão

Para definição dessas variáveis foram extraídos dados do portal HidroWeb gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, das estações pluviométricas Campo Largo – 644015, Coroatá – 444001 e Presidente Juscelino – 344010 e das estações fluviométricas, Mirador – 33420000 (alto Itapecuru), Fernando Falcão – 33430000 (rio Alpercatas), Colinas – 33480000 e Caxias – 33550000 (médio Itapecuru), Codó – 33590000, Coroatá – 33630000 e Cantanhede – 33680000 (baixo Itapecuru).

A partir desses dados foi calculada a média climatológica da precipitação pluviométrica e vazão, e seus respectivos intervalos de confiança, com base nos últimos 30 anos (1993 a 2023). De acordo com a média climatológica foram identificados períodos sazonais bem definidos, um chuvoso (dezembro a maio) e um de estiagem (junho a novembro) com padrões similares nos cursos da bacia (figura 2). O mesmo padrão foi observado para os dados de vazão.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) e vazão (m^3/s) ao longo da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Martins; Lourenço; Soares (2025).

Quanto ao padrão sazonal da precipitação pluviométrica e da vazão, pode-se observar uma variação espacial em relação aos cursos dos rios. No período chuvoso os valores médios mais baixos observados foram no alto curso, tanto para precipitação como para vazão ($\sim 164\text{mm}$ e $28\text{ m}^3/\text{s}$) e os valores mais elevados no baixo curso ($\sim 308\text{ mm}$ e $358\text{ m}^3/\text{s}$). Destaca-se março como mês que apresentou os valores médios de precipitação mais elevados em todos os trechos, ~ 231 no alto, $\sim 361\text{ mm}$ no médio, $\sim 428\text{ mm}$ no baixo; e abril os valores médios mais elevados de vazão em todos os trechos, $31\text{ m}^3/\text{s}$ no alto, $122\text{ m}^3/\text{s}$ no médio e $744\text{ m}^3/\text{s}$ no baixo.

No período de estiagem os menores valores médios de precipitação pluviométrica e vazão também foram observados no alto curso ($\sim 41\text{mm}$ e $24\text{ m}^3/\text{s}$) e os maiores no baixo curso

(~ 63mm e 56 m³/s). Destaca-se o mês de agosto com os menores valores médios de precipitação no alto curso ~4mm e médio curso ~5mm e setembro no baixo curso ~16mm; e setembro com os menores valores médios de vazão no alto curso 22 m³/s e médio curso 35 m³/s e outubro no baixo curso 39 m³/s.

2.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

A identificação dos principais usos da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru ficou concentrada nos rios Alpercatas e Itapecuru e foi realizada a partir de revisão bibliográfica em livros, relatórios, artigos e outras publicações alusivas à temática, observações in loco ao longo das atividades de campo de coleta de amostras de água e registro fotográfico dos usos da água, análise de imagens de satélites, levantamento da tipologia e do quantitativo de atividades/empreendimentos com outorgas de uso da água ativas nos referidos corpos d' água, junto ao órgão gestor de recursos hídricos (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão-SEMA-MA).

2.4 DEFINIÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

O balanço hídrico superficial refere-se à relação entre demandas e disponibilidades hídricas (dem/disp), com a definição do percentual de comprometimento da oferta de água. A disponibilidade hídrica se refere à quantidade de água ofertável com uma dada garantia no tempo. Corresponde a uma vazão natural com 95% de garantia (Q95) nos trechos de rio em geral (ANA, 2020). A demanda de água corresponde à estimativa da vazão de retirada, ou seja, a água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos (ANA, 2016a).

A demanda hídrica definida no rio Alpercatas, alto, médio e baixo curso do rio Itapecuru, foi estimada com base no volume de água a ser captado nesses cursos d' água de acordo com cada tipo de uso de água outorgado pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos (SEMA-MA), que usa a vazão mínima Q95 como vazão de referência para emissão das outorgas, essa vazão mínima é calculada sobre toda a série de dados de vazões de determinado segmento do rio. Os dados das outorgas ativas usados para definição da demanda hídrica foram disponibilizados pela SEMA-MA.

A definição da vazão natural (oferta hídrica) do rio Alpercatas e dos trechos do rio Itapecuru foi feita a partir dos dados da série histórica de vazões de 1993 a 2023, das estações fluviométricas alocadas nesses corpos d' água, disponíveis no Portal HidroWeb gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. As vazões médias da série histórica

dos meses correspondentes ao período chuvoso (dezembro a maio) e ao período de estiagem (junho a novembro), foram usadas para definição da vazão média para cada período sazonal.

O balanço hídrico foi definido a partir da relação entre demanda e oferta hídrica, onde verificou-se a percentagem que o valor da demanda correspondeu em relação ao valor da oferta hídrica, o percentual encontrado representou o grau de comprometimento da oferta hídrica. Para isso, levou-se em consideração as estimativas de retirada de água verificadas em áreas específicas na bacia hidrográfica do rio Itapecuru (rio Alpercatas, alto, médio e baixo curso do rio Itapecuru), conforme o uso e o volume de água a ser captado definidos nas outorgas ativas e a vazão natural dos trechos dos referidos corpos d'água.

O gráfico com os valores das médias das vazões foi confeccionado usando-se o software XLSTAT Basic.

2.5 MENSURAÇÃO DA CONDIÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

A mensuração da condição de qualidade da água ocorreu nos rios Alpercatas e Itapecuru, e foi realizada a partir da aplicação do Índice de Qualidade da Água - IQA-CCME, esse índice se baseia na comparação dos valores dos dados de monitoramento da qualidade da água com os padrões de qualidade da água instituídos pela legislação. O IQA-CCME foi determinado a partir do cálculo dos valores das variáveis potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, turbidez e coliformes termotolerantes, sendo, portanto, as mesmas variáveis que a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012), adota na definição desse índice, com os valores dessas variáveis estabelecidos conforme classes de enquadramento presentes na Resolução do Conama nº 357 de 17 de março de 2005.

O índice varia de 0 a 100 (tabela 1), sendo que o valor perto de zero significa uma situação em que a condição do corpo hídrico está muito distante do enquadramento desejado e próximo de cem indicará situação de conformidade com o enquadramento (ANA, 2012).

Tabela - 1: Classes do Índice de Qualidade da Água IQA-CCME

Classe	Valor
ÓTIMA	95-100
BOA	80-94
REGULAR	65-79
RUIM	45-64
PÉSSIMA	0-44

Fonte: CCME (2017).

O IQA-CCME é a combinação de três fatores que mensuram o não atendimento aos critérios de qualidade propostos, ou seja, mensuram a desconformidade ao enquadramento. Assim, o índice analisa os seguintes fatores.

Fator 1 - Abrangência: representa o número de variáveis de qualidade da água que, pelo menos uma vez no período de observação, não atenderam os limites estabelecidos.

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que as variáveis de qualidade da água estiverem em desconformidade, em relação ao número de observações.

Fator 3 - Amplitude: representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, isto é, a diferença entre o valor mensurado e o valor a ser alcançado de acordo com o objetivo de qualidade da água.

O mapa com os valores do IQA-CCME foi confeccionado com o software Surfer versão 9.

2.6 CENÁRIOS DE RISCOS DE CONFLITOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Os cenários de riscos de conflitos em função da redução da quantidade de água disponível – disponibilidade quantitativa - (decorrente da redução drástica das reservas hídricas, pelo uso consuntivo intensivo ou por variações de níveis que inviabilizam um determinado uso), foram apontados a partir da análise do balanço hídrico dos rios Alpercatas e Itapecuru, em que foram realizadas comparações entre a disponibilidade hídrica (definida a partir da média das vazões registradas entre 1993 e 2023) nos períodos chuvoso e de estiagem e a demanda hídrica (definida a partir do volume de água captado nos corpos hídricos durante os períodos chuvoso e de estiagem, com base nas outorgas de uso da água ativas emitidas pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos).

Os cenários de riscos de conflitos em função da perda de qualidade da água - disponibilidade qualitativa – foram apontados por meio da análise da compatibilidade dos usos da água com a condição de qualidade da água verificada nos rios Alpercatas e Itapecuru, levando-se em consideração o padrão de qualidade exigido por cada tipo de uso da água, para que seja realizado com segurança adequada, mediante a classe de qualidade da água na qual foram enquadrados, conforme preconiza os Artigos 4º, 14º, 15º, 16º e 17º da Resolução do Conama nº 357 de 17 de março de 2005.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 USOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Pode-se destacar como principais usos da água nos principais rios da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (rios Alpercatas e Itapecuru): irrigação, consumo humano (abastecimento urbano e rural), pecuária, aquicultura, balneabilidade (lazer), pesca amadora e usos domésticos (quadro 1).

Quadro 01: Registro dos usos da água identificados no rio Itapecuru.

Tipos de uso da água	Registro fotográfico e imagens de satélite	
1 Captação para abastecimento público 2 Captação para usos diversos (aquicultura, dessedentação de animais ou irrigação).		
3 e 4 Aquicultura		
5 e 6 Usos domésticos		

7 Lazer 8 transporte (navegação)		
9 e 10 Pesca amadora		
11 Irrigação		

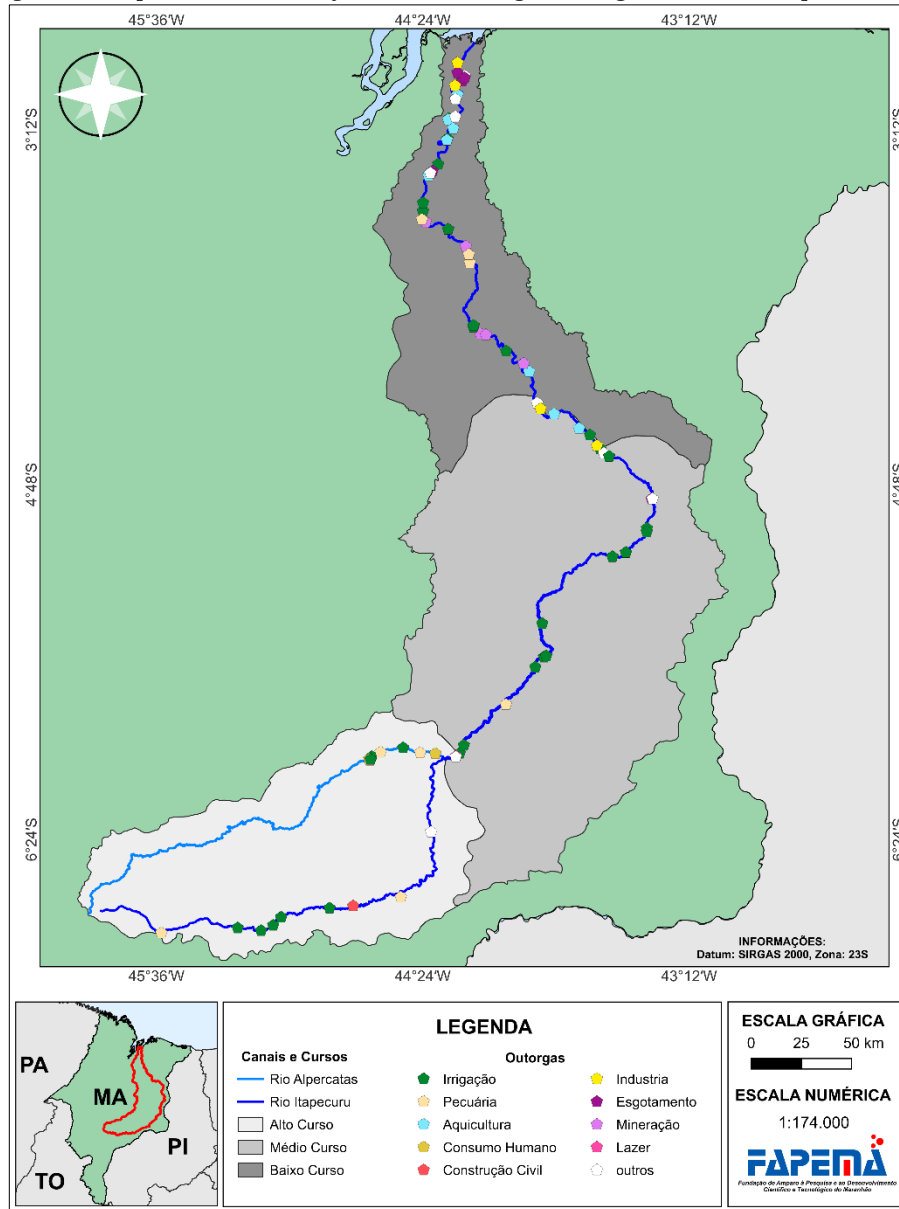
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Como alguns desses usos da água não são outorgáveis, não necessitam de autorização do Órgão Gestor de Recursos Hídricos para serem realizados, não entram nas estatísticas de outorgas emitidas, dentre os quais destacam-se balneabilidade, pesca amadora e navegação, por se tratarem de usos que não alteram o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água. Além disso, o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural, as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes e as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes, independem de outorga pelo Poder Público (Brasil, 1997).

Com base na análise das atividades/empreendimentos com outorgas ativas para uso da água nos rios Alpercatas e Itapecuru emitidas pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão - SEMA-MA até agosto de 2023, verificou-se um total de 113 outorgas ativas, com 6 no rio Alpercatas, 17 no alto Itapecuru, 20 no médio e 70 no baixo, sendo que desse total de outorgas a irrigação representou 38,93%, mineração 19,46%, pecuária

10,61%, aquicultura 8,84%, esgotamento sanitário (diluuição) 5,30%, consumo humano 3,53%, indústria 3,53%, construção civil 1,76%, lazer 0,88% e outros 10,61%, demonstrando a diversidade de usos da água nesses corpos hídricos (figura 3).

Figura 3 - Mapa com a distribuição dos usos da água outorgados nos rios Alpercatas e Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Dois tipos de usos da água responderam por quase a totalidade da demanda hídrica outorgada nos rios Alpercatas e Itapecuru, irrigação com 56,14% e consumo humano com 30,83%, os demais usos mineração 3,98%, aquicultura 1,92%, pecuária 0,12%, construção civil 0,038%, indústria 0,008% e outros 6,86%, representaram o restante do volume de água captada nesses corpos d'água com autorização do Órgão Gestor de Recursos Hídricos.

A irrigação é o tipo de uso da água que teve a maior quantidade de outorgas e o que demandou o maior volume de água, outro tipo de uso que merece destaque é o consumo

humano, que apesar de representar um percentual muito pequeno do total de outorgas, respondeu por um grande percentual do volume de água demandado, usos como mineração, pecuária e aquicultura, compreenderam um grande número de outorgas, mas responderam por um percentual muito pequeno do volume total demandado.

Os usos que mais demandaram água nos rios Alpercatas e Itapecuru (irrigação 56,14% e consumo humano 30,86%) apresentaram percentuais condizentes com a realidade nacional, tendo em vista que os usos com maior consumo de água no Brasil são: irrigação 50%, abastecimento urbano 23,4% (ANA, 2024). E mundial, com percentuais relativamente próximos aos dos usos de maior demanda de água a nível global, a agricultura 70% e os uso doméstico 10% (Organização das Nações Unidas, 2024).

3.2 BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

A relação entre a disponibilidade hídrica (vazão natural) e a demanda de água outorgada na bacia hidrográfica no rio Itapecuru, representa um indicador que mensura de forma simples e direta a quantidade de água passível de ser consumida em determinado trecho desses corpos d'água (disponibilidade hídrica) e a quantidade de água que é retirada dos mesmos com a autorização do Órgão Gestor de Recursos Hídricos (demanda hídrica outorgada), com a posterior estimativa de comprometimento da oferta de água em cada manancial.

Com base no volume de água a ser captado (vazão solicitada por cada uso), indicado nas outorgas ativas emitidas pela SEMA-MA até agosto de 2023, pôde-se determinar o volume de água demandado no rio Alpercatas e trechos do rio Itapecuru, alto, médio e baixo curso, no rio Alpercatas, com um total de seis outorgas ativas, o volume de água demandado foi da ordem de 404,1 m³/h; no alto curso do rio Itapecuru as dezessete outorgas ativas, demandaram 8.790,35 m³/h; o médio curso com vinte outorgas ativas, demandou um volume de água da ordem de 12.147,82 m³/h e no baixo curso, setenta outorgas ativas demandaram 22.267,13 m³/h.

A oferta hídrica foi determinada a partir da média de todas as vazões registradas na série histórica de 1993 a 2023 nos meses do período chuvoso e do período de estiagem, no rio Alpercatas foi verificado 103.824 m³/h no período chuvoso e 86.970 m³/h no período de estiagem, no alto Itapecuru 71.352 m³/h no período de chuvoso e 39.924 m³/h no período de estiagem, no médio Itapecuru 219.096 m³/h no período chuvoso e 146.124 m³/h no período de estiagem e no baixo Itapecuru 774.540 m³/h no período chuvoso e 169.092 m³/h no período de estiagem.

O rio Alpercatas apresentou uma variação sazonal da vazão relativamente pequena, o que pode estar associado a grande representatividade do escoamento subterrâneo da água na alimentação desse corpo d'água, já no rio Itapecuru, observou-se uma variação sazonal da vazão

bem maior, demonstrando uma associação maior com os escoamentos superficiais e subsuperficiais, que são definidos pela ocorrência, duração e intensidade da chuva; de forma que nos trechos desse rio que apresentam climas caracterizados por maiores umidade e índice pluviométrico, os valores das vazões são mais elevados e nos trechos de climas mais secos as vazões são menores.

O escoamento superficial é gerado somente durante a chuva, quando a intensidade desta supera a capacidade de infiltração da superfície ou solo. O escoamento subsuperficial é consequência da infiltração da água da chuva, ocorre na zona não-saturada do solo e percola (geralmente) entre contatos de horizontes de solo ou solo-rocha onde haja uma descontinuidade hidráulica ou diferença de permeabilidade. O escoamento subterrâneo é o resultado do escoamento na zona saturada e por isso é o mais lento, porém constante ao longo de todo o ano (Silveira; Souza, 2012).

Na tabela 2, destaca-se a relação entre a oferta hídrica no período chuvoso e no período de estiagem, a demanda hídrica outorgada (vazões requeridas outorgadas pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos) e o percentual de comprometimento da oferta hídrica em função dos volumes de captação de água autorizados nos corpos hídricos e seus respectivos trechos, durante os períodos sazonais.

Tabela 2 - Balanço hídrico dos rios Alpercatas e Itapecuru.			
Corpo d'água	Oferta hídrica (m ³ /h)	Demanda hídrica Outorgada (m ³ /h)	Comprometimento da oferta hídrica (%)
Rio Alpercatas	103.824* / 86.970**	404,1	*0,39% / **0,46%
Alto Itapecuru	71.352* / 39.924**	8.790,35	*12,31% / **22,01%
Médio Itapecuru	219.096* / 146.124**	12.147,82	*5,54% / **8,31%
Baixo Itapecuru	774.540* / 169.092**	22.267,13	*2,87% / **13,17%
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).		*Período chuvoso / ** período de estiagem	

Foi verificado um baixo percentual de comprometimento da oferta hídrica no rio Alpercatas, tanto durante o período chuvoso como no período de estiagem, em ambos períodos sazonais o comprometimento da oferta hídrica esteve abaixo de 0,5%, representado o menor percentual dentre os trechos dos corpos d'água analisados, essa realidade de baixa demanda de água devido a pequena quantidade de outorgas e significativa oferta, com reduzida variação entre os períodos sazonais, explica esse percentual de comprometimento da oferta, com valores próximos entre período chuvoso e período de estiagem.

O alto curso do rio Itapecuru, apresentou a menor oferta hídrica e registrou o maior percentual de comprometimento da oferta de água (12,31% no período chuvoso e 22,01% no período de estiagem), sendo classificado como mediano. Isso se deve ao significativo volume

de captação de água outorgado nesse trecho do rio Itapecuru e as vazões naturais menores, especialmente no período de estiagem, período em que o comprometimento da oferta se aproxima dos 30%, nível considerado alto.

O médio curso do rio Itapecuru também apresentou comprometimento da oferta hídrica mediano, apesar de registrar valores bem abaixo dos verificados no alto curso, com uma variação relativamente pequena entre os períodos sazonais, em que foi verificado no período chuvoso 5,54% de comprometimento da oferta e 8,31% no período de estiagem, apresentado uma realidade bem distinta do alto Itapecuru, que pode ser explicada por um aumento muito significativo na vazão natural no médio Itapecuru em ambos períodos sazonais e um acréscimo relativamente pequeno da demanda hídrica nesse trecho em relação a demanda do alto Itapecuru.

No baixo curso, se observou percentuais de comprometimento da oferta hídrica considerado baixo no período chuvoso e mediano no período de estiagem, nesse trecho se identificou a maior demanda hídrica (22.267,13 m³/h), e a maior variação no percentual de comprometimento da oferta entre os períodos sazonais, com 2,87% no período chuvoso e 13,17% no período de estiagem.

Essa diferença no comprometimento da oferta hídrica entre os períodos sazonais no baixo curso do rio Itapecuru se acentua em função da variação da vazão natural, que é muito elevada no período chuvoso e diminui bastante no período de estiagem, haja vista que a demanda hídrica outorgada se mantém constante ao longo do ano, apesar de que notoriamente em alguns tipos de usos consuntivos, o volume de água captado é maior no período de estiagem e até deixam de ser demandados no período chuvoso. A demanda hídrica de alguns setores é superior nos períodos de seca, como por exemplo na agricultura, tornando-se difícil a adequação dos usuários aos critérios de outorga propostos (Bazzo et al., 2017).

De acordo com ANA (2024), o balanço hídrico classifica o nível de comprometimento da oferta hídrica em: baixo (abaixo de 5%), mediano (5% a 30%), alto (30% a 70%), muito alto (70% a 100%), crítico (acima de 100%) e intermitente (oferta nula).

O balanço hídrico dos rios Alpercatas e Itapecuru, conseguiu demonstrar que existe uma proporção muito maior da oferta em relação a demanda hídrica outorgada, isso ocorre no rio Alpercatas, em todos os trechos do rio Itapecuru e nos dois períodos sazonais. Mesmo durante o período de estiagem, momento de grande diminuição da vazão, especialmente nos cursos alto e baixo do rio Itapecuru, a oferta hídrica supera com grande margem a demanda outorgada.

A disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Itapecuru é da ordem 1.112.550.000 m³/s/ano, e a demanda hídrica de 306.640.000 m³/s/ano, o que corresponde a um

comprometimento da oferta de 27,56 % (NUGEO, 2016). Por outro lado, a série histórica de 1963 a 2021 da vazão média da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com destaque para o rio Itapecuru que compreende a maioria das estações fluviométricas, apresentou queda significativa, em 1963 correspondia a 80 m³/s, caindo para 45 m³/s em 2021. (Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC, 2023).

Cabe salientar que o balanço hídrico do alto curso do rio Itapecuru, demonstrou um percentual de comprometimento da oferta de 25,04% no mês de setembro (mês de menor vazão) no período de estiagem, ficando próximo de 30%, limite inferior da classe considerada alta; no baixo curso verificou-se 15,85% no mês de outubro (mês de menor vazão) também no período estiagem, essa situação requer atenção e adequação dos critérios de emissão de outorgas para uso da água, levando em consideração a redução das vazões no período de estiagem, com definição de vazão de referência outorgável para cada período sazonal, de modo que o volume a ser captado autorizado pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos seja condizente com a disponibilidade hídrica nos meses de menores vazões.

Nesse contexto de redução de vazão verificada na bacia hidrográfica do rio Itapecuru durante os meses de estiagem, cabe destacar que a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão-CAEMA, decretou no mês de outubro de 2025, racionamento no fornecimento de água na cidade de São Luís, que tem grande parte da sua população abastecida pelo rio Itapecuru, justificando que a redução no nível do referido rio comprometeu a captação de água, que ocorre no baixo curso, próximo a foz na cidade de Rosário-MA, através do sistema ITALUÍS (G1 Maranhão, 2025).

Como o balanço hídrico levou em consideração somente a demanda hídrica outorgada, haja vista que pela ausência de dados, não teve como considerar a demanda não outorgada, e devido à redução drástica da vazão no baixo curso do rio Itapecuru relatada pela CAEMA, é possível que os percentuais de comprometimento da oferta de água verificados na bacia hidrográfica, estejam subestimados, o que pode comprometer o planejamento e gestão hídrica na bacia, por fragilizar um importante instrumento de gestão dos recursos hídricos, a outorga dos direitos de uso da água, impactando na quantidade de água necessária aos usos múltiplos e na estabilidade do ecossistema aquático.

Percepção corroborada por Dias et al. (2025a), ao relatarem que na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente no seu corpo d'água principal, é necessário que se ajuste para baixo os limites máximos de captações outorgadas definidos com base na vazão de referência, que é de 25% dos 80% da Q90.

A outorga visa controlar a quantidade e a qualidade da água existente, garantindo o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, evitando consumo em desacordo com a disponibilidade hídrica de cada manancial. O cadastro com os usos coerentes e adequados da água evita conflitos em disputas por usos em um mesmo local e leva a conscientização dos seus usuários (Anunciação; Martins; Scardua, 2022).

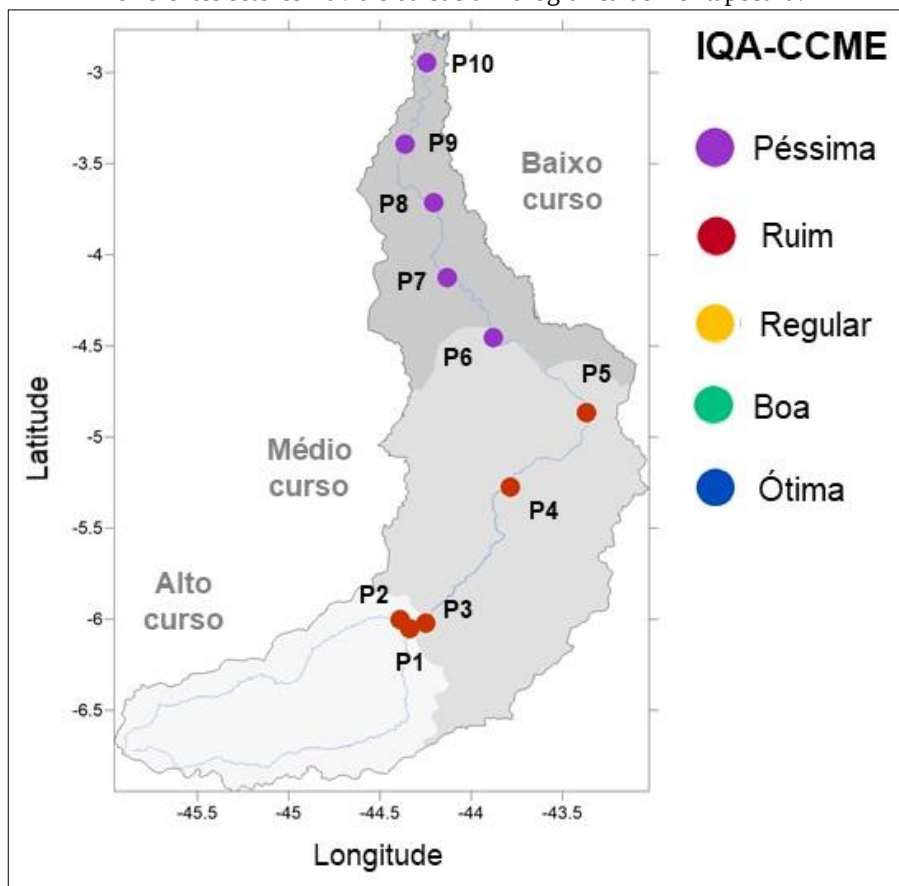
Contudo, o balanço hídrico se apresentou como uma ferramenta de gestão capaz de identificar pressões e potenciais conflitos que podem incidir sobre os recursos hídricos diante de diferentes cenários. Sendo, portanto, um elemento fundamental para orientar a gestão e o planejamento nas bacias hidrográficas, incluindo a alocação de água para os diferentes usos, visando garantir a segurança hídrica (ANA, 2024). Indo ao encontro do que preconiza a meta 6.1 do ODS 6, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável segura para todos (ANA, 2022).

3.3 CONDIÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

De acordo com o Art. 2º, XII, da Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, condição de qualidade diz respeito à qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às classes de qualidade.

Com esse entendimento e a partir da interpretação dos resultados do IQA-CCME, ficou demonstrado que a condição de qualidade da água do rio Alpercatas e alto, médio e baixo curso do rio Itapecuru, está em desconformidade com a classe de qualidade em que esses corpos d'água se encontram enquadrados, variando entre as classes péssima e ruim desse índice (figura 4). Vale registrar que esse índice avalia se a qualidade da água do corpo hídrico está em conformidade com a classe de qualidade na qual foi enquadrado, como os rios Alpercatas e Itapecuru ainda não foram enquadrados, é considerada a classe definida no Art. 42 da Resolução do Conama 357 de 17 de março de 2005, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2.

Figura 4 - Classificação da qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru usando o IQA-CCME em diferentes setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Martins; Lourenço; Soares (2025).

Os resultados do IQA-CCME, estabeleceram um padrão espacial muito representativo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, a partir da condição de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru, detectou-se a classe ruim no rio Alpercatas P2 e no alto e médio Itapecuru (P1, P3, P4 e P5) e a classe péssima no baixo Itapecuru (P6 a P10). Indicando uma qualidade da água um pouco melhor no rio Alpercatas, alto e médio Itapecuru, em relação ao baixo Itapecuru.

A classe ruim do IQA-CCME indica que a qualidade da água está frequentemente afetada e com certa frequência os parâmetros de qualidade da água não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento; já a classe péssima, indica que a qualidade da água quase sempre está alterada e os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento (CCME, 2017).

O enquadramento da água do rio Alpercatas na classe ruim e do rio Itapecuru nas classes péssima e ruim, retrata o grau de degradação da qualidade da água desses corpos hídricos, situação que compromete e inviabiliza os usos da água definidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para a classe 2, que conforme artigo 4º, III, refere-se ao abastecimento para consumo humano, após tratamento

convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

A condição de qualidade da água verificada nesses corpos d'água faz com que usos como, consumo humano com tratamento simplificado, irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, aquicultura, recreação de contato primário (balneabilidade) e atividade de pesca, que são amplamente realizados na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, possam ser vedados em função da desconformidade com o padrão de qualidade da água exigido para esses usos, pois a utilização da água desses corpos hídricos para esses fins, pode comprometer a saúde, segurança e bem-estar da população.

Um dos principais riscos à saúde da população que faz uso da água desses corpos hídricos, está relacionado a ocorrência de doenças de veiculação hídrica. E um possível impacto a proteção das comunidades aquáticas, está associado a eutrofização artificial da água. Haja vista que, as variáveis que mais contribuíram para redução dos valores do IQA-CCME foram fósforo total e coliformes termotolerantes.

Martins et al. (2023), também detectaram fósforo total e coliformes termotolerantes como principais variáveis responsáveis pelos baixos valores do IQA-CCME, no estudo sobre qualidade da água realizado no baixo curso do rio Itapecuru.

Coliformes termotolerantes são bactérias que se encontram no trato gastrointestinal de humanos e animais de sangue quente, sendo indicadora de contaminação da água por fezes. Griffiths (2017), relata que doenças transmitidas pela água estão intimamente ligadas não apenas à ingestão ou exposição à água, mas também à forma como as fezes humanas e de animais são separadas da água e dos suprimentos de alimentos (saneamento). Patógenos fecais, por meio de esgoto não tratados ou com tratamento inadequado, podem entrar em águas superficiais (rios, lagos) para infectar novos hospedeiros.

Nesse contexto, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que 600 milhões de pessoas – quase 1 em cada 10 pessoas no mundo – adoecem e 420.000 morrem todos os anos devido às doenças de transmissão hídrica e alimentar – DTHA (Ministério da Saúde, 2022). No Brasil, no período de 2014 a 2023, foram notificados, por ano, uma média de 687 surtos de DTHA, com o envolvimento nesses dez anos de 110.614 doentes, 12.346 hospitalizados e 121 óbitos (Ministério da Saúde, 2024).

A eutrofização artificial das águas continentais está relacionada a liberação de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, podendo ser considerada como uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra de estabilidade do ecossistema. Caracterizada pelo aumento na produção de matéria orgânica, que passa a demandar maior quantidade de microrganismos capazes de consumir e decompor, levando diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido na água, morte de diversas espécies animais e vegetais e danos graves à biodiversidade aquática e ao ecossistema (Esteves, 2011).

Diante dessa realidade, percebe-se indícios de que a condição de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru, não oferece segurança adequada para que os usos da água definidos para cursos d'água enquadrados na classe 2, sejam realizados pela população em geral com segurança adequada, além de não garantir a proteção plena das comunidades aquáticas existentes nesses corpos hídricos, situação que pode gerar tensões e conflitos entre os usuários da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Além de demonstrar um distanciamento do alcance da meta 6.3 do ODS 6, que consiste em melhorar a qualidade da água reduzindo a poluição, eliminando despejos, minimizando a liberação de produtos químicos perigosos e aumentando a reciclagem e reutilização de águas residuais tratadas (ANA, 2022).

3.4 CENÁRIOS DE RISCOS DE CONFLITOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

3.4.1 Cenários de riscos de conflitos hídricos pela redução da quantidade de água disponível

O balanço hídrico (relação entre oferta e demanda de água outorgada) se mostrou bastante positivo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, apesar de se observar um maior comprometimento da oferta hídrica no alto e baixo curso do rio Itapecuru durante o período de estiagem, esses percentuais ainda se mostraram baixos e medianos. Mesmo durante os meses de menores vazões, a disponibilidade hídrica se manteve em um nível confortável, setembro no rio Alpercatas, com vazão de $22\text{m}^3/\text{s}$ ou $79.200\text{ m}^3/\text{h}$ e percentual de comprometimento da oferta de 0,51%; setembro no alto Itapecuru, com vazão $9,75\text{m}^3/\text{s}$ ou $35.100\text{ m}^3/\text{h}$ e percentual de comprometimento da oferta de 25,04%; setembro no médio Itapecuru, com vazão de $35\text{m}^3/\text{s}$ ou $126.000\text{ m}^3/\text{h}$ e percentual de comprometimento da oferta de 9,64% e outubro no baixo Itapecuru, com vazão de $39\text{m}^3/\text{s}$ ou $140.400\text{ m}^3/\text{h}$ e percentual de comprometimento da oferta de 15,85%.

Mesmo não conseguindo identificar a vazão ecológica definida para os rios Alpercatas e Itapecuru, e adotando-se como referência a vazão ecológica de 40% definida pelo método

Tennante (1976), a qual mantém uma boa qualidade de habitat, verificou-se que esses corpos hídricos ainda apresentam significativa disponibilidade hídrica. Vazões ecológicas, também conhecidas como vazões residuais, remanescentes ou ambientais, representam um percentual mínimo da vazão natural necessário à continuidade das funções oferecidas pela água, especialmente, garantir a estabilidade do ecossistema aquático (Longhi; Formiga, 2011).

Entendendo-se que as tensões e atritos que podem envolver a atuação de diversas instituições e atores sociais, caracterizam os conflitos hídricos, que em geral são desencadeados pela deficiência ou escassez da oferta de água para atender aos usuários, principalmente aqueles de jusante, que têm acesso a uma menor quantidade deste recurso (Gomes; Salvador; Lorenzo, 2021). Em relação à deficiência ou escassez da oferta de água, tomando como base o balanço hídrico dos rios Alpercatas e Itapecuru, não se observou cenários de riscos de potenciais conflitos pelo uso da água, ao menos no curto prazo.

Contudo, com a provável subestimação da demanda hídrica por conta da existência de captações irregulares (não outorgadas ou com outorgas vencidas). Que de acordo com Dias et al. (2025a), 68% do total de outorgas do direito de uso da água requeridas e deferidas pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos do Maranhão se encontram vencidas e sem renovação, com a grande maioria das mesmas ainda em uso, com isso decorrendo da pequena mobilização para cadastramento dos usuários de recursos hídricos e fiscalização ambiental incipiente ou inexistente. E levando em consideração o período de estiagem, momento em que a disponibilidade cai bastante e a demanda tende a aumentar, especialmente em locais com cultivo irrigados por longos períodos, somado aos relatos de redução no nível do rio Itapecuru que impossibilitou a CAEMA de realizar a captação de água para abastecimento humano, o percentual de comprometimento da oferta de água pode ser bem maior do que o verificado no balanço hídrico, situação que pode configurar cenários com riscos de conflitos hídricos.

Essa realidade demonstra a necessidade do Órgão Gestor de Recursos Hídricos realizar uma fiscalização intensiva para combater as captações irregulares e municiar a governança e gestão da água na bacia hidrográfica, com dados sobre demanda hídrica que sejam mais realistas e contemplativos, proporcionando maior eficácia e eficiência no gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente no tocante ao uso consuntivo da água, disciplinado pela outorga de direitos de uso de recursos hídricos.

As estruturas de acompanhamento e fiscalização de captações irregulares e outorgas já concedidas não estão instrumentalizadas para operação de suas funções. Por falta de interesse, ou por falta de investimentos, da União e dos estados para que tais monitoramentos sejam de

fato cumpridos, prevalecendo uma convivência com interesses minoritários (Di Mauro; Mageste; Lemes, 2017).

Apesar da relação entre oferta hídrica e demanda hídrica outorgada (balanço hídrico) mostrar uma situação confortável em relação a disponibilidade hídrica, a possível existência de captações irregulares, ou seja, captações não outorgadas ou com outorgas vencidas, pode estar superestimando a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Itapecuru; além disso, fatores como a alteração no uso e cobertura da terra, mudanças climáticas e intensificação de usos consuntivos devido ao crescimento populacional e econômico, tendem a tensionar a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica.

É como comentam Gomes, Salvador, Lorenzo (2021), a falta de regulação, de planejamento do uso e flexibilização na concessão das outorgas, face às demandas do crescimento econômico e populacional apontam para um grave potencial de conflitos, principalmente em localidades de elevado crescimento populacional e de segmentos produtivos com elevada demanda por água.

Nessa mesma perspectiva, Unfried; Katos; Poser (2022), acrescentam que as mudanças climáticas e a crescente demanda por água intensificam o ciclo global da água, alterando a distribuição de água no espaço e no tempo. Como a água é essencial para a vida, a escassez de água provavelmente provocará conflitos.

O cenário de incerteza em relação ao crescimento populacional, a urbanização e a expansão da agricultura e pecuária na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, pode aumentar a demanda por água e intensificar a pressão sobre os recursos hídricos da bacia, levando a conflitos entre diferentes usos e usuários da água (Dias et al., 2025b).

3.4.2 Cenários de riscos de conflitos hídricos pela perda de qualidade da água

O resultado do índice de qualidade da água - IQA-CCME, classificou o rio Alpercatas e os cursos alto e médio do rio Itapecuru na classe ruim e o baixo curso do rio Itapecuru na classe péssima desse índice, demonstrando, portanto, que a água desses corpos hídricos está com a qualidade degradada, pois frequentemente ou quase sempre os parâmetros de qualidade da água não atenderam aos padrões estabelecidos pelo enquadramento e a realização dos usos da água definidos para a classe 2, representa risco à saúde e segurança e bem-estar da população, além do comprometimento da proteção das comunidades aquáticas, conforme preconiza a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005.

A legislação pertinente aos recursos hídricos faz a classificação das águas em função dos usos preponderantes, atuais e futuros, assim, cada tipo de uso da água exige que o corpo d'água ou segmento de corpo d'água, apresente uma condição de qualidade compatível com

sua classe de qualidade e assegure em termos de usos possíveis, segurança adequada aos usuários da água (Brasil, 2005).

A qualidade da água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina, seja este para balneabilidade, consumo humano, irrigação, transporte e manutenção da vida aquática. Para cada um dos usos existe um padrão de qualidade especificado pela legislação (Souza et al., 2014).

Dessa forma, verificou-se cenários com elevado potencial de risco de conflitos entre usuários da água e poluidores na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, em função da condição de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru se encontrar em desconformidade com o padrão de qualidade exigido para cursos d'água enquadrados na classe 2, o que inviabiliza os usos da água definidos para essa classe, devido, principalmente, às elevadas concentrações dos parâmetros, fósforo total, que em grande quantidade na água, pode desencadear a eutrofização que leva ao perecimento da comunidade aquática, e coliformes termotolerantes, presentes em água contaminada por fezes, sendo indicador de vetores de doenças de veiculação hídrica.

As doenças de veiculação hídrica são causadas, basicamente, por microrganismos patogênicos de animais de sangue quente (origem animal ou humana), pelas quais são transmitidos por via fecal-oral, quando excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado por água poluída com fezes ou bactérias, que são identificados por organismos indicadores como o grupo de coliformes termotolerantes. Assim, populações em vulnerabilidade social e comunidades rurais que não apresentam sistemas de tratamento de água são mais propícias às ocorrências de doenças de veiculação hídrica (Oliveira et al., 2021).

A qualidade da água é fator importante para o estabelecimento dos benefícios à saúde relacionado à redução da incidência e prevalência de diversas doenças de veiculação hídrica, destacando-se a doença diarreica (Queiroz; Heller; Silva, 2009). Sendo importante também para o desenvolvimento de atividades econômicas e sociais, que necessitam de um bom padrão de qualidade da água, como cultivo irrigado de hortaliças e frutas, aquicultura e recreação de contato primário.

Os cenários com elevado potencial de risco de conflitos desencadeados pela degradação da qualidade da água, que potencializa a eutrofização, doenças de veiculação hídrica e afeta o desenvolvimento de atividades econômicas e sociais, se agrava ainda mais no baixo curso do rio Itapecuru, trecho no qual se observou a pior condição de qualidade da água, classificada como péssima no IQA-CCME, a maior demanda hídrica e maior diversificação de uso da água, muitos dos quais são exclusivos das classe 2 ou de classes mais restritivas (especial e 1).

Essa é uma realidade que se mostra persistente na bacia hidrográfica do rio Itapecuru e não se vislumbra, ao menos no curto prazo, sinais de mudança, haja vista que, a degradação da qualidade da água é persistente e progressiva; o monitoramento da qualidade da água, não contempla os principais parâmetros físicos, químicos e biológicos, índices de qualidade e de estado trófico da água; as informações sobre os recursos hídricos, sobretudo acerca da condição de qualidade da água e os usos que podem ser realizados com segurança adequada, não são repassadas de forma sistemática e em linguagem acessível à toda população; e o enquadramento dos corpos d'água conforme preconiza o Art. 5º, II da Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos) ainda não foi realizado nos rios dessa bacia hidrográfica.

Esse panorama da degradação da qualidade da água e de riscos à saúde humana, ao equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos e ao desenvolvimento de atividades econômicas e sociais, fica camuflado pela falta de monitoramento e de divulgação de informações acerca dos recursos hídricos.

As iniciativas de monitoramento da qualidade da água no Maranhão, oficialmente só tiveram início no ano de 2016, quando o estado aderiu ao Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade da Água - Qualiágua, da ANA, executado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão –SEMA-MA, estando enquadrado no grupo III do Qualiágua, em que o monitoramento é inexistente ou não está consolidado (ANA, 2016b).

A necessidade de avanços na gestão da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru é algo muito evidente, de modo que os avanços perpassam pela implementação de instrumentos de gestão, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações sobre os recursos hídricos (Masullo et al., 2019).

Diante desse quadro de informação e transparência limitada e insuficiente, especialmente acerca do monitoramento da qualidade da água, acredita-se que a maior parte da população que faz uso da água no território da bacia hidrográfica, não tem conhecimento da condição de qualidade da água dos rios, desconhece os usos da água que podem ser realizados com segurança adequada e os que são vedados, mediante perda de qualidade da água conforme determinação da legislação ambiental pertinente. E por conta disso, as tensões e conflitos hídricos não são tão frequentes, tornando-se mais evidentes em situações pontuais em que há grande alteração das características naturais da água, principalmente as que são mais facilmente visualizadas pela população em geral (cor e odor) e perecimento da biota aquática, especialmente da ictiofauna, em decorrência do lançamento de matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A percepção da crise hídrica é o ponto de início para uma atitude em relação ao conflito hídrico, que juntamente com outros fatores como normas subjetivas, capital social com engajamento popular e a percepção de controle comportamental por parte da comunidade, desencadeiam a intenção de conflito nas pessoas e leva a um comportamento de reivindicação, e ações que culminam em conflitos (Tatar; Papzan; Ahmadvand, 2022).

Nesse contexto, mediante a condição de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru que foi verificada como degradada, os cenários com elevado potencial de riscos de conflitos hídricos, poderão ser aguçados a proporção que os usuários da água da bacia tiverem maior acesso às informações sobre a qualidade da água dos referidos mananciais, a partir de publicações de estudos e pesquisas, atuação de organizações da sociedade civil e do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru que ainda está em processo de consolidação de sua atuação.

4 CONCLUSÕES

Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru são desenvolvidos múltiplos usos da água, destacadamente a irrigação, o abastecimento humano (urbano e rural), pecuária, mineração, aquicultura, indústria, lazer e esgotamento sanitário (diluição).

Mediante disponibilidade de água verificada através do balanço hídrico dos principais rios dessa bacia hidrográfica (Itapecuru e Alpercatas), não se observou cenários com riscos de conflitos hídricos motivados pela escassez de água, no curto prazo, ao se considerar somente a demanda de água outorgada. Porém, considerando a possibilidade de existência de captações de água não outorgadas e com outorgas vencidas, a grande redução de vazão do rio Itapecuru nos meses de estiagem e a limitação na captação de água para fins de abastecimento humano no trecho mais a jusante desse corpo d'água (baixo curso), com ocorrência de racionamento de água em cidades desse setor fluvial, verifica-se cenários com riscos de conflitos pela escassez hídrica, ao menos nos meses de menores vazões (setembro e outubro).

Adicionalmente, em consequência da degradação da qualidade da água desses corpos hídricos e dos riscos à saúde humana e qualidade ambiental associados aos usos da água nessa condição, verificou-se cenários com elevado potencial de riscos de conflitos hídricos, especialmente no baixo curso do rio Itapecuru, que apresentou maior degradação da qualidade, demanda hídrica e diversificação de usos da água.

Dessa forma, se faz necessário e urgente a adoção de mecanismos para a manutenção da quantidade da água necessária aos usos múltiplos, a recuperação do padrão de qualidade da água do rio Alpercatas e especialmente do rio Itapecuru, eliminando a disposição de esgotos sem tratamento nos corpos d'água, disciplinando o uso do solo no território da bacia hidrográfica e otimizando a gestão e governança da água, garantido acesso equitativo à água com segurança adequada, manutenção do equilíbrio ecológico nas comunidades aquáticas e mudança no cenário de riscos de conflitos hídricos.

Por fim, acredita-se que os resultados da pesquisa poderão contribuir com o planejamento da gestão e governança da água no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente no que tange à necessidade de recuperação da condição de qualidade da água, redução de riscos à saúde e segurança dos usuários da água, minimização de potenciais conflitos hídricos e consecução de todas as metas do ODS 6. E poderá servir de referência para o desenvolvimento de outras pesquisas atinentes aos usos da água e aos cenários de conflitos hídricos na bacia hidrográfica, contribuindo para o aprofundamento e diversificação do referencial teórico acerca desses temas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Panorama das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2012. 265 p.

Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2016. Brasília: ANA, 2016a. 95 p.

Resolução nº 643 de 27 de junho de 2016. Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água –QUALIÁGUA. Brasília: ANA, 2016b. Disponível em: www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/643-2016.pdf. Acesso em: 06 de julho de 2025.

Índice de segurança hídrica -ISH. Manual metodológico. Brasília: ANA, 2020. 42 p.

ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores, 2. ed. – Brasília: ANA, 2022. 112 p.

Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2024. Brasília: ANA, 2024. 166p.

ANUNCIAÇÃO, N. S.; MARTINS, R. C. C.; SCARDUA, F.P. **Análise da outorga como instrumento de gestão e controle do uso de água na bacia Piracicaba, Capivari e Jundiá – PCJ**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia. v.8, n.1, p. 21-35, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/363195432>

BAZZO, K. R. et al. **Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga no estado de Rondônia – RO**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XXII, 2017, Florianópolis, Anais [...]. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH, 2017, P.1-8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2495>

BÖHMELT, T. et al. **Demand, supply, and restraint: Determinants of domestic water conflict and cooperation**. Journal Global Environmental Change, v.29, 2014, p.337-348. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.018>

BRASIL. Lei Federal nº 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 Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm Acesso em: 29 de agosto de 2025.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Brasília, 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=272 Acesso em: 29 de agosto de 2025.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450 Acesso em: 08 de julho de 2025.

CAEMA adota racionamento de água em São Luís devido a baixo nível do rio Itapecuru. G1. MARANHÃO. 22 de outubro de 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2025/10/22/caema-adota-acionamento-de-agua-em-sao-luis-por-cao-do-baixo-nivel-do-rio-itapecuru.ghtml>. Acesso em: 23 de outubro de 2025.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Water Quality Index**, User's Manual, 2017. 23P. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf> Acesso: 13 de julho de 2023.

COSTA, C. F. et al. **Análise microbiológica da água do rio Itapecuru em Caxias, MA, Brasil**. Revista Interface, n.10, 2015.

DIAS, L.; J.; B.; da S. et al. **Demanda de uso da água e enquadramento dos corpos hídricos constituintes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru**. EDUEMA, São Luís: UEMA-NUGEO, 2025a, 192p.

DIAS, L.; J.; B.; da S. et al. **Sumário Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru – MA**. EDUEMA, São Luís: UEMA-NUGEO, 2025b, 44p.

DI MAURO, C. A.; MAGESTE, J.G.; LEMES, E. M. **As bacias hidrográficas como critério para o planejamento territorial**. Revista Caminhos de Geografia, v.18, n.64, p. 472-482, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40959>

DU PLESSIS, A. **Water as a Source of Conflict and Global Risk**. In: Water as an Inescapable Risk. Springer Water. Springer, Cham. p.115-143, 2019. Doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-03186-2_6

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FRACALANZA, A. P. **Água: de elemento natural a mercadoria**. Revista sociedade e natureza, v.17, n.33, 2005, p.21-36.

GOMES, L. C. D.; SALVADOR, N. N. B.; LORENZO, H. C. de. **Conflitos pelo uso dos recursos hídricos e o caso de Araraquara-SP**, revista ambiente e sociedade, v.24, 2021, Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190100r3vu2021L3AO>.

GRIFFITHS, J. K. **Waterborne Diseases**. Journal International Encyclopedia of Public Health, v.7, p.388-401, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00490-2>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Zoneamento geoambiental do estado do Maranhão-MA: diretrizes gerais para ordenação territorial.** Diretoria de Geociência, Divisão de Geociências da Bahia. Salvador: IBGE, 1997.44 p.

Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial. Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. **Relatório Técnico de Recursos Hídricos Superficiais do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) – Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.** São Luís: IMESC. 2023. 180p.

KARAMIDEHKORDI, E. et al. **Water conflicts and sustainable development: concepts, impacts, and management approaches.** In: BANDH, S. A., MALLA, F. A. *Current Directions in Water Scarcity Research*, Elsevier, v. 8, 2024, p. 233-244.
Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23631-0.00016-9>

LONGHI, H.E.; FORMIGA, K.T.M. **Metodologias para determinar vazão ecológica em rios.** *Revista Brasileira Ciências Ambientais*, n.20, 2011.

MARTINS, R. A. et al. **qualidade da água do baixo curso do rio itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos.** *Revista Foco*, v.16, n.9, 01-22p. 2023.
DOI: 10.54751/revistafoco.v16n9-111

MARTINS, R.A; LOURENÇO, C.B; SOARES, L.S. **Água, de usos a conflitos: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão.** *Revista sapiência*, v.14, n.04, p.377-402, 2025. Doi: <https://doi.org/10.31668/d7d6hs13>

MASULLO, Y. A. G. et al. **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA.** *Revista brasileira de geografia física*, v.12, n.03 p.1054-1073, 2019.
Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1054-1073>

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Site do Ministério da Saúde (2022). **Vigilância epidemiológica.** Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dtha/situacao-epidemiologica>. Acesso em: 03 de abril de 2025.

Surtos de doenças de transmissão hídrica e alimentar informe – 2024. Secretaria de vigilância em saúde e ambiente, 2024. Disponível: <file:///C:/Users/user/Downloads/Surtos%20de%20Doen%C3%A7as%20de%20Transmiss%C3%A3o%20H%C3%ADdrlica%20e%20Alimentar%20no%20Brasil%20-%20Informe%202024.pdf>. Acesso: 03 de abril de 2025.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - NUGEO. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão.** Relatório Técnico. 2016. 166 p.

OLIVEIRA, J. L. de. et al. **Correlação da qualidade de água bruta e doenças de veiculação hídrica em Três Corações/MG.** *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.4, p.337-352, 2021. Doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0027

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2024. Água para a prosperidade e a paz.** Paris: UNESCO, 2024.

PAULA, L. R. et al. **Avaliação da qualidade microbiológica da água do médio curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil.** Revista Research, Society and Development, v.6, n.11. 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28824>

PEDROSA, V. de A. **Construindo pactos pelo uso da água.** 2020, 87p.

QUEIROZ, J. T. M. de.; HELLER, L.; SILVA, S. R. da. **Análise da correlação de ocorrência da doença diarreica aguda com a qualidade da água para consumo humano no município de Vitória-ES.** Revista Saúde Sociedade, v.18, n.3, p.479-489, 2009.

RIBEIRO, W. C.; SANTOS, C. L. S. dos.; SILVA, L. P. B. da. **Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: Marcos teóricos.** Revista ambientes, v.1, n., 2019, p.11-37. Doi: <https://doi.org/10.48075/amb.v1i2.23619>

SILVEIRA, C.S.; SOUZA, K.V. de. **Relações hidrológicas entre a pluviosidade e a vazão em uma série temporal (2007-2009) de uma bacia de drenagem de uso misto – Teresópolis, RJ, Brasil.** Revista Geociências, v.31, n.3, p.395-410, 2012. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geocienciasarquivos/31_3/Art_07_Silveira_e_Souza.pdf

SOARES, L. S. et al. **Space-temporal analysis of physico-chemical and biological variables of water quality in the itapecuru river, northeastern atlantic hydrographic region, brazil.** Journal caderno prudentino de geografia, v.2, n.44, p.35-56, 2022. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9181/6539>

SOUZA, J. R. de. et al. **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil.** REDE - Revista Eletrônica do Prodema, v.8, n.1, p. 26-45, 2014.

TATAR, M.; PAPZAN, A.; AHMADVAND, M. **Understanding factors that contribute to farmers water conflict behavior.** Journal Water Policy, v.24, n.4, p.589-607, 2022. Doi: <https://10.2166/wp.2022.253>

TENNANT, D.L. **Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources.** Journal Fisheries, v. 1, n.4, p. 6–10, 1976.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **A água.** São Carlos: editora Scienza, 2020. 130p.

UNFRIED, K.; KATOS, K. K.; POSER, T. **Water scarcity and social conflict.** Journal of environmental economics and management, v.113, 2022. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102633>

CAPÍTULO IV

GOVERNANÇA DA ÁGUA EM NÍVEL LOCAL: APLICAÇÃO DOS INDICADORES DE GOVERNANÇA DA ÁGUA DA OCDE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU⁴

RESUMO

O grande contingente de pessoas expostas as condições de estresse hídrico ao menos um mês por ano, o que atualmente chega a 4 bilhões de pessoas, o aumento da demanda global por água, que cresce a uma taxa de cerca de 1% ao ano e deverá aumentar em até 30% até 2050, deflagaram uma crise hídrica de proporções globais, o que muitos especialistas consideram como sendo uma crise de governança da água. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o nível de eficácia e eficiência da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Para isso utilizou-se o sistema de semáforos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), definido após a aplicação dos indicadores de governança da água da OCDE junto aos servidores do Órgão Gestor de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão. Os resultados mostraram a existência de muitas lacunas na governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, demonstrando que essa está muito assentada nos dispositivos legais e instituições ligadas aos recursos hídricos, mesmo que muitos dos mesmos não sejam operacionalizados na gestão da água no território da bacia hidrográfica e destacaram como principais lacunas da governança da água a falta de informações sobre recursos hídricos, a ausência de mecanismos para obtenção de receitas e investimentos, a falta de monitoramento, avaliação e transparência da governança.

Palavras-chave: Gestão hídrica. Governança adaptativa. Crise hídrica.

⁴ Trabalho submetido na Revista Desenvolvimento & Meio Ambiente, ISSN 1518-952X, Qualis A3.

WATER GOVERNANCE AT THE LOCAL LEVEL: APPLYING THE OECD WATER GOVERNANCE INDICATORS IN THE ITAPECURU RIVER BASIN

ABSTRACT

A large share of the global population is exposed to water stress conditions for at least one month per year, currently affecting approximately 4 billion people. This situation, combined with the increase in global water demand—growing at an annual rate of about 1% and expected to rise by up to 30% by 2050—has triggered a global water crisis, which many experts regard as a crisis of water governance. In this context, this study aimed to assess the level of effectiveness and efficiency of water governance in the Itapecuru River basin. To this end, the traffic light system developed by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) was applied, based on the implementation of the OECD Water Governance Indicators with staff from the Maranhão State Water Resources Management Authority. The results revealed the existence of significant gaps in water governance in the Itapecuru River basin, indicating that governance is largely grounded in legal frameworks and water-related institutions, even though many of these are not effectively operationalized in water management at the river basin level. The main governance gaps identified include the lack of water resources information, the absence of mechanisms for revenue generation and investment, and deficiencies in monitoring, evaluation, and transparency.

Keywords: Water management. Adaptive governance. Water crisis.

1 INTRODUÇÃO

A água é um patrimônio natural estratégico, imprescindível ao desenvolvimento econômico e social, e um elemento vital para a conservação dos ecossistemas e da vida no planeta (Wolkmer; Pimmel, 2013). Que tem na ação antrópica o principal determinante para sua alteração e diminuição constante, afetando as comunidades nas esferas econômica, social e ambiental (Silva; Lacerda, 2021). Uma das mais trágicas consequências da ação antrópica sobre o ambiente, as mudanças climáticas, colocam uma enorme pressão em cima dos recursos de água doce e sobre a qualidade, segurança e proteção da água (World Water Council, 2017).

A disponibilidade de água doce de alta qualidade é um recurso limitado e altamente variável. Que fica cada vez mais ameaçado devido a frequente incapacidade dos sistemas de governança da água em lidar com a crescente procura, a poluição hídrica, a continuada urbanização, a variabilidade climática e desastres relacionados com a água (OCDE, 2015a). Esses problemas estão desencadeando uma crise hídrica global, que é em grande medida uma crise de governança, exigindo que os sistemas de governança hídrica sejam cada vez mais adaptativos, para que possam enfrentar os desafios atuais e futuros (Velasco et al., 2023).

A governança da água representa um enfoque conceitual que propõe caminhos teóricos e práticos alternativos, que façam uma real ligação entre as demandas sociais e sua interlocução em nível governamental (Jacobi; Fracalanza & Empinotti, 2015). Sendo definida como o conjunto de regras, práticas e processos políticos, institucionais e administrativos através dos quais as decisões são tomadas e implementadas (Velasco et al, 2023). Com as regras e condutas refletindo os valores e visões de mundo daqueles indivíduos sujeitos a esse marco normativo (Bolson; Haonat, 2016).

Dessa forma, entende-se que a governança da água pressupõe a criação de um sistema capaz de assegurar uma distribuição equilibrada entre os usuários atuais e futuros, por meio de normas e regras instituídas pela esfera governamental e pelos usuários da água, com a necessidade de adoção de instrumentos que o avaliem de forma periódica e sistemática (Cambrainha; Gomez, 2021). Se mostrando como essencial para o alcance do ODS 6 (água potável e saneamento), o que exige um compromisso revigorado com o fortalecimento das estruturas de governança da água (Evaristo et al., 2023).

Assim, o quadro de indicadores para governança da água concebido pela OCDE, utilizado como um mecanismo de autoavaliação voluntária, que permite avaliar o estado atual do quadro de políticas para a governança da água, instituições e instrumento, e os melhoramentos futuros necessários, se mostra pertinente. Tendo como principal objetivo o estímulo a um diálogo transparente, neutro, aberto, inclusivo e com uma visão de futuro entre

as partes interessadas sobre o que funciona, o que não funciona, o que deve ser melhorado e quem melhor pode contribuir para isso (OCDE, 2018).

Por se tratar de uma ferramenta que pode ser utilizada na avaliação da governança da água a nível nacional, local e de bacia hidrográfica (OCDE, 2018). Os indicadores da OCDE, são viáveis para a avaliação da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que representa a segunda maior bacia hidrográfica do estado do Maranhão e abriga o maior rio genuinamente maranhense (NUGEO, 2016). E apresenta inúmeros problemas ambientais que redundam na degradação dos recursos hídricos, como poluição hídrica devido ao lançamento de esgoto sem tratamento; alteração no uso e cobertura da terra, com diminuição de áreas de vegetação nativa e aumento de áreas antropizadas; mudança dos parâmetros hidrológicos e assoreamento (Vale et al., 2014; Massulo et al., 2019; Paula et al., 2022; Soares et al., 2022).

Esses problemas ambientais existentes na bacia hidrográfica do rio Itapecuru demonstram que a governança da água precisa ser avaliada, de modo que se possa verificar se as instituições, leis, normas e outros dispositivos que a contemplam, atendem as demandas necessárias à consecução da qualidade ambiental e do ODS 6, e a consequente perenidade dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas aos usos múltiplos da água, garantido assim o equilíbrio ecológico das comunidades aquáticas, o desenvolvimento das atividades sociais e econômicas, a saúde, segurança e bem-estar dos usuários da água.

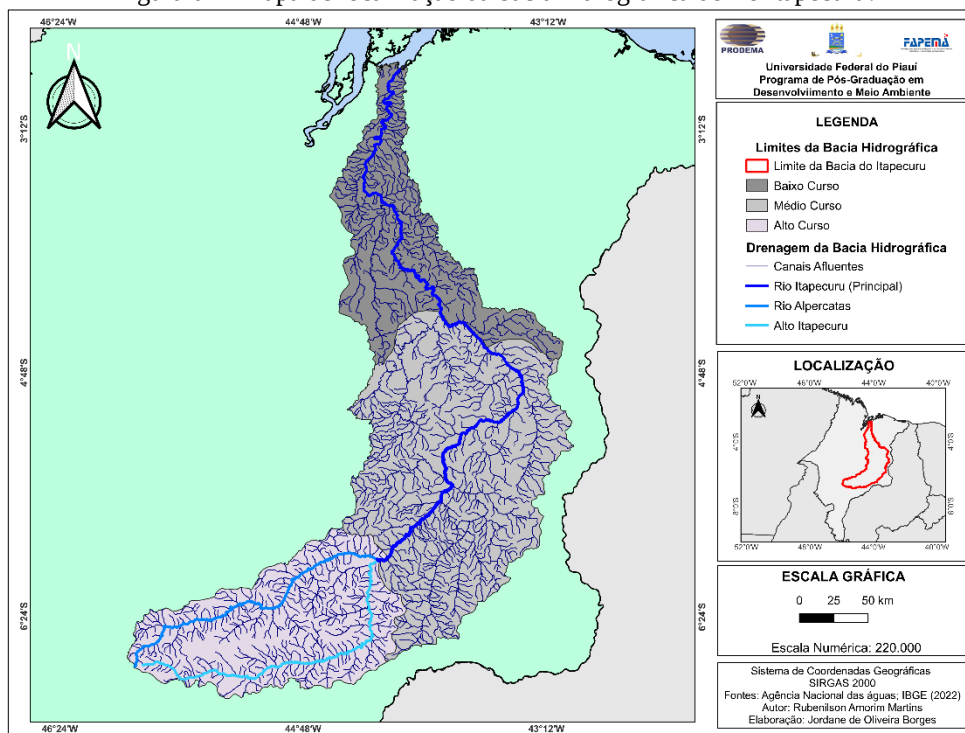
Com essa perspectiva a pesquisa teve como objetivo avaliar o nível de eficácia e eficiência da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, este direcionamento se justifica pela necessidade de uma avaliação da governança da água, frente à limitação na implementação dos instrumentos de gestão da água e aos inúmeros problemas ambientais verificados no território da referida bacia hidrográfica, a hipótese que fundamenta este trabalho é que a governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresenta lacunas, muitas das quais estão associadas a falta de implementação da maioria dos instrumentos de gestão da água, para tanto utilizou-se os indicadores de governança da água da OCDE como mecanismo de avaliação. De modo a identificar as lacunas e apontar a contribuição das instituições e dispositivos legais atinentes aos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica, para operacionalização e otimização da gestão e governança da água.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está localizada na parte centro-leste do estado do Maranhão, entre as coordenadas de 2°51'33'' a 6°52'22'' Latitude S e 43°02'49 a 45°58'57'' Longitude O (figura 1), limita-se ao sul e leste com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba através da Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras pequenas elevações, a oeste e sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim e a noroeste com a bacia hidrográfica do rio Munim (IBGE, 1998).

Figura 01 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Possui área de 53.216,84 km², o que equivale a 16,03% da área do estado, representando a segunda maior bacia hidrográfica do Maranhão, atrás apenas da bacia hidrográfica do rio Mearim com área de 99.058,68 km². O principal rio é o Itapecuru, que nasce no sul do estado no sistema formado pelas Serras da Croeira, Itapecuru e Alpercatas, em altitude de aproximadamente 530 m, percorre cerca de 852,71 km, desaguando na baía do Arraial, a Sudeste da Ilha do Maranhão (NUGEO, 2016).

Essa bacia hidrográfica está situa em uma zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia, com base no índice de umidade de Thornthwaite encontra-se: clima úmido no baixo curso, clima úmido a sub-úmido no curso médio e clima sub-úmido a seco no alto curso; o que é refletido nas formações vegetais que

transicionam do Cerrado no sul, para floresta estacional decidual e semidecidual, na parte norte da bacia hidrográfica (IBGE, 1998).

2.2 QUADRO DE INDICADORES DE GOVERNANÇA DA ÁGUA DA OCDE

Para a avaliação da eficácia, eficiência e inclusão da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, foi realizada a adaptação do Quadro de Indicadores da OCDE para a Governança da Água em forma de questionário, que foi aplicado junto aos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos no estado do Maranhão.

A aplicação de questionários ocorreu no ano de 2024, com um total de 10 servidores, amostragem que representou 33,33% do total de servidores da Superintendência de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA, Órgão Gestor de Recursos Hídricos no estado do Maranhão. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética na Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Piauí, com parecer consubstanciado número: 6.627.091 de 29 de janeiro de 2024.

Realizou-se também, uma robusta e detida revisão de literatura científica sobre governança da água a nível global, nacional e local. Fazendo uso de documentos oficiais da legislação ambiental pertinente aos recursos hídricos, tais como, Política Nacional de Recursos Hídricos, Política Estadual de Recursos Hídricos, Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente, Conselho Estadual de Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, planos de recursos hídricos, busca e pesquisa minuciosa no website da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais, e de relatórios oficiais internacionais relacionados à governança da água da Organização das Nações Unidas (ONU), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Os indicadores foram concebidos para serem utilizados como uma ferramenta de autoavaliação voluntária, de modo a avaliar o estado atual do quadro de políticas para a governança da água (o quê), instituições (quem) e instrumentos (como), e os melhoramentos futuros necessários. Esses indicadores mensuram a implementação dos princípios da OCDE para a Governança da Água, os princípios fornecem um quadro de análise essencial para uma governança eficaz, eficiente e inclusiva da água.

Os princípios estão agrupados em três dimensões, que se complementam e reforçam mutuamente, sendo quatro princípios para cada dimensão, perfazendo um total de doze princípios (figura 2):

1. Eficácia da governança da água, que diz respeito à contribuição da governança para a definição de objetivos e metas claros e sustentáveis para as políticas da água a todos os níveis de governo, para a prossecução desses objetivos e para o cumprimento das metas pretendidas.
2. Eficiência da governança da água, que diz respeito à contribuição da governança para a maximização dos benefícios de uma gestão sustentável da água e bem-estar associado ao menor custo para a sociedade.
3. Confiança e compromisso na governança da água, que dizem respeito à contribuição da governança para o reforço da confiança da sociedade e para garantir a inclusão das partes interessadas, através de mecanismos de legitimação democrática e de equidade para a sociedade como um todo.

Figura 02 - Princípios da OCDE para a governança da água.



Fonte: OCDE (2015a).

O quadro de indicadores da OCDE para a governança da água é composto por um sistema de semáforos (Traffic light system) de 36 indicadores da governança, o sistema de semáforos pretende avaliar: a existência e nível de implementação das condições de enquadramento do sistema de governança da água em vigor, as mudanças esperadas no sistema de governança da água ao longo do tempo e o nível de consenso na avaliação feita entre as partes interessadas.

Os 36 indicadores, com 3 para cada princípio, estão elencados de 1 a 12, com perguntas A, B e C de modo que a opção A faz referência a o quê, a opção B faz referência a quem e a opção C faz referência a como.

O quê → 1a

Quem → 1b

Como → 1c

Os indicadores (perguntas) estão estruturados de modo que opções 1a, 1b, 1c estão relacionadas ao princípio 1; 2a, 2b, 2c estão relacionadas ao princípio 2 e assim sucessivamente.

O sistema de indicadores disponibiliza cinco opções de respostas (mais a opção “não aplicável”), com cada nível de resposta sendo identificado por uma cor, formando assim o sistema de semáforo (figura 3). Os participantes da pesquisa escolheram a cor correspondente ao nível de implementação da governança da água no momento em que a avaliação foi realizada.

Os resultados estão dispostos em uma tabela que contém a cor correspondente a cada indicador avaliado. Sendo que as cores verde e amarela, indicaram que a governança é mais eficaz, eficiente e inclusiva e as cores nos tons de marrom e vermelho, demonstraram que é menos eficaz, eficiente e inclusiva. Para atestar que os indicadores alcançaram uma validação positiva, teve que haver uma maioria absoluta das respostas (acima de 70% ou mais de 7 respostas) em um único nível do sistema de semáforos, ou seja, em uma única resposta (cor). Os indicadores que apresentaram as respostas distribuídas em duas ou mais cores, indicaram um baixo nível de consenso, e uma validação negativa ou duvidosa. O conjunto de respostas de todos os indicadores foram checados no website do Órgão Gestor de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão e através de outras fontes de dados primários e secundários.

Figura 3: Base do sistema de semáforos da OCDE para avaliação da governança da água.

Base do sistema de semáforos					
Existente, Implementado	Existente, Parcialmente implementado	Existente, não implementado	Quadro em desenvolvimento	Não existente	Não aplicável

Fonte: OCDE (2015a).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, em seu Art. 32 cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e em seu Art. 33 define a composição desse sistema, que passa a ser composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, Comitês de Bacia Hidrográfica, Agências de Água (BRASIL, 1997). Definindo assim, as principais instituições responsáveis pela gestão e governança da água no Brasil, tendo suas ações respaldadas na Política Nacional de Recursos Hídricos, plano nacional de recursos hídricos, normativas do Conselho Nacional de Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Políticas Estaduais de Recursos Hídricos, normativas dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, dos Comitês de Bacias Hidrográficas e Agências de Água.

No Estado do Maranhão a governança e gestão da água, está estruturada a partir do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais, por meio de sua Superintendência de Recursos Hídricos (Órgão Gestor de Recursos Hídricos), Comitês e Agências de Água de Bacias Hidrográficas e entidades intervenientes (MARANHÃO, 2004). Respalados na Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, Política Estadual de Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 8149 de 15 de junho de 2004, plano estadual de recursos hídricos, normativas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e de órgãos setoriais normativos, deliberativos e executivos de bacias hidrográficas.

A luz da Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual definiu a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, os comitês e agências das bacias, e os planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas como mecanismos de descentralização da gestão das águas (BRASIL, 1997). Torna-se interessante e necessário um olhar sobre a governança da água a nível de bacia hidrográfica, que apesar de se remeter aos dispositivos legais a nível nacional e estadual, apresenta alguns mecanismos que corroboram com a governança e gestão em função das peculiaridades de cada bacia hidrográfica.

Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, a governança da água é realizada pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão e Comitê da Bacia Hidrográfica, que foi instituído pelo Decreto Estadual nº 36580 de 10 de março de 2021 e formalizado com a nomeação dos integrantes em 02 de janeiro de 2024, e pelas demais instituições competentes pela gestão e governança a nível estadual e nacional, com as ações norteadas pelo plano de

recursos hídricos da bacia hidrográfica e demais dispositivos legais de competência estadual e nacional.

No quadro 1, são apresentados os indicadores de governança da água da OCDE, com a indicação do nível de implementação, representando os pontos fortes e pontos fracos (lacunas) da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Quadro 01 - Indicadores de governança da água da OCDE na bacia hidrográfica do rio Itapecuru: compilação das respostas.

Indicador	Existente, implementado	Existente, Parcialmente implementado	Existente, não implementado	Quadro em Desenvol.	Não existente	Não aplicável
1a. existência e nível de implementação de uma lei da água						
1.b ministério, ministério de especialidade, agência relacionadas com a água para formulação de políticas						
1.c mecanismos para rever papéis e responsabilidades, diagnosticar lacunas e ajustar quando necessário						
2.a políticas e estratégias integradas de gestão de recursos hídricos						
2.b instituições de gestão de água à escala hidrográfica						
2.c mecanismos de cooperação para a gestão de recursos hídricos entre utilizadores e níveis de governo relacionados com a água						
3.a políticas e estratégias intersetoriais que promovam a coerência das políticas entre a água e áreas relacionadas						
3.b organismo ou instituições interministeriais para a coordenação horizontal das políticas relacionadas com a água						
3.c mecanismos de revisão de barreiras à coerência de políticas e/ou áreas onde a água e práticas relacionadas						
4.a políticas de contratação profissionais baseados no mérito						
4.b mecanismos para identificar e abordar lacunas de capacidade em instituições de água						
4.c programas educacionais e de formação para profissionais da água						
5.a sistemas de informação de água atualizados, partilhados, consistentes e comparáveis						
5.b agências e instituições públicas responsáveis pela produção, divulgação de estatísticas relacionadas com a água						
5.c mecanismos para identificar e rever lacunas de dados, sobreposições e sobrecargas desnecessárias						
6.a disposições de governança que ajudam as instituições da água e arrecadar as receitas necessárias para cumprir os seus mandatos						
6.b instituições dedicadas responsáveis pela coleta de receitas da água e alocá-las na escala apropriada						
6.c mecanismos para avaliar as necessidades operacionais e de investimento a curto, médio e longo prazos						
7.a estrutura regulatória sólida de gestão de recursos hídricos para promover a fiscalização e a conformidade						

7.b instituições públicas dedicadas, responsáveis por garantir as principais funções reguladoras dos serviços de água						
7.c ferramentas regulatórias para promover a qualidade dos processos regulatórios para a gestão da água em todos os níveis						
8.a quadros políticos e incentivos que promovam práticas e processos de gestão de recursos hídricos inovadores						
8.b instituições que incentivem iniciativas da base para o topo, o diálogo e a aprendizagem social						
8.c mecanismos de partilha de conhecimento e experiências para colmatar a distância entre ciência, política e prática						
9.a quadros legais e institucionais sobre integridade e transparência						
9.b tribunais e instituições supramunicipais de auditoria que possam investigar infrações relacionadas com a água						
9.c identificar os potenciais condutores de corrupção e riscos em todas as instituições relacionadas com a água						
10.a envolver as partes interessadas na implementação de decisões, políticas e projetos relacionados com a água						
10.b autoridades responsáveis por envolver as partes interessadas nas políticas relacionadas com a água						
10.c mecanismos para diagnosticar e rever os desafios, processos e resultados do envolvimento das partes interessadas						
11.a disposições formais ou quadros legais que promovam a equidade entre os utilizadores de água em áreas rurais e urbanas						
11.b provedor (ombudsman) ou instituição que proteja os utilizadores de água, incluindo grupos vulneráveis						
11.c mecanismos ou plataformas para gerir compromissos entre utilizadores, territórios e/ou ao longo do tempo						
12.a quadros de políticas que promovam o monitoramento e a avaliação regular de políticas e da governança da água						
12.b instituições responsáveis pela monitoramento e avaliação das políticas e práticas de recursos hídricos						
12.c mecanismos de monitoramento e avaliação para medir até que ponto a política da água atinge os resultados pretendidos						

Fonte: Elaborado pelo autor (2025). Adaptado de VanNijnatten (2020).

- Notas:
- * A cor correspondente indica a maioria clara das respostas (acima de 70%; mais de 7)
 - * Duas cores indicam respostas divididas (valores entre 2 e 7 respostas)
 - * A cor roxa indica a distribuição em mais de duas categorias de resposta (valores entre 1 e 7)

3.1 PONTOS FORTES DA GOVERNANÇA DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Os indicadores 1.a, 1.b, 2.a, 2.b, 2.c, 3.a e 3.b apresentaram significativo nível de consenso, com a grande maioria das respostas assinaladas nas dimensões, existente, implementado e existente, parcialmente implementado (quadro 01). Esses indicadores mensuraram a existência de políticas, leis e instituições envolvidas na governança da água, que em geral são de abrangência nacional ou estadual, e normalmente já se encontram implementadas no país e estados. Exceção feita ao indicador 2.b que verifica a existência de instituição de gestão da água a nível de bacia, que é atribuída ao Comitê da Bacia Hidrográfica, que já se encontra instituído.

O fato das políticas, leis e instituições que atuam na governança da água a nível de bacia hidrográfica, serem em sua grande maioria, de abrangência nacional e estadual, pode justificar o nível de consenso das respostas em torno de dimensões do sistema de governança da água, que atestam a existência e implementação das mesmas.

O sistema brasileiro de governança e gerenciamento das águas envolve, além da esfera federal, os estados federados, em que diferentes instituições gestoras devem alinhar seus procedimentos para a gestão dos recursos hídricos. Integram, também, esse arcabouço de governança o Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos - CERHs, além dos Comitês de Bacia Estaduais e Interestaduais em diferentes regiões do país (Pagnoccheschi, 2016).

Os indicadores (7.a, 7.b e 7.c) que são alusivos à regulação dos recursos hídricos, por meio de políticas e instituições, também apresentaram nível de consenso significativo com a maioria das respostas indicando as dimensões, existente, implementado e existente, parcialmente implementado.

Esse consenso das respostas em direção as dimensões que indicam a existência de regulação, pode estar relacionado ao arcabouço legal atinente aos recursos hídricos no nível nacional, estadual e da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que já se encontra implementado. A nível nacional destaca-se como exemplo a Política Nacional de Recursos Hídricos instituída por meio da Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, a nível estadual a Política Estadual de Recursos Hídricos instituída por meio da Lei nº 8149 de 15 de junho de 2004 e a nível de bacia, tem-se o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, lançado em 2025. Com relação as instituições que regulam os recursos hídricos, pode-se destacar a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão - SEMA-MA por meio da

Superintendência de Recursos Hídricos, Conselho Estadual de Recursos Hídricos e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

A governança da água no Brasil é regulada pelo arcabouço legal pertinente e por instituições como, Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, Órgão Gestor de Recursos Hídricos dos estados, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, Comitês de Bacias Hidrográficas (Pagnoccheschi, 2016; Grangeiro ; Ribeiro; Miranda, 2019).

Já as perguntas sobre envolvimento das partes interessadas com a água (10.a, 10.b e 10.c), tiveram respostas que indicaram maioria clara para a dimensão, existente, implementado. Situação que pode estar relacionada à implementação e institucionalização do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica são compostos por representantes: da união; dos estados e do distrito federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação; dos municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação; dos usuários das águas de sua área de atuação; das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia (Brasil, 1997).

Apesar da implementação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, a participação dos seus membros na tomada de decisão ainda é incipiente, demonstrando a centralização das ações de gestão e governança da água por parte do órgão público responsável pela gestão dos recursos hídricos no estado do Maranhão.

A participação dos usuários e da sociedade civil é uma questão imprescindível na boa governança da água, mas que ainda não se concretizou inteiramente. O “legado” da democracia participativa, como suporte da democracia direta ou representativa, no contexto de um elevado nível de desconfiança nas autoridades públicas, está na origem das atuais confusões ou insuficiente clareza sobre a relação entre as funções consultivas e deliberativas dos Comitês de Bacias Hidrográficas (OCDE, 2015b).

A criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas nem sempre garante eficácia ou democratização das decisões, haja vista que os mesmos apresentam grande fragilidade institucional e baixa capacidade técnica, fatores que comprometem os resultados. Demonstrando que interesses políticos, econômicos e fragilidades administrativas podem comprometer o alcance dessa gestão democrática (Abers; Keck, 2004; Mesquita, 2018). As limitações na efetividade dos Comitês de Bacias Hidrográficas por falta de capacidade técnica, recursos e baixa integração com políticas públicas, redundam na fragilidade da participação social e a distância entre deliberação e execução (Jacobi; Fracalanza, 2007).

Cabe destacar que os indicadores 7.b, 9.b, 10.a e 10.b, foram os que apresentaram maioria de respostas (acima de 70%) indicando uma única dimensão, no caso desses indicadores, as respostas foram alinhadas em direção a dimensão existente, implementado.

O indicador 7.b refere-se à existência de instituição pública que regula os serviços de água e gestão de recursos, a nível nacional essa regulação fica a cargo da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico -ANA, a nível estadual a regulação é realizada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais -SEMA-MA, por meio da Superintendência de Recursos Hídricos e a execução dos serviços de água (captação, adução, tratamento, reservação e distribuição da água) fica a cargo da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA, que atende parte dos municípios inseridos no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com os demais sendo atendidos pelos Serviços Autônomos de Água e Esgoto - SAAE, a existência e atuação dessas instituições na bacia hidrográfica pode ter refletido no consenso das respostas assinaladas no questionário.

O 9.b verifica a existência de instituição que investiga infrações relacionadas a água, como a fiscalização das infrações sobre os recursos ambientais restritos aos limites territoriais de uma unidade da federação, cabe ao Órgão Estadual Ambiental, no caso do Maranhão a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA, realiza a fiscalização, situação de conhecimento dos servidores da instituição participantes da pesquisa, fato que pode ter reverberado no consenso das respostas.

De acordo com a Lei Complementar nº 140 de 8 de dezembro de 2011, no Art. 8, são definidas as ações administrativas dos estados, dentre as quais destaca-se a definida no inciso XIII - exercer o controle e fiscalizar as atividades e empreendimentos, cuja atribuição para licenciar ou autorizar, ambientalmente, for cometida aos estados (Brasil, 2011).

O 10.a investiga a existência de quadro legal para envolver partes interessadas na concepção, implementação de decisões, políticas e projetos relacionados à água. A Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos) em seus artigos 1º, 34º e 39º e a Lei Ordinária nº 8149 de 15 de junho de 2004 (Política Estadual de Recursos Hídricos) em seus artigos 2º, 34º e 39º asseguram a participação das partes interessadas na gestão dos recursos hídricos. O que pode explicar o consenso das respostas no indicador em questão.

O indicador 10.b mensura a existência de autoridades responsáveis por envolver partes interessadas nas políticas relacionadas à água. Baseado nos artigos 34 e 39 da Lei 9433/1997 e 30 e 34 da Lei 8149/2004, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos e o Comitê da Bacia Hidrográfica, na figura dos seus respectivos presidentes,

são autoridades responsáveis por envolver as partes interessadas, responsabilidade que é extensiva ao Órgão Gestor de Recursos Hídricos do estado. O que explica o consenso das respostas a esse indicador.

Três desses indicadores que tiveram grande consenso nas respostas (9.b, 10.a e 10.b) buscaram verificar a existência de instituição, quadro legal e autoridade responsável, ou seja, mensuram se existe ou não, sem verificarem se há atuação, se as ações norteadoras ou executadas são eficazes e eficientes para assegurarem o envolvimento e participação dos interessados na gestão da água, contribuindo para consecução da boa governança da água na bacia hidrográfica.

Acrescenta-se a isso, o fato de muitos dos temas, os quais as respostas apontaram para a existência e implementação, que se referem as diretrizes elencadas nos dispositivos que compõem o arcabouço legal norteador da governança da água, instituídos por diferentes instituições ligadas a gestão e governança da água a nível nacional, estadual e local, não foram operacionalizados, ou seja, não são colocadas em práticas como ações ou mecanismos de gestão da água na bacia hidrográfica.

É como salienta Armitage; Loë; Plummer (2012), gestão e governança da água não são sinônimas. Gestão envolve decisões operacionais para alcançar resultados específicos de conservação ambiental, quantidade e qualidade da água, enquanto governança se refere aos processos, instituições, atores por meio dos quais as sociedades tomam decisões referentes aos recursos hídricos.

Um exemplo que ilustra essa realidade presente na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, diz respeito aos instrumentos de gestão de recursos hídricos elencados no principal dispositivo legal de governança da água do Brasil, Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos, e do Maranhão Lei 8149 de 15 de junho de 2004 - Política Estadual de Recurso Hídricos, dentre os instrumentos apontados nessas leis, vários ainda não foram implementados na referida bacia, planos diretores de bacia hidrográfica; enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; cobrança pelo uso de recursos hídricos; sistema de informações sobre recursos hídricos; cadastro de usuários de recursos hídricos na bacia hidrográfica.

De acordo com Masullo et al. (2019), são necessários avanços na governança da água para garantir a preservação da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente com a implementação de instrumentos da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, tais como: o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações sobre os recursos

hídricos; identificação e cadastro de usos e usuários dos recursos hídricos; fiscalização e monitoramento aplicados aos empreendimentos e usuários dos recursos hídricos da bacia.

Um outro caso que merece destaque, faz referência ao indicador 3.a, o qual avalia a existência de políticas e estratégias intersetoriais que promovam a coerência das políticas entre a água e áreas relacionadas, dentre essas áreas estão o ordenamento territorial e uso do solo, que apesar da previsão na Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997 e Política Estadual de Recurso Hídricos - Lei 8149 de 15 de junho de 2004, não foram encontradas na instituição responsável pela gestão dos recursos hídricos no estado, referências de existência ou implementação de dispositivos, mecanismos, projetos ou plano de ação para a gestão integrada entre essas áreas e os recursos hídricos.

A interface entre os recursos hídricos, na escala de bacia, e a gestão de áreas relacionadas, em especial o ordenamento territorial e o uso da terra, se encontra fragmentada. É notória a falta de planejamento e gestão do uso do solo no nível das autoridades locais. Além da existência de uma incompatibilidade sobre como os recursos hídricos e o desenvolvimento territorial são geridos entre as múltiplas escalas (OCDE, 2015b).

Os recursos hídricos de uma região estão ligados à diversos setores e diferentes escalas geográficas e temporais. No Brasil, a completa integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão urbana ainda é um desafio, embora a legislação sinalize para a necessidade da mesma. É fato que muitos problemas de gestão de recursos surgem a partir de falhas na governança, assim, uma melhor compreensão sobre governança é essencial para a gestão dos recursos naturais, entre eles os recursos hídricos (Grangeiro ; Ribeiro; Miranda, 2019).

As alterações verificadas na dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, demonstram a necessidade de se planejar o ordenamento territorial e o uso do solo, de modo a integrar e otimizar os mecanismos e instrumentos de gestão da água com essas áreas correlatas, para assegurar a conservação e proteção do ambiente natural e sociocultural (Masullo et al., 2019).

Ficou perceptível que os pontos fortes da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que ficaram muito balizados na existência de leis, normas e instituições vinculadas à gestão de recursos hídricos (tabela 1), apresentaram muitas fragilidades, especialmente por não garantirem a operacionalização desses mecanismos legais em instrumentos de gestão da água, que proporciona uma maior eficácia e eficiência ao sistema de governança e gestão hídrica na bacia hidrográfica, que se mostrou muito atrelada à esfera governamental, e que apesar de apresentar mecanismos que formalizam a descentralização da gestão (Conselho de Recursos Hídricos e especialmente o Comitê da Bacia Hidrográfica), na

prática, a tomada de decisão alusiva à gestão da água, ainda está muito centralizada nas instituições ou órgãos públicos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos.

Os Comitês de Bacias Hidrográficas têm funções deliberativas que lhes dão poderes significativos, mas com meios limitados de implementação, ao contrário do poder público, que tem o poder, e acaba por operacionalizar na gestão da água o que lhe é mais conveniente. A cisão entre as autoridades públicas e a sociedade nos Comitês está aumentando com respeito às prioridades para a tomada de decisões sobre os recursos hídricos. Os planos de recursos hídricos estabelecem o que precisa ser feito, mas nem sempre são implementados, o que desanima os usuários da água e restringe o papel dos Comitês de Bacias Hidrográficas ao papel de defensores da questão (OCDE, 2015b).

Tabela - 1: Validação dos indicadores que demarcam pontos fortes da governança da água com base em seus princípios geradores.

Princípios analisados	Validação
Princípio 1 (Papéis e Responsabilidades) Princípio 2 (Escala apropriada) Princípio 3 (Coordenação entre setores) Princípio 7 (Quadros regulatórios sólidos) Princípio 10 (Comprometimento das partes interessadas)	Pontos fortes

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2 PONTOS FRACOS (LACUNAS) DA GOVERNANÇA DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Os indicadores que apresentaram nível de consenso nas respostas baixo e muito baixo, que também foram checados por meio de dados secundários e pesquisas no sítio eletrônico do Órgão Gestor de Recursos Hídricos, representaram os pontos fracos (lacunas) da governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Destacam-se os indicadores (1.c, 3.c, 4.a, 4.b e 4.c) que verificaram a existência de mecanismos de monitoramento dos avanços ou estagnação da governança da água, apresentaram baixo nível de consenso, com respostas divididas, indicando dimensões antagônicas, em que as mesmas não poderiam ocorrer de forma simultânea, como existente, implementado, existente, parcialmente implementado e não existente.

Demonstrando posições opostas acerca da ocorrência dessas dimensões, o que pode indicar o desconhecimento dos servidores sobre a existência e implementação desses mecanismos ou a inexistência dos mesmos, dada a falta de informações sobre esses instrumentos de avaliação nos sítios eletrônicos e outros canais de comunicação da instituição encarregada pela gestão dos recursos hídricos no estado.

Para se alcançar a boa governança da água, obter um processo de avaliação correto é fundamental. É importante garantir um processo transparente, não discriminatório, aberto e

inovador. Pois o monitoramento e a avaliação da governança da água visam acima de tudo identificar as falhas, propor novos instrumentos ou aperfeiçoamentos dos existentes, de modo a garantir a superação dessas falhas detectadas ao longo do processo de governança multinível (OCDE, 2015b; 2018).

Os indicadores referentes as informações sobre recursos hídricos e investimentos e receitas (5.a, 5.b, 5.c, 6.a, 6.b e 6.c), apresentaram respostas muito divididas, em geral com três ou quatro dimensões marcadas. Com a maior parte dessas respostas indicando quadro em desenvolvimento e não existente.

As dimensões assinaladas para esses indicadores (quadro em desenvolvimento e não existente), podem estar relacionadas a inexistência de um sistema de informações sobre recursos hídricos robusto e contemplativo e de instrumentos de cobrança pelo uso de recursos hídricos, tanto a nível da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, como a nível estadual, haja vista que esses instrumentos ainda não foram plenamente implementados no estado do Maranhão.

Atualmente está disponível no site da SEMA-MA informações sobre qualidade da água das bacias hidrográficas do estado, com análise de alguns parâmetros físicos e químicos, mas com ausência de parâmetros químicos importantes como DBO e nutrientes e parâmetros biológicos, sem definição do enquadramento de corpos hídricos, tipos de usos e interpretação dos resultados.

Jacobi et al. (2015), destacam que existe uma subutilização do instrumento de cobrança pelo uso da água na maioria dos estados, e quando existente, os recursos arrecadados estão muito longe de serem suficientes para a recuperação das bacias. Além disso, se observa uma ineficiência em se garantir ou facilitar o acesso à informação e a transparência do processo de tomada de decisão que sustenta o sistema de gestão de recursos hídricos no país.

As perguntas referentes à inovação e transmissão de conhecimento sobre gestão de recursos hídricos (8.a, 8.b e 8.c), tiveram repostas divididas, em geral com três dimensões distintas, a maioria indicando não existente, quadro em desenvolvimento e existente, não implementado.

Situação que pode indicar a falta de inovação nas práticas e processos de gestão de recursos hídricos, e dificuldade do Órgão Gestor de Recursos Hídricos em fomentar a gestão participativa da água, de modo a envolver e capacitar os usuários da água no processo de tomada de decisão acerca da governança e gestão hídrica na bacia hidrográfica.

A capacitação permanente dos utilizadores da água é algo primordial para a consecução da gestão participativa dos recursos hídricos e da boa governança da água, haja vista que isso irá possibilitar aos usuários e especialmente aos membros do Comitê da Bacia Hidrográfica,

maior entendimento, capacidade de diálogo e tomada de decisão acerca da gestão e governança da água no território da bacia, otimizando assim, suas funções deliberativas.

Uma lacuna de capacitação é gerada pela insuficiência de especialização técnica e científica e de infraestrutura para implementar políticas de recursos hídricos, e fazer acontecer a gestão e governança da água. A descentralização da governança e gestão dos recursos hídricos enfrenta uma questão fundamental, até que ponto o nível subnacional, local ou da bacia, está pronto ou suficientemente maduro para assumir as responsabilidades associadas com as tarefas delegadas ou descentralizadas? O aprender fazendo é suficiente, ou a capacitação é essencial antes que seja possível transferir corretamente as atribuições e competências? (OCDE, 2015b).

Um dos grandes desafios para fortalecer o caráter democrático de um Comitê de Bacia é ampliar o acesso à informação sobre os temas que compõem a gestão e governança da água, na medida em que o conteúdo técnico não pode se transformar num fator de promoção de assimetria na compreensão de um conhecimento técnico e, portanto, de maiores recursos na argumentação entre os diversos segmentos (Jacobi et al., 2015).

Os indicadores que mensuraram os níveis de integridade, transparência e corrupção na governança da água na bacia hidrográfica (9.a e 9.c), apresentaram respostas divididas, que variaram de não existente a existente, implementado, refletindo visões antagônicas acerca da transparência, o que pode estar associado à falta conhecimento dos servidores sobre o tema, falta de clareza e divulgação desses mecanismos no Órgão Gestor de Recursos Hídricos, não entendimento das perguntas e principalmente a não existência desses mecanismos, haja vista a inexistência de sistema de informações sobre os recursos hídricos e sua gestão a nível de bacia hidrográfica e a nível estadual.

A transparência é, portanto, elemento-chave nos vários momentos, tal como na disponibilização dos dados que embasam os instrumentos de gestão, na disponibilidade das etapas e dos documentos originados durante o processo decisório, tanto em colegiados de bacia como nos órgãos de estado, e na aprovação e divulgação dos projetos e regras que orientam a gestão dos recursos hídricos no país (Empinotti; Jacobi; Fracalanza, 2016).

Os indicadores sobre equidade e proteção dos utilizadores de água (11.a, 11.b e 11.c), apresentaram respostas muito divididas, com quatro dimensões distintas assinaladas por indicador, com respostas indicando de não existente a existente, implementado, demonstrando grande falta de consenso, que pode ser atribuída a falta de divulgação desses mecanismos entre os servidores da Superintendência de Recursos Hídricos da SEMA-MA ou a não implementação de mecanismos regulatórios que garantam a equidade na utilização dos recursos hídricos e a proteção dos utilizadores da água na bacia hidrográfica.

A equidade na utilização dos recursos hídricos é algo essencial na boa governança da água, um tipo de uso não pode se sobrepor a outro em função de questões econômicas ou políticas, os usuários, em especial os de menor poder econômico, não podem ter seu direito a água usurpado pela força do capital. É como destaca Brasil (1997), a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, o qual em situações de escassez, o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais, com sua gestão devendo sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

As respostas aos indicadores (12.a, 12.b e 12.c) que são alusivos ao monitoramento e avaliação de políticas da água, tiveram respostas divididas, assinalando dimensões do não existente, ao existente, implementado.

Essa falta de consenso nas respostas desses indicadores, está alinhada com a inexistência de informações públicas sobre mecanismos, implementados pela instituição responsável pela gestão dos recursos hídricos no estado, que monitorem as políticas e normas de gestão da água a nível estadual ou da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

O monitoramento e a aplicação das políticas e normas são frequentemente responsabilidades de diversos órgãos, dependendo da estrutura institucional do estado e das funções de gestão dos recursos hídricos consideradas. Enquanto alguns estados têm uma estrutura institucional básica com apenas um órgão governamental responsável pelo acompanhamento e avaliação da política de recursos hídricos, outros dependem de estruturas institucionais mais complexas, com um grande número de instituições responsáveis pelo acompanhamento e avaliação (OCDE, 2015b).

Com base nas respostas assinaladas, pôde-se constatar que a grande maioria dos indicadores apresentou respostas muito divididas, ensejando dúvida acerca da existência, atuação, eficácia, eficiência, confiança e comprometimento na governança da água, apontando lacunas na governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, de modo que a maior parte das respostas assinaladas pelos servidores do Órgão Gestor de Recursos Hídricos, vão ao encontro dos dados secundários detidamente analisados e aos resultados de buscas e pesquisas realizadas no website da referida instituição.

Demonstrando que a governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru está muito assentada nos dispositivos legais e instituições ligadas aos recursos hídricos, mesmo que muitos dos mesmos não sejam operacionalizados na gestão da água no território da bacia hidrográfica. E joga luz sobre inúmeras lacunas (pontos fracos) na governança da água, especialmente no que tange a implementação dos instrumentos, impactando na consecução da boa governança hídrica, com destaque a falta de informações sobre recursos hídricos, ausência

de mecanismos de receita e investimentos, que são essenciais para nortear e operacionalizar a gestão da água, falta de monitoramento, avaliação e transparência (tabela 2), que são instrumentos de mensuração da melhoria e do alcance de objetivos e metas da governança da água.

Tabela – 2: Validação dos indicadores que demarcam pontos fracos da governança da água com base em seus princípios geradores.

Princípios analisados	Validação
Princípio 4 (Capacitação das autoridades responsáveis) Princípio 5 (Dados e informação consistentes) Princípio 6 (Uso eficiente dos recursos financeiros) Princípio 8 (Práticas inovadoras) Princípio 9 (Integridade e transparência) Princípio 11 (Compromissos equilibrados) Princípio 12 (Monitoramento e avaliação)	Pontos fracos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A incerteza em relação à eficácia e eficiência dos sistemas de governança da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, incluindo a implementação de políticas públicas e a participação das partes interessadas, afeta profundamente a capacidade de gerenciar de forma sustentável e equitativa; a falta de recursos financeiros e humanos e a falta de capacidade institucional ainda são desafios importantes para a implementação de políticas e programas de gestão sustentável na bacia hidrográfica (Dias et al., 2025).

Ao analisar a governança da água no estado de Rondônia a partir dos princípios de governança da água da OCDE, Santos; Costa; Camara (2019), apontaram como principais lacunas da governança (pontos fracos), os princípios 3 (coordenação entre setores), 4 (capacitação das autoridades responsáveis), 5 (dados e informação consistentes), 7 (quadros regulatórios sólidos), 9 (integridade e transparência) e 10 (comprometimento das partes interessadas).

A análise da governança dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba no estado da Paraíba, a partir da aplicação dos princípios de governança da água da OCDE, realizada por Grangeiro; Ribeiro; Miranda (2019), detectaram lacunas na governança em todos os doze princípios.

Em estudo realizado por Velasco et al. (2023), no município de General Pueyrredon, na província de Buenos Aires na Argentina, a aplicação dos indicadores de governança da água da OCDE, mostrou que em termos gerais existe um quadro jurídico robusto, existem instituições de fiscalização relativa a água, amparadas em uma boa legislação. No entanto, foram identificadas várias lacunas na governança, uma vez que a maioria dos instrumentos, são parcialmente ou não implementados.

Já no estudo realizado na bacia do rio Grande/Bravo na fronteira dos Estados Unidos com o México, VanNijnatten (2020), observou grande falta de consenso nas respostas dadas às perguntas relativas aos indicadores de governança da água da OCDE, com a maioria dos indicadores apresentando respostas divididas. Em apenas nove indicadores, de um total de trinta e seis, houve uma clara maioria de respostas em uma opção específica. Esse consenso foi observado nos indicadores alusivos a presença de instituições para gestão da água, agências líderes, agências com funções reguladoras e mecanismos de cooperação em vigor.

Ao se comparar os resultados da aplicação do quadro de indicadores/princípios de governança da água da OCDE, obtidos na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com resultados verificados em outras regiões do Brasil e em outros países, percebe-se que a governança e gestão da água apresentam problemas comuns, demonstrando a necessidade de investimentos para torná-las mais adaptativas, dotadas de maior eficácia e eficiência, frente as alterações na cobertura da terra, intensificação dos usos da água, da poluição hídrica e das mudanças climáticas.

4 CONCLUSÕES

A avaliação da eficácia, eficiência, confiança e compromisso da governança da água a partir da aplicação dos indicadores de governança da água da OCDE, possibilitou uma análise detalhada da existência e da operacionalização dos mecanismos de governança da água no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, verificou-se que os mecanismos que compõem a governança que tiveram maior consenso nas respostas e que após verificação em dados secundários e website do Órgão Gestor se mostraram mais presentes, ou seja, existiam e faziam parte do sistema da governança da água na bacia hidrográfica, estavam associados aos dispositivos legais (leis e normas) e às instituições ligadas aos recursos hídricos, que representam os princípios da eficácia (objetivos da governança), com os mecanismos referentes a existência de lei da água com reflexos na bacia, normas pertinentes aos recursos hídricos, existência de um Órgão Gestor da Água, de Comitê da Bacia Hidrográfica, representando os principais pontos fortes da governança, mesmo que muitos desses não sejam operacionalizados na gestão da água no território da bacia hidrográfica.

Já os mecanismos ligados à informação sobre recursos hídricos, fontes de receitas e investimentos, monitoramento, avaliação, transparência e inovação na governança, que representam os princípios da eficiência e confiança e compromisso (benefícios de uma gestão sustentável da água e reforço da confiança da sociedade e inclusão das partes interessadas), aparecem como alguns dos principais pontos fracos da governança da água na bacia.

Deixando notório que a governança da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresenta muitas oportunidades de melhorias, no sentido de superar as diversas lacunas existentes, que impactam de forma negativa no processo de gestão da água, com reverberações em muitos compartimentos ambientais e nas atividades sociais e econômicas, especialmente na intensificação da alteração da cobertura natural da terra, degradação da qualidade da água nos corpos hídricos, impossibilidade de realização de usos da água e geração de potenciais conflitos hídricos no território da bacia hidrográfica.

Dessa forma, entende-se que para se alcançar a boa governança da água, é preciso superar as lacunas existentes e adaptar a governança às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente 06- Água Potável e Saneamento; mas também 02- Agricultura Sustentável; 11- Cidades e Comunidades Sustentáveis; 13- Ação contra a mudança global do clima; 14- Vida na Água; 15- Vida Terrestre. De modo a recuperar a qualidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, proporcionando acesso a água em quantidade e qualidade necessárias aos usos múltiplos, sem representar riscos à saúde, segurança e bem-estar dos usuários da água, ao equilíbrio ecológico, garantindo proteção e preservação da

biodiversidade aquática e terrestre, e ao desenvolvimento sustentável de atividades sociais e econômicas.

Por fim, acredita-se que os resultados da pesquisa serão eficazes em demonstrar a necessidade de melhorias no processo de governança e gestão da água no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, sobretudo no tocante ao aumento da eficiência com a implementação de instrumentos de gestão e da confiança e compromisso a partir de uma maior democratização da tomada de decisão envolvendo as partes interessadas, que mostra disparidade de forças entre poder público e usuários da água. E poderá servir de referência para o desenvolvimento de outras pesquisas atinentes a governança da água, contribuindo para o aprofundamento e diversificação do referencial teórico acerca desse tema.

REFERÊNCIAS

- ABERS, R. N.; KECK, M. E. **Comitês de Bacia no Brasil: uma abordagem política no estudo da participação social**. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 6, n. 1, p. 55-68, 2004. Doi: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2004v6n1p55>
- ARMITAGE, D.; LOË, R.; PLUMMER, R. **Environmental governance and its implications for conservation practice**. Journal Conservation Letters, v. 5, n. 4, p. 245- 255, 2012. Doi:<https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00238.x>
- BOLSON, S. H.; HAONAT, Â. I. **A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil**. Revista Veredas do direito, v.13, n.25, 223-248p. 2016. Doi: <https://doi.org/10.18623/rvd.v13i25.575>
- BRASIL. Lei Federal nº 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 Constituição Federal e altera o Art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm Acesso em : 29 de agosto de 2025.
- BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do Art. 23 da Constituição Federal, para a **cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas** decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora. Brasília, 2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm Acesso em: 26 de agosto de 2025.
- CAMBRAINHA, G. M. G; GOMEZ, C. R. P. **Governança das Águas no Sertão Pernambucano**. Revista de Administração, Sociedade e Inovação, v. 7, n. 3, p. 115-1 35, 2021. Doi: <https://doi.org/10.17648/aos.v1li2.2462>
- DIAS, L.; J.; B.; da S. et al. **Sumário Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru – MA**. EDUEMA, São Luís: UEMA-NUGEO, 2025, 44p.
- EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. **Transparência e governança das águas**. Revista estudos avançados, v.30, n.88, 66-75p. 2016. Doi:<https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.30880006>
- EVARISTO, J. et al. **Water woes: the institutional challenges in achieving SDG 6**. Journal Sustainable Earth Reviews. v.6, n.13, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1186/s42055-023-00067-2>
- GRANGEIRO, E. L. A.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. **Análise da governança dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.5, p.314- 330, 2019. Doi: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0028>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.. **Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para**

ordenação territorial. Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. **Comitês de bacias hidrográficas no Brasil: desafios de fortalecimento da gestão compartilhada e participativa.** Ambiente & Sociedade, v. 10, n. 2, p. 151-172, 2007. Doi: <http://doi.org/10.5380/dma.v11io.7816>

JACOBI, P. R. et al. **Governança da água no Brasil** In: JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P., EMPINOTTI, V. Governança da água no contexto ibero-americano: inovação em processo. São Paulo: GovAmb, ProcamUSP, Annablume, Cidadania e Meio Ambiente, 2015. 210p.

MARANHÃO. Lei Estadual nº 8149 de 15 de junho de 2004. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências.** São Luís, 2004. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/ma/lei-ordinaria-n-8149-2004-maranhao> Acesso: 29 de agosto de 2025.

MASULLO, Y. A. G. et al. **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA.** Revista brasileira de geografia física, v.12, n.03 p.1054-1073, 2019. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1054-1073>

MESQUITA, L. F. G. **Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos.** Revista desenvolvimento e meio ambiente, v.45, 2018. Doi: <https://doi.org/10.5380/dma.v45i0.47280>

NÚCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - NUGEO. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão.** Relatório Técnico. 2016. 166p

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Princípios da OCDE para a governança das águas.** Comitê de Desenvolvimento Regional. Publinsing, 2015a. Disponível em: <http://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-on-Water-Governance.pdf>

Governança dos Recursos Hídricos no Brasil, OECD Publishing, Paris. 2015b. Doi:<http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt>

Implementação dos Princípios da OCDE para a Governança da Água: Quadro de Indicadores e Práticas em Curso), OECD Publishing, Paris. 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264292659-en>

PAGNOCCHESCHI, B. **Governabilidade e governança das águas no Brasil.** In: MOURA, A. M. M. de (org.). Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas. Brasília, Ipea, P. 175-199, 2016.

PAULA, L. R. et al. **Avaliação da qualidade microbiológica da água do médio curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil.** Revista Research, Society and Development, v.6, n.11, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28824>

SANTOS, N. dos, COSTA, G. B. da; CAMARA, B. L. T. de. **Governança dos recursos**

hídricos no estado de Rondônia: uma análise a partir do progestão. Revista de administração e negócios da Amazônia, v.11, n.3, p. 251-267, 2019. Doi: <http://10.18361/2176-8366/rara.v11n3p251-267>

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS - SEMA. **Monitoramento da qualidade das águas.** Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/programas-ou-campanhas/monitoramento-da-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 11/07/2025

SILVA, A. D. Da.; LACERDA, A. V. de. **Os recursos naturais e a gestão em bacias hidrográficas: aplicabilidade e novos desafios.** In: SILVA, J. I. A. O. (Org). Gestão e Governança da água sob múltiplas visões e casos. Campina Grande, Editora EDUEPB, 2021. 222p.

SOARES, L. S. et al. **Space-temporal analysis of physico-chemical and biological variables of water quality in the itapecuru river, northeastern atlantic hydrographic region, brazil.** Journal caderno prudentino de geografia, v.2, n.44, p.35-56, 2022. <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9181/6539>

VALE, F. da S. et al. **Rio Itapecuru: uma visão geoambiental,** em Caxias, 2014. Revista humana et al v.1, n. 2, p. 104-119, 2014. Disponível em: <https://iesfma.com.br/wpcontent/uploads/2017/10/REVISTA-IESF-2ª-EDICAO.pdf>

VANNIJNATTEN, D. L. **The potential for adaptive water governance on the US–Mexico border: application of the OECD’s water governance indicators to the Rio Grande/Bravo basin.** Journal water policy, v,22, p.1047-1066, 2020. Doi: <http://10.2166/wp.2020.120>

VELASCOA, M. J. M. et al. **Water governance challenges at a local level: implementation of the OECD Water Governance Indicator Framework in the General Pueyrredon Municipality, Buenos Aires Province, Argentina.** Journal Water Policy, v.00, n.1, 2023. Doi: <https://10.2166/wp.2023.194>

WOLKMER, M. de F. S.; PIMMEL, N. F. **Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental.** Revista Sequência, n. 67, p. 165-198, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p165>

WORLD WATER COUNCIL. **Water and climate,** blue book. 2017, 52p. Disponível em: <https://www.worldwatercouncil.org/en/publications/water-and-climate-blue-book-2017>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru tem grande importância ambiental, social e econômica para o estado do Maranhão, por representar a segunda maior bacia hidrográfica, abrigar o maior rio maranhense, ocupar 16% do território do estado e por seus mananciais atenderem as demandas hídricas de uma série de atividades econômicas e sociais, e ainda abastecerem um grande contingente de pessoas no território da bacia hidrográfica e fora dele.

A relevância dessa bacia hidrográfica para o estado do Maranhão vai além dos motivos elencados, e ganha contornos de importância estratégica, haja vista que em cenários de aumento progressivo de estresse hídrico, intensificado pelas mudanças climáticas, de alteração da cobertura natural da terra, de poluição hídrica e aumento do consumo da água, que se manifestam em todo o mundo, a ponto das Organizações das Nações Unidas deflagrarem uma crise hídrica global, essa rede drenagem deveria dispor de uma governança e gestão hídrica mais eficaz e eficiente.

Contudo, os resultados desta pesquisa demonstraram que a bacia hidrográfica do rio Itapecuru, não recebe o planejamento territorial e a gestão hídrica que sua relevância exige, constatando-se que a mesma passa por um processo contínuo e acentuado de mudança no uso e cobertura da terra, com progressiva substituição da cobertura natural por usos alternativos do solo, que redundaram em uma redução de 16,88% da área de vegetação nativa, que foi ocupada em sua grande maioria por pastagem, agricultura e urbanização, gerando impactos negativos e diretos na qualidade da água dos corpos hídricos da bacia hidrográfica.

E apresenta perda progressiva da qualidade da água ao longo dos seus trechos, com essa degradação da qualidade sendo detectada especialmente nos cursos médio e baixo do rio Itapecuru, tendo no lançamento de esgoto *in natura* em áreas urbanizadas instaladas ao longo desse corpo hídrico uma das principais causas dessa degradação.

Situação que se mostrou propícia a geração de cenários com possibilidades de ocorrência de conflitos hídricos em função da perda de qualidade da água, devido a impossibilidade de realização de alguns usos com a segurança adequada, garantida pelo padrão de qualidade da água que cada tipo de uso exige, de acordo com a classe de enquadramento do corpo hídrico, conforme preconiza a Resolução do Conama nº 357 de 17 de março de 2005.

A constatação desses problemas existentes na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, exercem uma pressão adicional sobre o seu frágil sistema de gestão hídrica, passando a exigir uma eficácia e eficiência maior, porém, a avaliação da governança da água nessa bacia hidrográfica, realizada a partir da aplicação dos indicadores de governança da água da OCDE,

demonstrou muitas lacunas, revelando uma governança muito limitada aos instrumentos de comando e controle (leis e normas), com práticas tradicionais e centralizadoras, caracterizando uma governança verticalizada. Com poucos ou nenhum mecanismo ligado à informação sobre recursos hídricos, fontes de receitas e investimentos, monitoramento, avaliação, transparência e inovação.

Porém, acredita-se que os resultados dessa pesquisa possam ser utilizados pelas organizações ligadas a gestão da água e ordenamento territorial, gestores públicos e Comitê da Bacia Hidrográfica, de modo a orientar o planejamento e auxiliar na tomada de decisão acerca da gestão e governança da água no território da bacia. Demonstrando a necessidade dos tomadores de decisão, dos usuários da água e da sociedade em geral, estarem em permanente diálogo para alcançar a boa governança hídrica e uma gestão descentralizada, alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para conseguir recuperar a qualidade ambiental dessa bacia hidrográfica, sobretudo a qualidade da água do rio Itapecuru, que é essencial a uma série de usos e de relevância estratégica para o desenvolvimento de atividades sociais e econômicas em uma região significativa do estado do Maranhão, a qual inclui a cidade de São Luís, capital do estado, cidade mais populosa, de maior parque industrial e atividade comercial.