



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO  
MARANHÃO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E  
TECNOLÓGICAS  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ALANA FRANCO ZANINI

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E  
QUALIDADE AMBIENTAL NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO  
TOCANTINS NO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-MA**

Imperatriz – MA

2025

**ALANA FRANCO ZANINI**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E  
QUALIDADE AMBIENTAL NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO  
TOCANTINS NO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas – CCENT, da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, do curso Ciências Biológicas.

Orientador(a): Profa. Dra. Aichely Rodrigues da Silva

Z31a

Zanini, Alana Franco

Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade ambiental nas sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins no município de Imperatriz-MA. / Alana Franco Zanini. – Imperatriz, MA, 2025.

38 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2025.


1. Qualidade ambiental. 2. Uso e cobertura da terra - Landscape Ecology Statistics (LecoS). 3. Rio Tocantins – bacias hidrográficas. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 556.5(812.1)

**ALANA FRANCO ZANINI**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E  
QUALIDADE AMBIENTAL NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO  
TOCANTINS NO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-MA**

Banca Examinadora:


Documento assinado digitalmente  
 **AICHELY RODRIGUES DA SILVA**  
Data: 28/07/2025 15:18:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dra. Aichely Rodrigues da Silva (Orientadora)**

Doutora em Geografia

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão


Documento assinado digitalmente  
 **MARCELO FRANCISCO DA SILVA**  
Data: 29/07/2025 09:19:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Marcelo Francisco da Silva**

Doutor em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários

Universidade Estadual da Região Tocantina Do Maranhão

Documento assinado digitalmente  
 **JOAQUIM PAULO DE ALMEIDA JUNIOR**  
Data: 29/07/2025 09:13:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Joaquim Paulo Almeida Junior**

Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Dedico este trabalho a Deus, meus progenitores, cônjuge e irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter estado ao meu lado em todos os momentos, me dando força e confiança para que eu pudesse concretizar o meu objetivo de chegar ao final dessa graduação.

À minha família, em especial a minha mãe, que sempre me incentivou desde criança a estudar, que sempre acreditou em mim e nos meus sonhos e que tanto me ajudou, tanto emocionalmente como financeiramente desde o início da graduação, possibilitando essa caminhada.

Aos meus professores, pelo carinho, paciência e aprendizado, cada um foi importante para a minha formação.

Aos meus poucos amigos de graduação, pela parceria mútua aos longos desses cinco anos, nos ajudando e sempre torcendo uns pelos outros, são pessoas que quero levar para a vida.

À minha orientadora, Aichely Rodrigues da Silva, a qual tive a felicidade de ser sua bolsista PIBIC, agradeço a confiança, apoio, estímulo e pelos conhecimentos passados, agregando em minha formação profissional.

E por fim, a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), pela colaboração deste estudo e auxílio durante toda a minha jornada acadêmica.

*“Posso todas as coisas em Cristo que me fortalece” Filipenses 4:13*

## RESUMO

O uso e a ocupação da terra promovem deterioração nas bacias hidrográficas urbanas que modificam as características físico-químicas e ambientais. Esta pesquisa objetivou analisar a qualidade ambiental na escala espaço-temporal das mudanças do uso da terra em sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins, no município de Imperatriz-MA. A pesquisa delimita o recorte espacial de três sub-bacias do rio Tocantins, a saber: Riacho Bacuri, Riacho Cacao e Riacho Capivara, que drenam o perímetro urbano de Imperatriz. Para isso, foi realizado, primeiramente, uma pesquisa bibliográfica para coleta de dados pretéritos, em dissertações, teses e artigos científicos, com a finalidade de formar um banco de dados a respeito das condições ambientais dessas sub-bacias. Para a pesquisa *in loco* foi adotado o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), se trata de uma investigação visual de ambiente que agrega resultados à análise de uso e cobertura da terra que teve como finalidade analisar as condições das margens, da vegetação ciliar, da qualidade da água a intensidade de urbanização e a presença de fauna nativa. Em seguida, para identificar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra nas áreas de estudo, foram utilizados o Sistema de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS, e a métrica de análise da paisagem pelo *Landscape Ecology Statistics* (LecoS). Também foram feitas análises da qualidade da água em quatro pontos do riacho Bacuri e em três pontos do Riacho Cacao e Riacho Capivara, analisando parâmetros físico-químicos, como, Temperatura (C°), Turbidez (NTU), PH, Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT). Por fim, para estimar a autocorrelação espacial entre as análises, foi utilizado o índice de Moran que permitiu avaliar a relação de interdependência espacial entre as áreas de estudo. No período amostral dessa pesquisa, as sub-bacias demonstraram em todos os cenários redução da formação florestal e da formação savânica. Enquanto na sub-bacia do Cacao houve o aumento de 29,2% dos mosaicos de agricultura e pastagem. As sub-bacias do Bacuri e Capivara apresentaram de 70% a 80% do território ocupado pela urbanização desordenada. Os dados fornecem informações sobre a qualidade ambiental das sub-bacias e podem ter importância para pesquisas futuras e na gestão desses corpos d'água. Analisando a qualidade da água das sub-bacias utilizando fatores físico-químicos, o riacho Bacuri demonstrou maior deterioração. Para todas as três sub-bacias e um afluente pesquisados, a análise do PAR mostrou que, todas as quatro sub-bacias estão em condições precárias de sua qualidade ambiental. As áreas que apresentaram a pior qualidade ambiental foram riacho do Meio, afluente do Bacuri e riacho Capivara.

**Palavras-chave:** Qualidade ambiental, uso e cobertura da terra, Landscape Ecology Statistics (LecoS).

## ABSTRACT

Land use and occupation promote deterioration in urban watersheds that modify the physical-chemical and environmental characteristics. This research aimed to analyze the environmental quality on the spatial-temporal scale of land use changes in sub-watersheds of the Tocantins River, in the municipality of Imperatriz-MA. The research delimits the spatial cut of three sub-basins of the Tocantins River, namely: Bacuri, Cacao and Capivara, which drain the urban perimeter of Imperatriz. For this, a bibliographic research was carried out to collect past data, such as dissertations, theses and articles, with the purpose of forming a database regarding the environmental conditions of these sub-basins. For the on-site research, the Rapid Assessment Protocol (PAR) was adopted, which is a visual investigation of the environment that aggregates results to the analysis of land use and coverage that aimed to analyze the conditions of the banks, riparian vegetation, water quality, intensity of urbanization and the presence of native fauna. Then, to identify the spatiotemporal dynamics of land use/cover in the study areas, the Geographic Information System (GIS), such as QGIS, and the landscape analysis metric by Landscape Ecology Statistics (LecoS) were used. Water quality analyses were also performed at four points in the Bacuri stream and at three points in the Cacao and Capivara streams, analyzing parameters such as Temperature (C°), Turbidity (NTU), pH, Dissolved Oxygen (DO), Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorus (PT). Finally, to estimate spatial autocorrelation, the Moran index was used, which allowed the evaluation of the spatial interdependence relationship between the study areas. During the sampling period of this research, the sub-basins demonstrated a reduction in forest formation and savanna formation in all scenarios. While in the Cacao sub-basin there was a 29.2% increase in the agricultural and pasture mosaics. The Bacuri and Capivara sub-basins had 70% to 80% of their territory occupied by disorderly urbanization. The data provide information on the environmental quality of the sub-basins and may be important for future research and management of these water bodies. Analyzing the water quality of the sub-basins using physical-chemical factors, the Bacuri stream demonstrated the greatest impact. For all three sub-basins and one tributary studied, the PAR analysis shows that all four sub-basins are in precarious conditions of their environmental quality. The areas that were most impacted were the Meio stream and the Capivara stream.

**Keywords:** environmental quality, land use and land cover, Landscape Ecology Statistics (LecoS).

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Processo de eutrofização de lagos e rios.....	24
<b>Figura 2.</b> Fluxograma dos materiais e métodos que serão utilizadas na pesquisa. .....	25
<b>Figura 3.</b> Área de localização das sub-bacias hidrográficas dos riachos: Bacuri, Cacaú e Capivara, Maranhão .....	27
<b>Figura 4.</b> Mapas de uso e cobertura da terra, nos anos de 1990 e 2020, nas sub-bacias hidrográficas dos Riachos Bacuri, Cacaú e Capivara, no Maranhão .....	32
<b>Figura 5.</b> Médias e desvio-padrão do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) aplicado nas sub-bacias dos Riachos Bacuri, Cacaú e Capivara, no Maranhão .....	34
<b>Figura 6.</b> Área de estudo nas sub-bacias do Riacho Bacuri e Capivara .....	35
<b>Figura 7.</b> Pontos de coletas nas sub-bacias Bacuri, Cacaú e Capivara, entre os anos de 2015 à 2021, no Maranhão .....	37
<b>Figura 8.</b> Concentração de turbidez nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz- Maranhão.....	38
<b>Figura 9.</b> Concentração de pH nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz – Maranhão.....	39
<b>Figura 10.</b> Concentração de oxigênio dissolvido (OD) em mg.L <sup>-1</sup> , nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz - Maranhão .....	40
<b>Figura 11.</b> Temperatura da água (°C), nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz – Maranhão .....	41
<b>Figura 12.</b> Concentração de nitrogênio total (NT) em mg.L <sup>-1</sup> , nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz – Maranhão .....	42
<b>Figura 13.</b> Concentração de fósforo total (PT) em mg.L <sup>-1</sup> , nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz – Maranhão .....	42
<b>Figura 14.</b> Análise de Componentes principais (ACP) com as variáveis que descrevem a qualidade da água nas sub-bacias analisadas .....	43

## **LISTA DE SIGLAS**

CAEMA – Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMESC – Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos

LECOS - Landscape Ecology Statistics

SIGS - Sistemas de Informações Geográficas

ACP - Análise de Componentes Principais

PLANASA- Plano Nacional de Saneamento

BNH - Banco Nacional da Habitação

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PAC - Programa de Aceleração de Crescimento

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

PAR - Protocolo de Avaliação Rápida

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

PT – Fósforo Total

NT – Nitrogênio Total

NTU – Turbidez

MPS - Material Particulado em Suspensão

CPs – Componentes Principais

OD – Oxigênio Dissolvido

NH4 – Nitrogênio Amoniacal

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 O crescimento urbano e o impacto nos recursos hídricos.....	15
2.2 O saneamento básico no Brasil e o crescimento urbano.....	15
2.3 A bacia hidrográfica como espaço de análise do meio urbano .....	16
2.4 Qualidade Ambiental na bacia hidrográfica.....	19
2.5 Qualidade das águas no meio urbano .....	21
2.6 Processo de eutrofização nas águas .....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
3.1 Área de estudo.....	26
3.2 Características socioeconômicas do município de Imperatriz-MA.....	28
3.3 Tratamento e análise de dados .....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1 O Passado e o presente da paisagem nas sub-bacias hidrográficas .....	31
4.2 O Passado e o presente da qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas .....	31
5 CONCLUSÃO .....	45
REFERÊNCIAS.....	45
APÊNDICE .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra dependem do desenvolvimento natural e socioeconômico que acontece no espaço e no tempo. Este cenário foi retratado no estudo do *Global Land Outlook*, o qual demonstrou que 70% da área terrestre do planeta Terra foi modificada por atividades antrópicas e que 40% foram degradadas, isto é, não é tão fértil quanto era originalmente (UNCCD, 2022). A expansão urbana ocorre com a incorporação de novas áreas ao espaço urbano, tornando-se parte área urbanizada ou “mancha urbana” (Nascimento, 2016). Sob outro ponto de vista, McGrane (2016) defende que não existe concordância, na literatura, com a terminologia “mancha urbana”, pois os usos múltiplos das áreas urbanas são analisados em relação à densidade populacional, população total e presença de estruturas específicas, como moradia/escolas, superfícies impermeáveis, percentual de atividades econômicas e não agrícolas.

Esse processo de urbanização traz diversos distúrbios aos cursos d’água causados pela falta de destinação apropriada dos efluentes e dos resíduos sólidos. Dessa forma, um estudo integrado é fundamental, dado que a bacia hidrográfica é um ambiente de múltiplas integrações naturais e socioeconômicas. Essas complexidades não podem ser “reduzidas a comportamentos lineares, muito menos o será quando encarada sob uma perspectiva ambiental (...). Não há como entender tal realidade por partes, separá-las, dividi-las e depois juntá-las para que funcionem novamente” (Vicente; Perez Filho, 2003, p. 342).

Outro dado importante, de um recente estudo realizado pelo MapBiomas (2022), constatou que a área de uso e ocupação antrópica no estado do Maranhão aumentou de aproximadamente 11.131.000 hectares em 2010 para 12.239.000 hectares em 2022. Deste total, 8.300.000 hectares correspondem a pastagens, 3.800.000 hectares a áreas de agricultura, 7.700 hectares a silvicultura, 107.000 hectares a infraestrutura urbana, 4.100 hectares a mineração e cerca de 20.000 hectares a outros usos antrópicos. Esse conjunto de ocupações representa aproximadamente 36,9% do território maranhense convertido para atividades antrópicas. O município de Imperatriz, por exemplo, segundo maior do Maranhão, presencia um modelo de expansão contínua e urbanização dispersa que contribui para a atual tendência das cidades médias brasileiras (Santos; Nunes, 2020). A cidade de Imperatriz localiza-se a sudoeste do Estado do Maranhão. Possui uma extensão territorial de 1.369,00 km<sup>2</sup>, sendo que somente 90 km<sup>2</sup> pertencem ao seu perímetro urbano, segundo dados do IBGE (2010). Segundo Santos e Nunes (2020), seu crescimento populacional se deu durante o século XX, onde o município possuía uma extensão territorial de 24.103,83 km<sup>2</sup> e uma população de 7.879 habitantes. Os

anos 60 foi marcado pela construção da BR-010 (Rodovia Belém-Brasília), tanto seu período de construção quanto o seu funcionamento atraíram muitos migrantes para o município. Nessa época a população chegou a 220.079 habitantes, muitos também atraídos pela atividade madeireira. Apesar do crescente aumento populacional, Imperatriz teve sua extensão territorial reduzida gradativamente devido a constantes redivisões político-administrativas após o surgimento de cidades, como, João Lisboa e Açailândia. As décadas de 1960, 1970 e 1980 marcaram o período de maior crescimento e consolidação urbana de Imperatriz, impulsionado pelo aumento contínuo da população. Esse processo ocorreu de forma concentrada e orientada pelas divisões territoriais administrativas vigentes, que definiam os limites municipais da época. Dessa maneira, a expansão urbana manteve a conexão com a malha já existente, favorecendo o surgimento de novas centralidades na cidade.

O município de Imperatriz é banhado pela bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. Vale destacar que essas sub-bacias drenam para o rio Tocantins, a saber: Bacuri, Cacau, Capivara e Santa Tereza, que sofrem degradação oriunda do aumento da mancha urbana, desmatamento das matas ciliares e falta de saneamento ambiental (Nascimento; Gomes; Costa et al. 2015; Silva; Santos, 2015; Mendes Neto; Soares; Lucena, 2018, Rodrigues; Santos; Barbosa, 2019; Santos; Nunes; Santos 2020; Oliveira; Targa; Balduino, 2021).

A qualidade ambiental em sub-bacias hidrográficas é uma medida do nível de conservação e sustentabilidade dos recursos naturais e ecológicos em uma determinada área de drenagem, levando em conta a integridade da água, do solo, da vegetação e da paisagem, bem como os efeitos das atividades antrópicas sobre esses elementos. Neste sentido, essa pesquisa teve como objetivo geral analisar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade ambiental das sub-bacias hidrográficas do município de Imperatriz-MA. E como objetivos específicos: a) Identificar as principais categorias de uso e cobertura da terra nas principais sub- bacias hidrográficas no município de Imperatriz -MA; b) Determinar as unidades de paisagem encontradas nas sub-bacias hidrográficas de análise; c) Caracterizar a influência das mudanças temporais produzidas nas paisagens das principais sub-bacias hidrográficas: Bacuri, Cacau e Capivara do município de Imperatriz-MA; d) Tabular e correlacionar os dados dos aspectos naturais com as possíveis modificações na paisagem dessas sub-bacias hidrográficas; e) Comparar a mudança do uso e cobertura da terra entre as sub-bacias hidrográficas.

Para tal propósito, nesta pesquisa foram utilizadas imagens de satélite essenciais no monitoramento do desmatamento, na preservação ambiental e na identificação de impactos causados pela ação humana (Florenzano, 2002). Os Sistemas de Informações Geográficas

(SIGs) colaboram para o mapeamento e zoneamento, sendo utilizados como método de fiscalização e planejamento em bacias hidrográficas e seus respectivos espaços, uma vez que as mudanças ocorrem em uma pequena escala temporal (Rodrigues *et al.*, 2014). Além disso, foi utilizado o modelo LecoS (*Landscape Ecology Statistics*). Para Christofolletti (1999), ao desenvolver um esquema representativo (modelo), o que está sendo “representado” não é a realidade em si, mas sim a visão do “modelador”, ou seja, como ele observa um determinado processo e quais variáveis do sistema são conhecidas e consideradas por ele para a estruturação do modelo. Além disso, foi aplicado a Análise de Componentes Principais (ACP) que é uma ferramenta eficaz no gerenciamento de recursos hídricos e controle de poluição, além de ser útil na identificação de possíveis fatores de influência nas bacias hidrográficas (Finkler *et al.*, 2015). Diante dos desafios crescentes relacionados à degradação hídrica em áreas urbanas, esta pesquisa propõe uma reflexão crítica sobre a atual situação dos cursos d’água no município de Imperatriz, contrapondo-a às possibilidades de um futuro mais sustentável. Busca-se compreender os impactos socioambientais decorrentes da ocupação desordenada e da ausência de políticas eficazes de gestão hídrica, bem como analisar as consequências diretas desses processos para a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar da população local.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O crescimento urbano e o impacto nos recursos hídricos**

O uso e disposição inadequados dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos cresceram juntamente com a industrialização e urbanização, principalmente pela ocupação desordenada tendo como referência as margens de rios. Atualmente o Brasil possui aproximadamente 87% da população residindo em áreas urbanas, cerca de 177.697.000 habitantes (IBGE, 2022) o que faz ser necessário o conhecimento da forma como a água se apresenta nas cidades. Já que, a disponibilidade, a qualidade e os usos de um determinado recurso hídrico dependem das atividades existentes nas bacias hidrográficas, onde a qualidade do recurso água está relacionada com o uso e ocupação do solo destas.

O crescimento urbano no Brasil resulta de um processo de urbanização acelerado e desordenado, caracterizado por uma relação desequilibrada entre o ser humano e o meio ambiente. Essa dinâmica tem provocado impactos recorrentes no uso e ocupação do solo, comprometendo a funcionalidade dos ecossistemas urbanos.

Segundo Cassilha (2009) a expansão das cidades e o surgimento de localidades subdesenvolvidas estão ligadas diretamente à degradação ambiental. As consequências diretas

de tal degradação são: enchentes, desmoronamento de terra, poluição de córregos, rios e mananciais, tornando, em muitos casos, a água imprópria para consumo. Desta forma, os impactos ambientais são notáveis nas grandes e pequenas cidades, a legislação brasileira define impacto ambiental como qualquer alteração, de caráter físico, químico e biológico do meio ambiente como resultado de ações humanas que direta ou indiretamente interferem na “saúde, segurança e bem estar da população; nas “atividades sociais e econômicas”; na biota; nas “condições estéticas e sanitárias do meio ambiente”; na “qualidade dos recursos ambientais” (Almeida *et al*, 2018).

A bacia hidrográfica corresponde a um sistema biofísico e socioeconômico integrado e interdependente, contemplando atividades agrícolas, industriais, comunicação, serviços, facilidades recreacionais, formações vegetais, nascentes, córregos, riachos, lagoas, represas, enfim, todos os habitats e unidades de paisagem (Rocha *et al.*, 2000). É uma área de captação natural da água de precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exultório. Seus limites são estabelecidos topograficamente pela linha que une os pontos de maior altitude e que definem os divisores de água entre uma bacia e outra adjacente.

Neste sentido, para o manejo adequado dos recursos hídricos o primeiro passo é a caracterização ambiental da bacia hidrográfica, seguido dos aspectos de qualidade e quantidade de água de forma a considerar a capacidade dos mananciais em escoarem suas águas, além de diluir e depurar efluentes líquidos. As bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas apresentam grande degradação ambiental devido ao crescimento não planejado das cidades, onde a qualidade da água é afetada por diferentes fatores como o lançamento de efluentes industriais e esgotos domésticos sem qualquer tratamento, disposição inadequada de resíduos sólidos que são lixiviados e que também podem contribuir para formação de enchentes.

## **2.2 O saneamento básico no Brasil e o crescimento urbano**

Na segunda metade do século XX, o saneamento no Brasil ainda se encontrava em estágio inicial, reflexo do atraso na atenção dedicada à expansão desse setor. Esse cenário contrastava significativamente com o avanço observado em países mais desenvolvidos (Santos *et al*, 2018). A partir da década de 50, em virtude do aumento dos movimentos migratórios do campo para a cidade e crescimento desordenado do espaço urbano, a população começou a habitar áreas insalubres, que propiciaram a propagação de doenças e perda da qualidade de vida da população. Foi somente durante o governo militar, na década de 60, com a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH) que se direcionou investimentos mais significativos para o saneamento básico (Santos *et al*, 2018).

Na década de 70, precisamente no ano de 1971, foi criado o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). O qual conforme Parlatore (2000), somente após a criação desta instituição é possível falar de uma política nacional de abastecimento de água e esgoto no Brasil, visto que anteriormente a questão era tratada de modo descentralizado e apresentava condições relativamente precárias nas diversas regiões do país. Em 1981, as metas a serem atingidas, durante a década, passam a ser o atendimento da população urbana em 90% com serviço de abastecimento de água de boa qualidade e 65% com serviço de esgotamento sanitário (IBGE, 2002). Apesar da expressiva melhoria nos índices, principalmente da cobertura do abastecimento de água, após a criação do PLANASA e do aumento dos investimentos no setor, não foi possível alcançar a universalização dos serviços, antes da extinção do Plano. Todavia, justamente na década de 80, a crise que afetou a economia brasileira, acabou refletindo negativamente no setor de saneamento do país.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2002), os avanços ocorridos entre 1989 e 2000 foram identificados em municípios de maior porte, principalmente nos pertencentes às regiões mais desenvolvidas. Assim, os municípios com mais de 300.000 habitantes possuíam quase três vezes mais domicílios ligados à rede geral de esgoto do que os domicílios em municípios com população de até 20 000 habitantes.

Souza (2011) demonstrou haver uma relação entre o *déficit* de atendimento de saneamento com a renda e com a localização geográfica do usuário. Visto que a defasagem apresenta caráter estrutural e se mantém, apesar de ter ocorrido o aumento da cobertura dos serviços nas últimas décadas. Segundo Sousa *et al* (2018), a partir de 2003 houveram importantes avanços com a criação de instituições, programas e legislações voltados para o setor de saneamento, como, a criação do Ministério das cidades (2003), Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) e a Lei do Saneamento n 11.445/2007. O PAC, lançado em 2007, teve como objetivo não só atuar no saneamento básico, mas realizar investimentos em obras de infraestrutura como um todo.

### **2.3 A bacia hidrográfica como espaço de análise do meio urbano**

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Diversas definições de bacia hidrográfica foram formuladas ao longo do tempo, entretanto as definições que envolvem as subdivisões da bacia hidrográfica (sub-bacia e microbacia), apresentam abordagens diferentes tocando fatores que vão do físico ao ecológico.

As definições propostas para bacia hidrográfica assemelham-se ao conceito dado por Barrella (2001), sendo definido como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano.

Em uma bacia hidrográfica natural, parte do volume precipitado é interceptado pela vegetação, parte infiltra nos solos, parte evapora, e o restante escoam gradualmente pelos canais, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e picos de enchentes moderados. Lima e Zakia (2000), acrescentam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, e etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (Lima, 1976), assim, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico. Diante disto, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (Tonello, 2005).

Segundo Freitas (2025), a Bacia Hidrográfica do Araguaia-Tocantins está localizada entre os paralelos de 2° S e 18° S e meridianos 46° W e 56° W, apresenta como rio principal, o rio Tocantins e seu principal afluente o rio Araguaia. É considerada por Brasil (2006), como a maior Bacia Hidrográfica genuinamente brasileira com 56% de suas terras pertencentes aos estados de Tocantins e Goiás, 24% no Mato Grosso, 13% no Pará, 4% no Maranhão e 1% no Distrito Federal. É limitada ao Sul pelas Bacias do Paraná – Paraguai; ao Oeste pela Bacia do Xingu; ao Leste pela Bacia do rio São Francisco e ao Nordeste pela Bacia do rio Parnaíba. Essa bacia hidrográfica tem aproximadamente 2.500 km de extensão, desde a sua nascente na

confluência do rio Maranhão com o rio das Almas em Goiás, até a sua foz, na Baía de Marajó, no estado do Pará.

Brasil (2019) informa que essa bacia hidrográfica, tem uma configuração alongada no sentido longitudinal, seguindo os dois eixos fluviais do Tocantins e do Araguaia, sendo que esses dois rios se unem no extremo norte. Destaca que o rio Tocantins tem sua foz no Golfão Marajoara, ou seja, na Baía de Marajó, nas proximidades do rio Pará, contribuindo para a formação do Grande Estuário da Amazônia (Sioli, 1984).

Nascendo entre os municípios goianos de Ouro Verde de Goiás e Petrolina de Goiás, no estado de Goiás, o rio Tocantins, com aproximadamente 2.400 km de extensão, corta os estados de Tocantins, Maranhão e Pará, desaguando na Baía de Marajó, nas proximidades de Belém- PA, no rio Amazonas, mostrando assim claramente sua participação e contribuição no estuário amazônico. Seu principal afluente é o rio Araguaia, que tem sua nascente na Serra do Caiapó, ao encontrar o rio Araguaia na região do Bico do Papagaio dão formação à Bacia Hidrográfica do Araguaia-Tocantins. Essa importante Bacia Hidrográfica abrange aproximadamente

967.059 km<sup>2</sup>, drenando cerca de 10% do território nacional. Seus principais biomas são: ao norte, a Amazônia; ao noroeste, o Cerrado e na sua foz, o rio Amazonas, é do tipo estuário, ou seja, uma transição entre o rio e o mar (Bringel; Gutierrez, 2024).

A contaminação dos ecossistemas aquáticos resultante das atividades antropogênicas constitui uma das grandes preocupações ecológicas dos últimos anos. Particularmente, a má gestão do uso do solo, aliada ao crescimento da população e à expansão industrial observada nas últimas décadas, tem provocado o decréscimo da qualidade da água de rios, lagos e reservatórios (Allan, 2004; Menezes *et al.*, 2014; Dupasa *et al.*, 2015; Fia *et al.*, 2015). Os padrões de uso e ocupação do solo exercem influência direta sobre a qualidade da água, tanto superficial quanto subterrânea, bem como sobre os ecossistemas aquáticos presentes nas bacias hidrográficas. Diversos problemas relacionados à qualidade da água decorrem do uso inadequado do solo, como a urbanização desordenada, a expansão de atividades industriais e a intensificação da agricultura. Esses processos contribuem para a poluição hídrica, a degradação dos recursos naturais e o comprometimento dos serviços ecossistêmicos.

De acordo com Leff (2002), a problemática ambiental é percebida em razão da acelerada exploração decorrente das relações resultantes do crescimento da população e consequente pressão sobre os recursos naturais. No ambiente urbano, não só a dinâmica é alterada, mas, em geral, sua qualidade hídrica encontra-se comprometida. Segundo Vitte e Guerra (2004), as bacias hidrográficas que percorrem perímetros urbanos recebem elevadas cargas de afluentes doméstico, prevalecendo sob as medidas de saneamento básico. A carga orgânica lançada em

forma de esgoto é medida em Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), essa matéria orgânica reduz o oxigênio d'água afetando as atividades respiratórias dos microrganismos, animais e vegetais heterotróficos. Durante os processos respiratórios, além da diminuição do oxigênio, ocorre aumento na concentração de gás carbônico, ocasionando redução do pH, águas ricas em despejos orgânicos são caracterizadas por pH ácido. O baixo índice de oxigênio nas águas também resulta na proliferação de algas tóxicas, ameaçando a biodiversidade local.

Outra problemática é a poluição dessas bacias por resíduos sólidos, que tem como consequência a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, proliferação de doenças e obstrução de drenagens, sendo, portanto, uma das principais causas de enchentes.

#### **2.4 Qualidade Ambiental na bacia hidrográfica**

A qualidade ambiental é o estado do ar, da água, do solo e dos ecossistemas, em relação aos efeitos da ação humana (Horberry, 1984). De acordo com Pires e Santos (1995), qualidade ambiental pode ser definida como a soma dos padrões encontrados nos diversos componentes que nos cercam e influenciam diretamente nossa vida: qualidade da água, do ar, estética, etc. Em bacias hidrográficas, diversos fatores podem impactar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, tais como práticas agropecuárias que favorecem a fragmentação florestal, a urbanização e atividades industriais que lançam carga de contaminantes no solo e água, dentre outros.

As bacias hidrográficas em ambientes florestados, ou mesmo com atividades agrárias, apresenta funcionamento que muito difere das áreas urbanas, por mais que as atividades agrárias sejam responsáveis por uma diminuição na taxa de infiltração de água no solo, ainda há infiltração de uma parcela significativa de água proveniente das chuvas. Diná e Paré (1998), em estudo sobre a influência da produção vegetal sobre a qualidade do solo, demonstraram que a qualidade da matéria orgânica e as propriedades estruturais são excelentes em solos florestais e ruins em solos sob cultivo convencional (Vitte; Guerra; 2004). As áreas com agricultura e pastagens irão apresentar comportamentos diferentes. Nas pastagens, o sistema radicular das gramíneas favorece a infiltração, ocorrendo perdas mínimas de solo e água através do escoamento superficial. As áreas com agricultura apresentam problemas maiores, fatores como, exposição do solo às gotas de chuvas, ausência de cobertura vegetal durante uma parte do ano propiciam a formação de fluxo superficial (Vitte, Guerra; 2004).

As alterações nas paisagens, como, por exemplo, a retirada da floresta, impedem que a água da chuva sirva de suprimento para os vegetais, abasteça o lençol freático, recarregue os aquíferos e, finalmente, abasteça os cursos d'água durante a estação chuvosa e durante a

estiagem. Em ambientes urbanos, onde há uma expressiva superfície impermeabilizada, ocorre a geração de importantes fluxos superficiais e nenhuma ou quase nenhuma infiltração de água no solo (Vitte; Guerra; 2004).

O progresso socioeconômico é impulsionado pelo avanço de várias atividades humanas no meio ambiente; no entanto, é crucial reconhecer que essas práticas têm gerado impactos adversos nos sistemas naturais. A quantidade e qualidade adequadas dos recursos hídricos, por exemplo, são condições essenciais para o desenvolvimento econômico e a manutenção da integridade dos ecossistemas. Contudo, à medida que exploração dos recursos naturais avança, observa-se uma tendência de redução na disponibilidade hídrica e na qualidade ambiental dos ecossistemas (Vitte; Guerra; 2004).

Dentre as modificações geradas pela ocupação do espaço urbano, e que são responsáveis por importantes alterações no ciclo hidrológico nessas áreas, destaca-se a impermeabilização do terreno, através das edificações e da pavimentação das vias de circulação. A água da chuva, impedida de infiltrar-se, escoar sobre a superfície pavimentada, seguindo diretamente para os canais fluviais, podendo causar enchentes de proporções alarmantes. A água que escoar em superfícies lisas (pavimentadas) ganha maior velocidade e, portanto, maior potencial erosivo (Vitte; Guerra; 2004). Os fluxos d'água, portanto, em sua trajetória pode encontrar superfícies não pavimentadas e desprovidas de cobertura vegetal, ocasionando o processo de erosão, essas erosões ocorrendo em subsuperfícies podem desestabilizar o material situado acima, causando movimentos de massa e surgimento de voçorocas, ou crateras, engolindo casas e ruas.

Botelho e Rossato (2002) verificaram que, à medida que aumenta o grau de pavimentação, acentua-se a ocorrência de casos de erosão urbana. De acordo com os autores, o maior número de municípios afetados está associado à classe de 60 a 80% de ruas pavimentadas. Na ausência de vegetação ribeirinha (mata de galeria e, em casos de áreas costeiras, os mangues), fato comum no meio urbano, onde se costuma retificar e canalizar os rios, os sedimentos carregados são neles depositados, gerando o assoreamento, que aumenta os riscos de enchente, em função da diminuição da área da seção transversal do canal e a consequente diminuição do volume de água circulante (Vitte; Guerra; 2004).

## **2.5 Qualidade das águas no meio urbano**

Ao utilizar o termo "qualidade da água", é importante compreender que ele não se refere, necessariamente, à sua pureza absoluta, mas sim às suas características físicas, químicas e biológicas. Essas propriedades variam conforme o ambiente e o uso pretendido, sendo, portanto, a base para a definição de diferentes finalidades para os recursos hídricos. Nesse sentido, a

Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 20/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece parâmetros que determinam limites aceitáveis para a presença de substâncias ou elementos estranhos na água, levando em consideração os diversos tipos de uso, como o abastecimento humano, recreação, irrigação e preservação da vida aquática.

Nas áreas urbanas, a qualidade da água pode ser afetada por alguns fatores, inicialmente, as atividades desenvolvidas na cidade podem lançar efluentes líquidos e gasosos bem como resíduos sólidos, que comprometem a qualidade da água da chuva que escoar pela cidade até atingir a rede hídrica. Esse tipo de poluição é maior no início da chuva e decresce à medida que a chuva vai lavando as superfícies por onde passa (Finotti *et al.*, 2009).

Na área rural, Marten e Minella (2002) enfatiza que a contaminação de mananciais, ocorre devido ao aumento da atividade primária de plantas e algas, resultante do aporte excessivo de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, provenientes das lavouras e da produção animal em regime confinado. O crescimento excessivo de algas e macrófitas aquáticas reduz a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água, impactando negativamente o ecossistema aquático e, em muitos casos, levando à mortandade de peixes. Além dos danos ecológicos, o acúmulo de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, pode comprometer o uso da água para abastecimento público, provocando alterações no sabor, odor e até a presença de toxinas associadas à floração de certas espécies de algas. Soma-se a isso a preocupação com a introdução de agroquímicos e metais pesados nos corpos hídricos, os quais representam riscos adicionais à saúde humana e ao meio ambiente.

No que concerne aos impactos da poluição ambiental sob os corpos d'água, Paula (2008) pontua que, estes, podem ser os mais numerosos, indo desde a queda da qualidade da água até a desestruturação do ambiente físico e químico. Fato é que os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo com uma série de ameaças que interferem de maneira prejudicial nos usos preponderantes das águas. Dessa forma, para que a qualidade ou disponibilidade hídrica desejada a um determinado curso d'água seja alcançada ou mantida, a priori, é necessária a introdução de ferramentas capazes de controlar a poluição difusa e pontual.

A águas que circulam na cidade ou águas de drenagem urbana podem ter sua qualidade muito comprometida em função dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos que são produzidos e lançados nesse ambiente. Esses poluentes têm origem na circulação de automóveis, em gases de escapamento, como hidrocarbonetos devido à queima de gasolina e óleo; borracha, zinco, cádmio e cobre devido ao desgaste dos pneus; em titânio cromo, ferro e alumínio, devido ao desgaste de peças metálicas e material particulado do desgaste das vias. Além desses poluentes

também há contaminação por carga orgânica, vírus e bactérias, protozoários e helmintos advindos de animais e componentes dos resíduos sólidos como matéria orgânica, plástico, metais diversos e papéis; materiais em suspensão, folhas e restos vegetais além de sedimentos provenientes dos canteiros de obras (Tucci *et al.*, 1998).

Os esgotos domésticos contribuem com uma carga orgânica bastante alta, além da inserção de nitrogênio e fósforo nas águas. Esses compostos são responsáveis pela redução de oxigênio dissolvido, devido a degradação da matéria orgânica e por estabelecem condições para a eutrofização, em função do aumento de nitrogênio e do fósforo. Além desses efeitos, também há um grande aumento de organismos patogênicos que variam desde bactérias e vírus até helmintos. A presença desses organismos nas águas é responsável pelo alto índice de incidência de doenças de veiculação hídrica no Brasil e por boa parte dos casos de mortalidade infantil (Finotti *et al.*, 2009).

A geração de resíduos sólidos está intimamente associada a variações sazonais, econômicas e culturais. Os hábitos e costumes da população, fatores educacionais e o gerenciamento dos resíduos pelo poder público estão seguramente por trás da disposição inadequada dos resíduos sólidos no meio ambiente. Estes, portanto, podem provocar sérios problemas tanto à drenagem urbana, como o comprometimento de calhas e entradas de bueiros e conseqüentemente alagamentos, quanto com relação à qualidade das águas (Finotti *et al.*, 2009).

No que diz respeito ao impacto da remoção de matas ciliares na qualidade da água, a presença e o tipo de vegetação têm grande influência na distribuição da água em um manancial, influenciando, portanto, na interceptação, precipitação interna, escoamento pelo tronco e fluxos de água no solo e no deflúvio final da bacia, a cobertura vegetal também influencia na regulação do microclima e na preservação do solo (Finotti *et al.*, 2009). As matas ciliares são sistemas que funcionam como reguladores do fluxo de água, sedimentos e nutrientes entre os terrenos mais altos da bacia hidrográfica e o ecossistema aquático, desempenhando o papel de filtro para materiais diversos.

Nesse sentido, influencia diretamente as condições físico-químicas e biológicas dos recursos hídricos. Esses ecossistemas desempenham um dos mais importantes serviços ambientais, que é a manutenção dos recursos hídricos, em termos de vazão e qualidade da água, assim como do ecossistema aquático como um todo (Lima, 2003). Portanto, a ausência da mata ciliar, como normalmente ocorre nas áreas urbanas, é um dos fatores que pode piorar a qualidade dos rios urbanos, visto que a filtragem dos contaminantes deixa de ocorrer (Finotti *et al.*, 2009).

## 2.6 Processo de eutrofização nas águas

A eutrofização é um processo recorrente da acumulação excessiva de matéria orgânica proveniente de esgoto doméstico e pelo desenvolvimento de algas, ou seja, a eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com consequente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos hídricos (Figura 1). Um dos principais problemas relacionados à eutrofização é a proliferação de cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas. Muitos gêneros de cianobactérias quando submetidas a determinadas condições ambientais podem produzir toxinas que chegam a ser fatais aos animais e aos seres humanos (Figueiredo *et al*, 2007).

Alguns efeitos da eutrofização nos ecossistemas aquáticos são: ausência de oxigênio dissolvido, o que resulta na morte de peixes e de invertebrados e na liberação de gases tóxicos ou com odores desagradáveis, formação de florações de algas e de cianobactérias e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas. Quanto ao desenvolvimento excessivo de cianobactérias, se tóxicas, podem tornar-se um problema de saúde pública, caso o fenômeno ocorra em águas para abastecimento público (Rocha, 2021).

No ambiente urbano, não só a dinâmica das águas é alterada, mas, em geral, sua qualidade encontra-se comprometida. Nas áreas urbanas, as principais fontes de poluição são: poluição orgânica (esgoto doméstico), poluição por resíduos sólidos (lixo) e industrial, cujos despejos são os mais poluentes, devido à presença de substâncias tóxicas.

**Figura 1-** Processo de eutrofização em lagos e rios



Fonte: G1 Maranhão (2025)

Na grande maioria das cidades brasileiras, a poluição das águas e sedimentos, pelas cargas elevadas de esgoto doméstico ainda prevalece sobre as medidas de saneamento. Segundo os dados da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2017), realizada pelo IBGE (2017), a abrangência do serviço de esgotamento sanitário por rede coletora é bem menor e muito mais heterogênea entre as Grandes Regiões. Enquanto, no Sudeste, mais de 90% dos municípios possuíam esse serviço desde 1989, no Norte, essa proporção foi apenas 16,2% em 2017. Apesar disso, esse valor quase dobrou nessa Região desde o início da série. Também no Nordeste, o crescimento foi semelhante: a proporção de municípios com o serviço dobrou, passando de 26,1%, em 1989, para 52,7%, em 2017. O melhor desempenho foi observado no Centro-Oeste, onde a proporção dessas localidades com esgotamento sanitário passou de 12,9%, em 1989, para 43,0%, em 2017. Na Região Sul, o avanço foi bem mais tímido, contrastando com outros indicadores socioeconômicos da Região, que, em geral, são positivos em relação ao restante do País. A pesquisa simplificada do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2017), do Ministério do Desenvolvimento Regional, revela que os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul registraram as maiores frequências e proporções de Municípios onde há coleta de esgoto por meio de galerias pluviais: 51 em Santa Catarina (11,5%) e 57 no Rio Grande do Sul (17,3%). No Brasil, a proporção de Municípios com serviço de esgotamento sanitário passou de 47,3%, em 1989, para 60,3%, em 2017.

Para mitigar os danos causados pela eutrofização de riachos e rios, algumas ações são consideradas, como: o aumento da cobertura vegetal, melhora na estruturação do solo, aumento

da infiltração da água, diminuição do escoamento superficial e dos processos erosivos. Para minimizar a ocorrência de inundações e reduzir o potencial dos prejuízos por elas causados é preciso aumentar a retenção de águas nas bacias, através do aumento da infiltração, conservação e recuperação das áreas de retenção natural das águas (planícies de inundação, pântanos e brejos) (Vitte; Guerra; 2004).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a pesquisa foram necessárias as seguintes metodologias: revisão bibliográfica, estudo de caso, utilização de técnicas de geoprocessamento e métrica de paisagem (Figura 2).

**Figura 2** - Fluxograma dos materiais e métodos que serão utilizadas na pesquisa.



Fonte: Autora (2023)

Para a pesquisa *in loco* para a análise da qualidade Ambiental foi adotado o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que é uma investigação visual de ambiente que agrega resultados à análise de uso e cobertura da terra, proposto por Silva (2016). Esse protocolo analisa as condições das margens, da vegetação ciliar, da qualidade da água, a intensidade de urbanização e a presença de fauna nativa. Em seguida, para identificar a dinâmica espaço-temporal do uso/cobertura da terra nas áreas de estudo foram utilizadas informações de uso e cobertura adquiridas no Mapbiomas ([https://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collectionadquiridos](https://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collectionadquiridos)) e Google Engenier Pro. A identificação das categorias de paisagem e a mudança temporal serão feitas com auxílio do plugin LecoS (*Landscape Ecology Statistics*) no software QGis 3.14 Pi π. O LecoS é capaz

de calcular, de forma automatizada, as métricas básicas e avançadas de paisagem com dados de sensoriamento remoto (Jung, 2016).

Foi ainda calculado o índice de diversidade Shannon das espécies vegetais analisadas basearam-se em a fórmula, conforme Kaufmann e Pinheiro (2009):

$$H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i \quad \text{Equação 1}$$

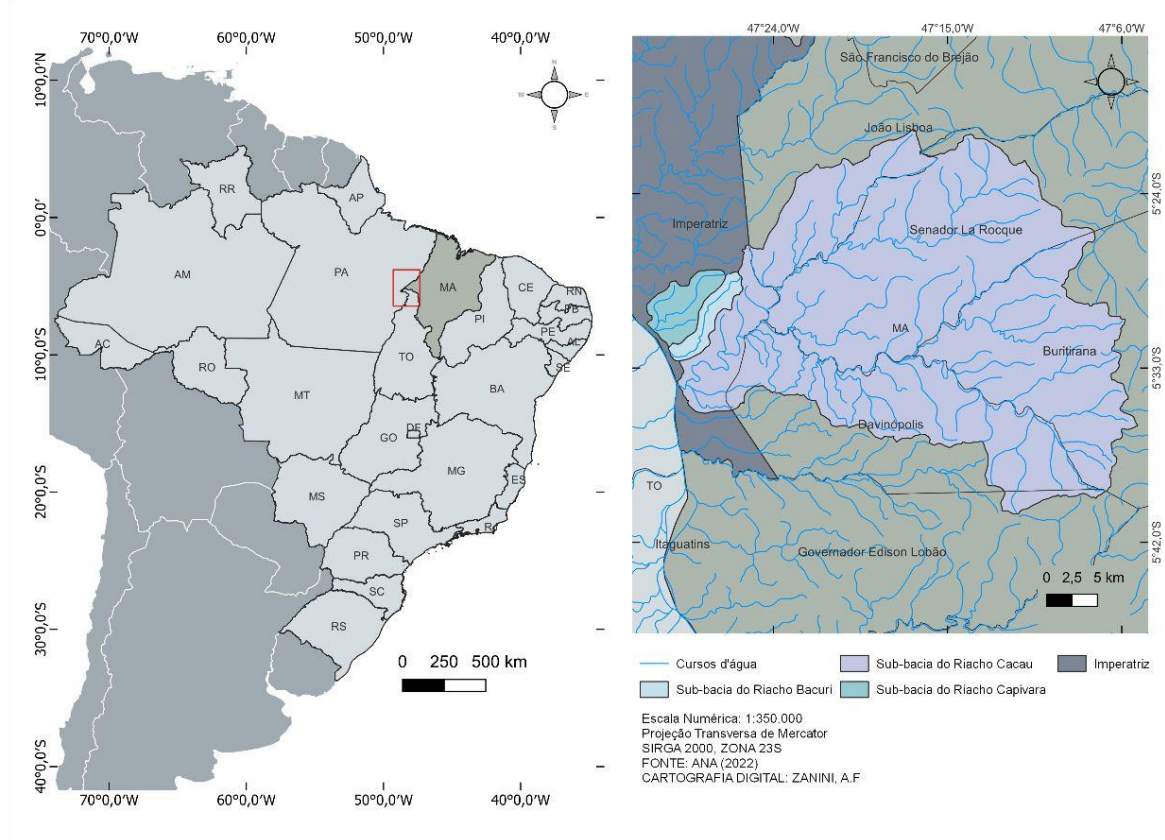
Em que:  $p_i = n_i / N$ ,  $n_i$  - número de indivíduos de cada espécie;  $N$  - número total de indivíduos da amostra. O resultado foi expresso em bit.ind-1, considerando-se os seguintes critérios:  $\geq 3,0$  bits.ind-1 representa uma alta diversidade;  $< 3,0$  a  $\geq 2,0$  bits.ind-1 representa uma média diversidade.

### 3.1 Área de estudo

As sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins analisadas foram as dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara (Figura 3). O riacho Bacuri localiza-se na cidade de Imperatriz-MA tem aproximadamente 14.979,61m de extensão e área da sub-bacia de 1785,7 hectares (ha). A largura média desse riacho é de 5,0m e 0,70m de profundidade. Inicia seu curso no limite entre os municípios de Imperatriz e João Lisboa, seguindo pelos bairros Vila Esmeralda, Vila João Castelo, Parque das Palmeiras, Amazonas, Vila Redenção I e II, Vila Lobão, Parque Sanharol, Parati, Jardim Planalto, Jardim Lopes, Vila Nova, Jardim Imperatriz, Jardim São Luís, Aeroporto, Bacuri, Caema e União.

A bacia do Riacho Cacau abrange os municípios de Imperatriz, Buritirana, Davinópolis, Governador Edson Lobão e Senador La Roque no Estado do Maranhão. Segundo Silva e Santos (2014), a sub-bacia do Rio Cacau sofre com a expansão da mancha urbana, relacionada à falta de saneamento básico, além das enchentes constantes que causam à população a perda de bens materiais. Já a sub-bacia do Riacho Capivara está situada no perímetro urbano, drenando dez bairros. Essa bacia possui 29 km<sup>2</sup>, e o rio principal possui cerca de 9,8 km.

**Figura 3 - Área de localização das sub-bacias hidrográficas dos riachos: Bacuri, Cacau e Capivara, Maranhão.**



Fonte: Autora (2024)

O riacho Capivara, pertencente à bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, está situado na parte norte da cidade e quase todo seu trajeto está situado no perímetro urbano. Sua extensão é de aproximadamente 9,782 quilômetros atravessando importantes bairros da cidade o que faz dele um dos principais riachos urbanos (Sousa, 2016). Devido à falta de coleta de lixo e rede de esgotos, tem sido utilizado como depósito de dejetos e esgoto a céu aberto, prejudicando as atividades de recreação e lazer público para moradores de aproximadamente 10 bairros que são cortados pelas suas águas (Sousa, 2016).

### 3.2 Características socioeconômicas do município de Imperatriz-MA

A cidade de Imperatriz-MA está localizada na mesorregião Sudoeste Maranhense, compreendendo uma área de 1.369,00 km<sup>2</sup>, uma população censitária de 273.110 habitantes e uma densidade demográfica 23,86 habitantes/km<sup>2</sup>, distante 629,5 km de São Luís, capital do Estado do Maranhão. Referente aos limites geográficos, posiciona-se com os municípios de Cidelândia, São Francisco do Brejão, João Lisboa, Davinópolis, Governador Edison Lobão e com o Estado do Tocantins (IBGE, 2025).

O município foi elevado à condição de cidade, com a denominação de Imperatriz pela Lei Federal nº 1.179, em 29 de abril de 1924, no governo Godofredo Viana. Por seu isolamento, Imperatriz também foi conhecida por muito tempo como a Sibéria Maranhense. Distante geograficamente e politicamente de São Luís, a cidade tinha um lento crescimento econômico e populacional, realidade transformada em 1958, com o início das obras de construção da rodovia Belém Brasília. Segundo o censo demográfico de 2010 do IBGE e o PNUD (2010) o município tem Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,731, ocupando a 1460ª posição no *ranking* dos municípios brasileiros. Em 2021, o PIB per capita era de R\$ 29.127,74. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 2ª de 217 entre os municípios do estado e na 310ª de 5570 entre todos os municípios

Para os setores de infraestrutura e meio ambiente, conforme dados do IBGE (2025) Imperatriz, apresenta 48,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 69,7% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 22,4% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Segundo dados da enciclopédia dos municípios maranhenses do IMESC (2021), o fornecimento de energia é feito pelo Grupo Equatorial Energia (2011) através do Sistema Regional de Imperatriz que compreende a região oeste maranhense, tendo sistema suprido radialmente pela subestação de Imperatriz – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE).

Na cidade, a água destinada para consumo é distribuída pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA, autarquia municipal que atende aproximadamente 4.089 domicílios por meio de uma central de abastecimento. Além disso, o município apresenta sistema de escoamento superficial dos efluentes domésticos e pluviais que são depositados em corpos hídricos permanentes.

### **3.3 Tratamento e análise de dados**

Para mensurar a qualidade da água foram realizadas três amostragem nos meses de dezembro (2022) e fevereiro e junho (2023) no riacho Bacuri em quatro pontos, a saber: BA1 (Nascente), BA2 (médio), BA3 (fóz) e RM (Riacho do Meio - afluente), no riacho Cacaú: CA1 (médio) e CA3 (fóz) e no riacho Capivara: CP1 (médio), CP2 (médio) e CP3 (fóz), conforme metodologia de Strickaland e Parsons (1972).

Os parâmetros analisados foram: temperatura da água (°C), turbidez (NTU), Clorofila-*a* com a sonda multiparametros *Hydrolab DS5 in loco*. Já em laboratório foram analisadas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pelo método respirometria; os nutrientes: fósforo total

pelo método ácido ascórbico (PT), nitrogênio total método brucina (NT) e nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4$ ) pelo método clorimétrico em espectrofotômetro Nessler. O material particulado em suspensão (MPS), conforme Strickaland e Parsons (1972). E os coliformes termotolerante e fecais as análises foram realizadas no Laboratório de Limnologia da UEMASUL seguindo o método Coli Lerte.

Os dados resultantes da pesquisa foram sistematizados em tabelas e gráficos no programa *Microsoft Excel* versão 2021, no qual foi feita uma análise qualitativa sobre as variáveis físico-químico utilizadas para se obter o grau de eutrofização dos riachos.

Para a representação dos resultados foram utilizados *box-plot* (diagramas de caixa) para fornecer uma visualização rápida da distribuição dos dados, pois para distribuições assimétricas, há um desequilíbrio na caixa, com relação à mediana (Schmuller, 2019). A seguir é apresentada a análise descritiva dos dados realizada pelo *software RStudio*, com auxílio do pacote *ggplot2* (Wickham, 2018). Esta análise visa representar os dados por tabelas, gráficos e medidas descritivas de posição, dispersão e distribuição (Ferreira, 2009). O teste Kolmogorov- Smirnov (K-S) foi aplicado para testar a normalidade das amostras com auxílio do pacote *nortest* no *Rstudio*.

A análise estatística multivariada foi realizada pela Análise de Componentes Principais (ACP), técnica estatística que transforma um conjunto de dados em um novo sistema de variáveis (Finkler et al., 2015). Neste novo arranjo, os componentes principais (CPs) são funções lineares do conjunto de dados que não possuem correlação. A ACP foi realizada no *software RStudio* pelos pacotes *factoextra* e *FactoMineR*.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa avaliou a qualidade da água e a qualidade ambiental das sub-bacias hidrográficas do rio Tocantins, em Imperatriz-MA. A pesquisa sobre qualidade ambiental mostrou que, a sub-bacia do rio cacau apresentou maior área de formação florestal, respondendo por 71,6% (677,8 km<sup>2</sup>). Em relação ao mosaico de agricultura e pastagem, a maior redução dessas áreas ocorreu na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 apresentou 32,6% (6 km<sup>2</sup>) de sua área; e em 2020, demonstrou cerca de 12% (2,2 km<sup>2</sup>).

No entanto, na sub-bacia do Cacau é visível o avanço dos mosaicos de agricultura e pastagem: em 1990, foi de 23,6% (223,9 km<sup>2</sup>), e em 2020 representou 52,8% (498,9 km<sup>2</sup>), ou seja, um aumento de 29,2% da pastagem de caráter extensivo em trinta anos. Já nas áreas urbanizadas nas sub-bacias foram mais expressivas ainda em 1990 na sub-bacia do Capivara, com 62,8% (18,2 km<sup>2</sup>) da área dessa sub-bacia, e em 2020 com 73,6% (21,3 km<sup>2</sup>). Assim como

na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 comportava apenas 58,4% (10,8 km<sup>2</sup>) de área urbanizada, e em 2020 passou a comportar 83,1% (15,3 km<sup>2</sup>). Já a sub-bacia do Cacau presenciou o menor crescimento dessa unidade de paisagem: de 1,9% (17,8 km<sup>2</sup>) em 1990 para 3,5% (32,9 km<sup>2</sup>) em 2020.

Na aplicação do PAR, as sub-bacias Bacuri e Cacau obtiveram média de 37,83 e 35,00, esse resultado mostra um ambiente em condições antropogênicas. A sub-bacia do riacho Capivara apresentou área impactada, com média de 21,3, sua área de maior eutrofização se encontra localizada na região da foz. Nas análises de qualidade da água, os valores das variáveis OD, NT E PT deram alterados, confirmando alteração da água das sub-bacias por ação antrópica.

#### 4.1 O passado e o presente da paisagem nas sub-bacias hidrográficas

Nesta pesquisa, o período amostral de 1990 e 2020 retratou que as sub-bacias hidrográficas têm suas classes predominantes e que, no decorrer dos anos, o tamanho das áreas de ocupação dessas classes sofreu mudanças, sendo que algumas expandindo e outras recuando (Tabela 1).

**Tabela 1** – Tabela de uso e ocupação da terra para o ano de 1990 e 2020 nas sub-bacias Bacuri, Cacau e Capivara, em Imperatriz-MA

	Unidade de Paisagem	1990		2020		Diferença (1990 – 2020)
		Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)	Percentual (%)
Sub-bacia do Riacho Bacuri	Formação Florestal	1,33	7,2	0,5	2,6	- 4,6%
	Formação Savânica	0,3	1,5	0,2	0,9	- 0,6%
	<i>Índice Shannon</i>	0,9		0,6		
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,0	32,6	2,2	12,0	-20,6%
	Área não vegetada (solo exposto)	0,03	0,2	0,02	1,3	1,1%
	Área Urbanizada	10,8	58,4	15,3	83,1	24,7%
Sub-bacia do Riacho Cacau	Formação Florestal	667,8	71,6	380,3	40,3	-31,3%
	Formação Savânica	22,3	2,3	25,2	2,7	0,4%
	<i>Índice Shannon</i>	1,2		0,6		
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	223,9	23,6	498,9	52,8	29,2%
	Área não vegetada (solo exposto)	4,4	0,5	6,0	0,6	0,1%
	Área Urbanizada	17,8	1,9	32,9	3,5	1,6%
Sub-bacia do Riacho Capivara	Formação Florestal	3,7	12,9	2,0	7,0	5,9
	Formação Savânica	0,4	1,5	0,5	1,8	0,3%
	<i>Índice Shannon</i>	1,0		0,8		
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,5	22,4	4,7	16,2	-6,2%

Área não vegetada (solo exposto)	0,1	0,4	0,3	1,2	0,8%
Área Urbanizada	18,2	62,8	21,3	73,6	10,8%

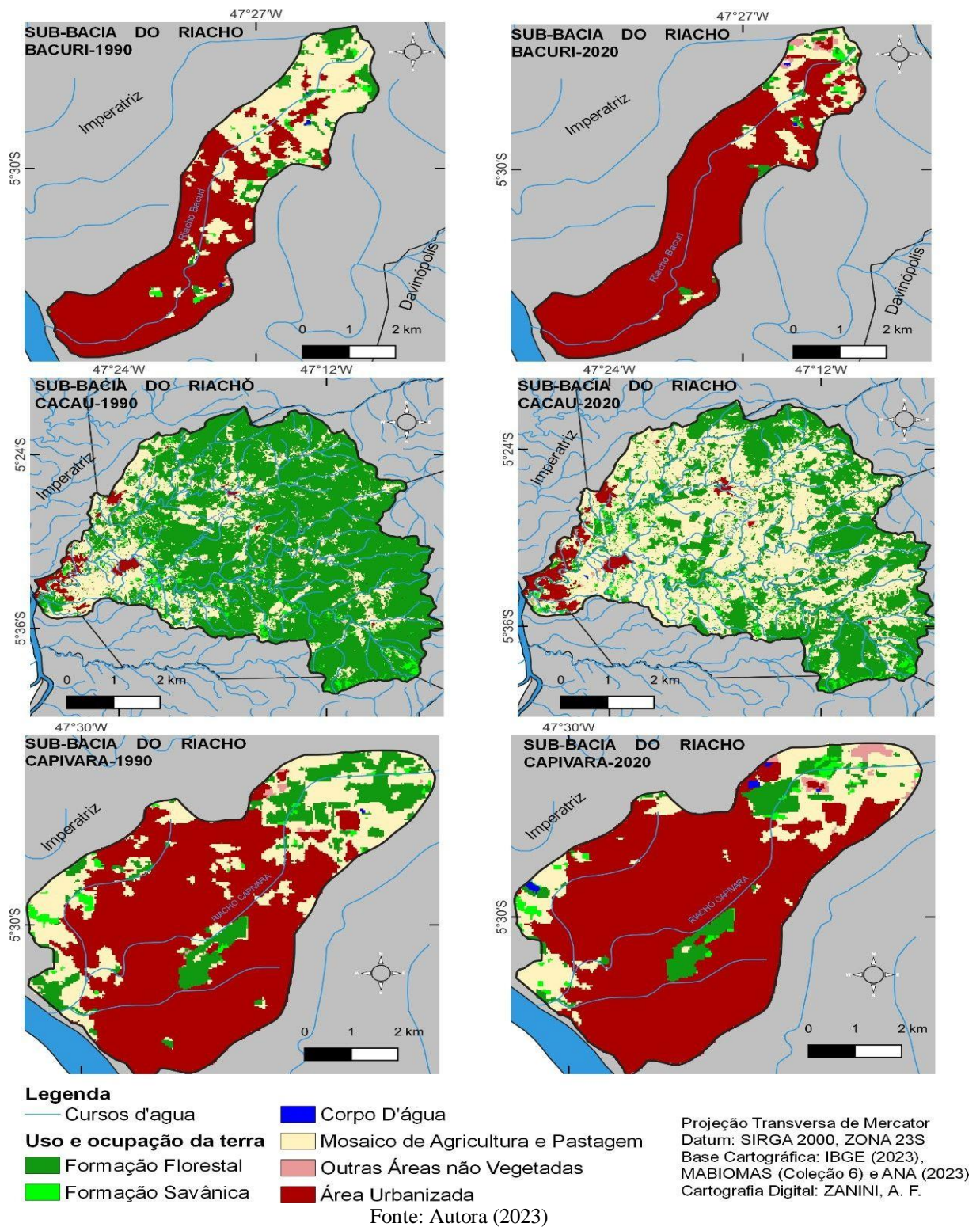
Fonte: Autora (2023)

A sub-bacia do Riacho Cacau, na Tabela 1, em 1990, apresentava a maior área de formação florestal, respondendo por 71,6% (677,8 km<sup>2</sup>), na Figura 4. Por outro lado, em 2020 reduziu para 40,3% (380,3 km<sup>2</sup>). Isto significa uma redução de 31,3% nessa unidade de paisagem no período de 30 anos. O índice de diversidade de Shannon na sub-bacia do Cacau foi de 1,2 bits.ind<sup>-1</sup> (em 1990) indicando baixa diversidade para 0,6 bits.ind<sup>-1</sup> (em 2020) muito baixa. Com o menor percentual de formação florestal temos a sub-bacia do Bacuri que, em 1990, foi de 7,2%, e em 2020 passou para 2,6%. O índice Shannon para essa bacia representou muito baixa diversidade em 1990 e 2020, sendo 0,9 e 0,6 bits.ind<sup>-1</sup>. Essa área está localizada a montante da sub-bacia, próximo ao município de João Lisboa. Vale destacar que as sub-bacias hidrográficas que estão localizadas no perímetro urbano perderam a área de vegetação a natural para a construção de obras residenciais devido à expansão urbana. Este cenário demonstra que a sub-bacia do Riacho Bacuri sofre com o processo de urbanização ao longo do tempo. Além disso, nas sub-bacias constatou-se a redução na área florestal em decorrência do avanço da fronteira agrícola na Amazônia Legal, na qual os recursos naturais são direcionados para a produção de *commodities* agrícolas para o mercado externo, o que significa pouca dinâmica regional-local (Oliveira, 2019).

A formação savânica foi encontrada em pequeno percentual nas sub-bacias (Tabela 1) pertencentes à área de transição com o domínio dos cerrados. A área é caracterizada pelas suas duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. No período amostral do estudo, a sub-bacia do Cacau apresentou 2,3% (22,3 km<sup>2</sup>) dessa vegetação, enquanto as bacias do Bacuri e Capivara apresentaram 1,5% em 1990. Na sub-bacia do Cacau, a vegetação de cerrado encontra-se a 300 m de altitude e está localizada nas proximidades das nascentes (Silva; Santos, 2015). O cerrado é um dos principais biomas do Maranhão, é um ambiente de grande biodiversidade e favorável à expansão da fronteira agrícola na região. Contudo, nesses locais pode ser encontrada a vegetação secundária (vegetação que substituem a vegetação primária).

O mosaico de agricultura e pastagem é caracterizado por pastagem antrópica e/ou natural, somado às áreas de vegetação secundária de baixo porte e árvores esparsas. Nas sub-bacias analisadas, a maior redução dessas áreas ocorreu na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 apresentou 32,6% (6 km<sup>2</sup>) de sua área; e em 2020, demonstrou cerca de 12% (2,2 km<sup>2</sup>), configurando a urbanização dessa sub-bacia (Figura 4).

**Figura 4-** Mapas de uso e cobertura da terra, nos anos de 1990 e 2020, nas sub-bacias hidrográficas dos Riachos Bacuri, Cacaú e Capivara, no Maranhão.



No entanto, na sub-bacia do Cacaú é visível o avanço dos mosaicos de agricultura e pastagem: em 1990, foi de 23,6% (223,9 km<sup>2</sup>), e em 2020 representou 52,8% (498,9 km<sup>2</sup>), ou

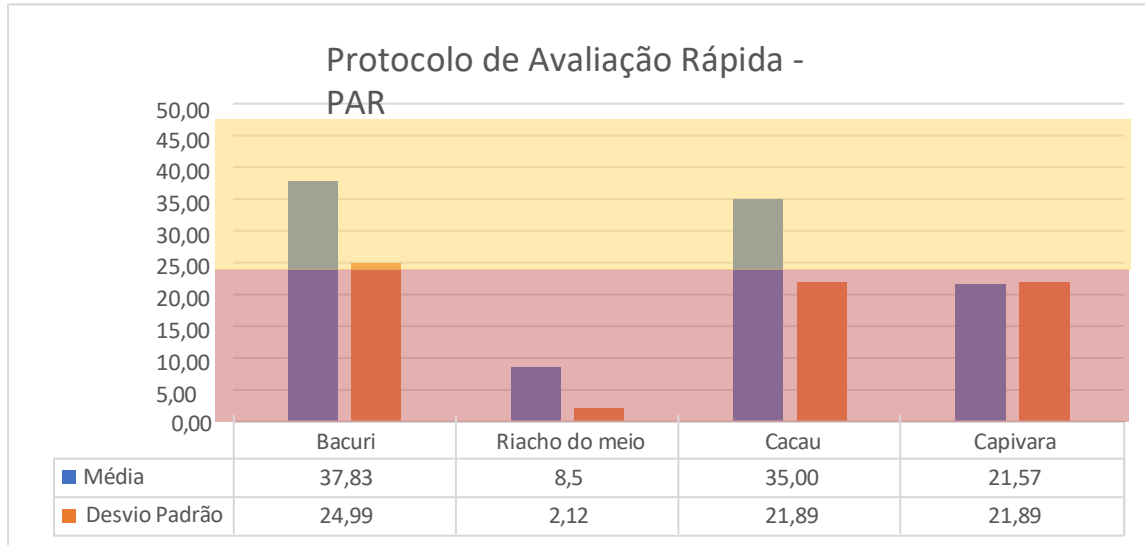
seja, um aumento de 29,2% da pastagem de caráter extensivo em trinta anos (Figura 2). Conforme o Censo Agropecuário de 2017, o número de cabeças de gado nos municípios analisados na sub-bacia do Riacho Cacao foi de 267.234, a saber: Buritirana (54.176 cabeças), Davinópolis (13.407 cabeças), Imperatriz (67.583 cabeças), João Lisboa (82.702 cabeças) e Senador La Rocque (49.366 cabeças).

Vale destacar que a pecuária causa o aumento do desmatamento e dos conflitos socioespaciais no município de Imperatriz e região. Nesse sentido, as áreas não vegetadas ou de solo exposto, nesta pesquisa, representaram menor percentual do uso da terra, com aumento, no período amostral, de 1,1%, 0,8% e 0,1% nas sub-bacia do Bacuri, Capivara e Cacao, nessa ordem (Tabela 1). Essas áreas das sub-bacias foram desmatadas para as práticas da pecuária e depois apresentaram-se como potenciais áreas de loteamento e de expansão das manchas urbanas. As sub-bacias que fazem limite com o município de Imperatriz se encontram em localidades com forte processo de urbanização e intenso nível de impermeabilização (Guimarães *et al.*, 2019).

As áreas urbanizadas nas sub-bacias foram mais expressivas ainda em 1990 na sub-bacia do Capivara, com 62,8% (18,2 km<sup>2</sup>) da área dessa sub-bacia, e em 2020 com 73,6% (21,3 km<sup>2</sup>), na figura 3. Esse mesmo cenário foi encontrado na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 comportava apenas 58,4% (10,8 km<sup>2</sup>) de área urbanizada, e em 2020 passou a comportar 83,1% (15,3 km<sup>2</sup>). Já a sub-bacia do Cacao presenciou o menor crescimento dessa unidade de paisagem: de 1,9% (17,8 km<sup>2</sup>) em 1990 para 3,5% (32,9 km<sup>2</sup>) em 2020. Para Schueler, Fraley-Mcneal e Capiella (2009), as bacias hidrográficas com urbanização acima de 10% são consideradas impactadas. Nessa lógica, apenas a sub-bacia do Cacao não seria considerada impactada.

A análise da condição ambiental das sub-bacias se deu com a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) ao longo das sub-bacias Bacuri, Cacao e Capivara (Figura 5). Essa análise empírica revelou aspectos importantes, em específico no gerenciamento dos recursos hídricos no município de Imperatriz. Com a aplicação do PAR foi possível avaliar e identificar fragilidades nesses locais, ressaltando aspectos naturais e influência antrópica por meio do uso e ocupação do solo.

**Figura 5-** Médias e desvio-padrão do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) aplicado nas sub-bacias dos Riachos Bacuri, Cacao e Capivara, no Maranhão.

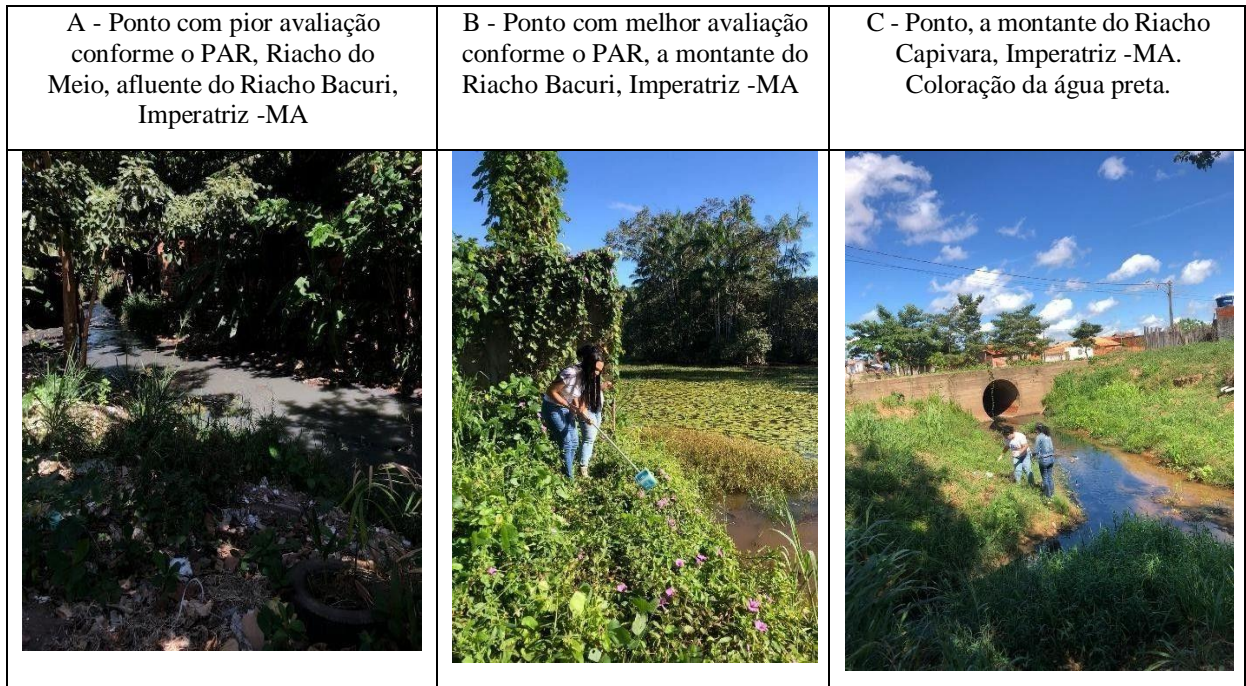


Fonte: Autora (2023)

O PAR foi aplicado nas estações seca e chuvosa, em três pontos de coletas ao longo de cada sub-bacia, a sub-bacia do riacho do meio, afluente do riacho Bacuri. Neste curso d'água a sub-bacia do Bacuri apresentou maior impacto, com a média de  $8,5 \pm 2,12$  PAR categorizando sua condição como impactada. A ocupação da área próximo ao trecho analisado se dá por pequena vegetação no leito, caracterizando menos de 50% da mata ciliar nativa, seguida por construções de casas nas margens, lava jatos e prédios residenciais ao longo do riacho. Contudo, há intenso lançamento de esgoto doméstico, lançamento de metais utilizados na lavagem de carros e disposição inadequada de resíduos sólidos nas margens, bem como outras prováveis alterações. A água apresentava odor específico de esgoto in natura, associado ao lançamento de dejetos, coloração opaca e erosões acentuadas durante todo o percurso, mostrando intensa ação antrópica no riacho do Meio (Figura 6A). No período seco, o odor se intensificou e a coloração se torna mais acizentada devido ao pouco fluxo de água corrente.

As sub-bacias Bacuri e Cacao obtiveram média de 37,83 e 35,00, respectivamente. Esse é o resultado de um ambiente alterado pelas condições antropogênicas ocorridas ao longo dessas sub-bacias hidrográficas. O ponto 1 do riacho Bacuri mostrou maior preservação da vegetação ripária e ausência de erosão próxima à margem do riacho. Assim como ausência de alterações antrópicas no local, provavelmente por estar localizado numa área pouco urbanizada, onde a mata ciliar ainda é bastante preservada, na Figura 6B.

**Figura 6** – Área de estudo nas sub-bacias do Riacho Bacuri e Capivara, em Imperatriz-MA.



Fonte: Autora (2023)

Nos demais pontos desse riacho, o PAR indicou um ambiente alterado, como, ausência de vegetação nativa, residências, prédios comerciais e lava jatos construídos nas margens do riacho, despejo de esgoto doméstico, presença de resíduos sólidos, forte odor e alta turbidez. Essas características são ocasionadas por alta concentração de partículas não dissolvidas na água, impedindo a penetração de luz e, conseqüentemente, prejudicando o crescimento de organismos vivos.

O aumento da turbidez reduz a taxa de fotossíntese e prejudica a busca por alimento para algumas espécies, levando a um desequilíbrio na cadeia alimentar. Os sedimentos podem transportar pesticidas, metais pesados e outros componentes tóxicos e sua deposição no fundo de rios e lagos prejudica as espécies bentônicas e a reprodução de peixes, além de poder causar assoreamento (Brito, 2008; Sá de Oliveira, 2012; Cunha, 2013; Santos *et al.*, 2014).

A sub-bacia do riacho Capivara apresentou área impactada, com média de 21,3, sua área de maior eutrofização se encontra localizada na região da foz, onde recebe todo os resíduos sólidos, intensificando a contaminação do riacho e, conseqüentemente, a contaminação do rio Tocantins. Para os pontos analisados, 1 e 2, houve baixo percentual de mata nativa. Além disso, esta área se encontra preservada apenas na foz, a sinuosidade do riacho foi modificada, demonstrando canalização do corpo hídrico, com a intensa urbanização a água possui coloração escura e forte odor, caracterizado por acentuado despejo de material fecal e urina diretamente

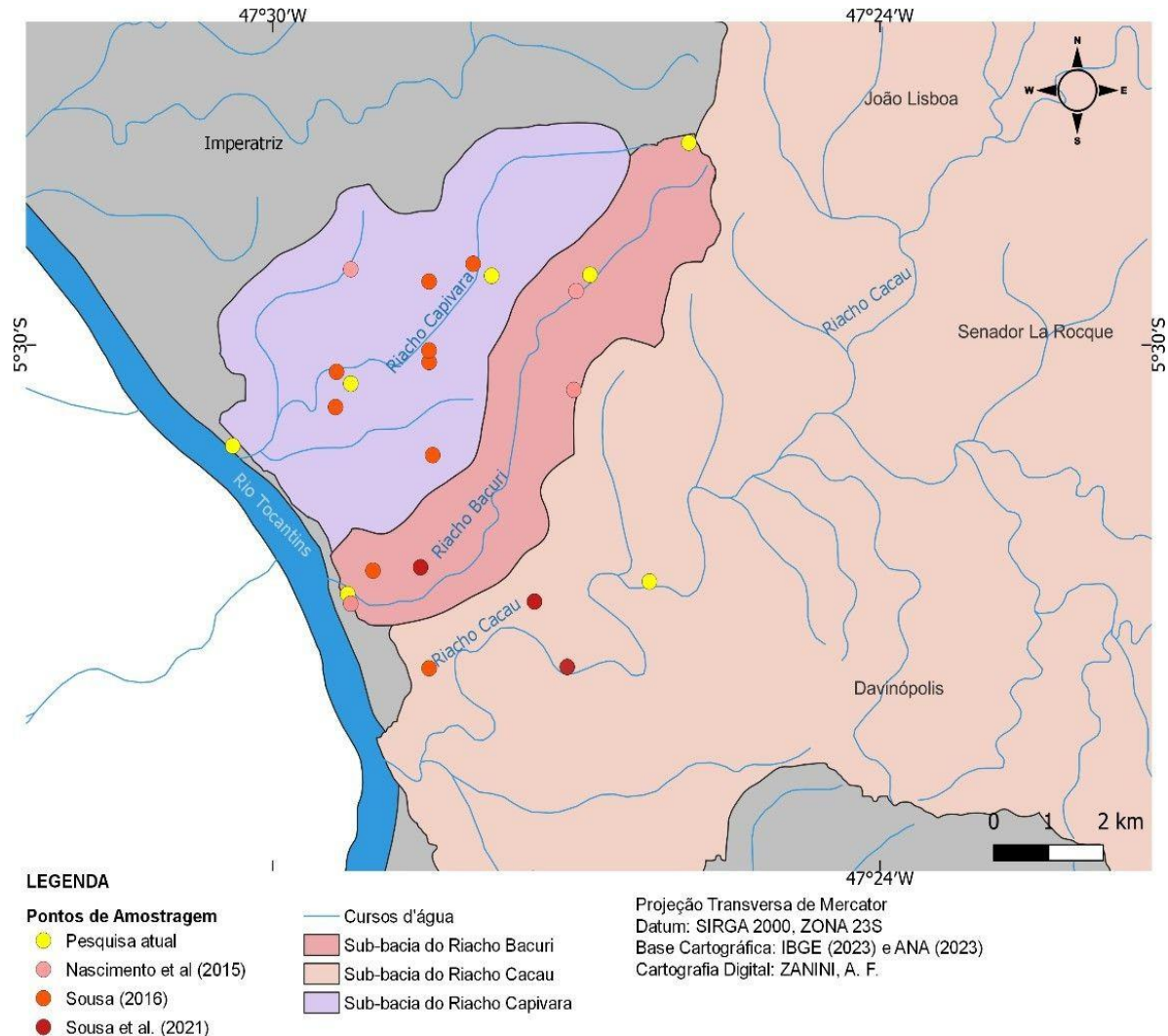
no riacho, atribuindo à falta de saneamento básico. O despejo de dejetos e acúmulo de resíduos sólidos está diretamente relacionado à alteração de pH na água, acúmulo de poluentes, substâncias que contribuem para a eutrofização dos ecossistemas. Sabe-se que os metais são naturalmente incorporados aos sistemas aquáticos por meio de processos geoquímicos. No entanto, nas últimas décadas, têm sido verificadas inúmeras alterações ambientais provenientes, sobretudo, dos processos de urbanização e industrialização (Moraes; Jordão, 2002)

Diante deste cenário, Rodrigues Neto *et al.* (2016) e Pasqualotto e Sena (2017), afirmaram que os impactos ambientais causados pela atividade antrópica, tais como, desmatamento, mudança do curso natural dos rios, descarte e disposição inadequada dos resíduos sólidos, ocupação desordenada do território, lançamento de esgoto sem tratamento e a extinção de ecossistemas aquáticos e terrestres são os principais causadores dos problemas existentes nas calhas dos rios que margeiam os centros urbanos. Essas intervenções antrópicas ocasionaram um desequilíbrio bioecológico dessas áreas, visto os impactos socioambientais por elas produzidos com suas atividades (Durães; Mello, 2016; Santos; Pereira; Emerich, 2018).

#### **4.2 O Passado e o presente da qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas**

Nesta pesquisa foi realizado levantamento de dados pretéritos de pesquisas realizadas nas sub-bacias dos riachos Bacuri, Cacao e Capivara, no município de Imperatriz-MA. Na figura 7, estão representados os pontos das pesquisas realizadas nos anos de 2015, 2016, 2021 e a pesquisa atual no ano de 2023. Dito isto, observa-se maior concentração de coleta de dados nas sub-bacias dos riachos Bacuri e Capivara, dado que o território destas se encontra no perímetro urbano de Imperatriz-MA. Um dos fatores a ser analisado, visto que houve poucas pesquisas na sub-bacia do riacho Cacao seria a sua grande extensão territorial, de 917 km<sup>2</sup>. Os pontos de amostragem estão concentrados no perímetro urbano da cidade de Imperatriz e próximo ao Rio Tocantins. Além disso, o transporte até o local e a área das coletas são mais acessíveis quando realizadas dentro da cidade, facilitando a realização da pesquisa.

**Figura 7-** Pontos de coletas nas sub-bacias Bacuri, Cacau e Capivara, entre os anos de 2015 à 2021, em Imperatriz- Maranhão.



Fonte: Autora (2023)

Na pesquisa de Nascimento (2015) foi realizado um levantamento da concentração de metais (Cu, Pb, Cr e Fe), nos riachos Bacuri e Capivara. Para o autor, as variações dos parâmetros físico-químico indicam alteração na qualidade da água, alterações que são ocasionadas por ações antrópicas, tais como: despejo de resíduos domésticos líquidos, deflúvio superficial urbano, assoreamento, disposição inadequada de resíduos sólidos e erosão do solo. Foram detectadas ainda concentrações de todos os metais estudados, indicando poluição nos riachos Bacuri e Capivara, colocando em risco a saúde da população.

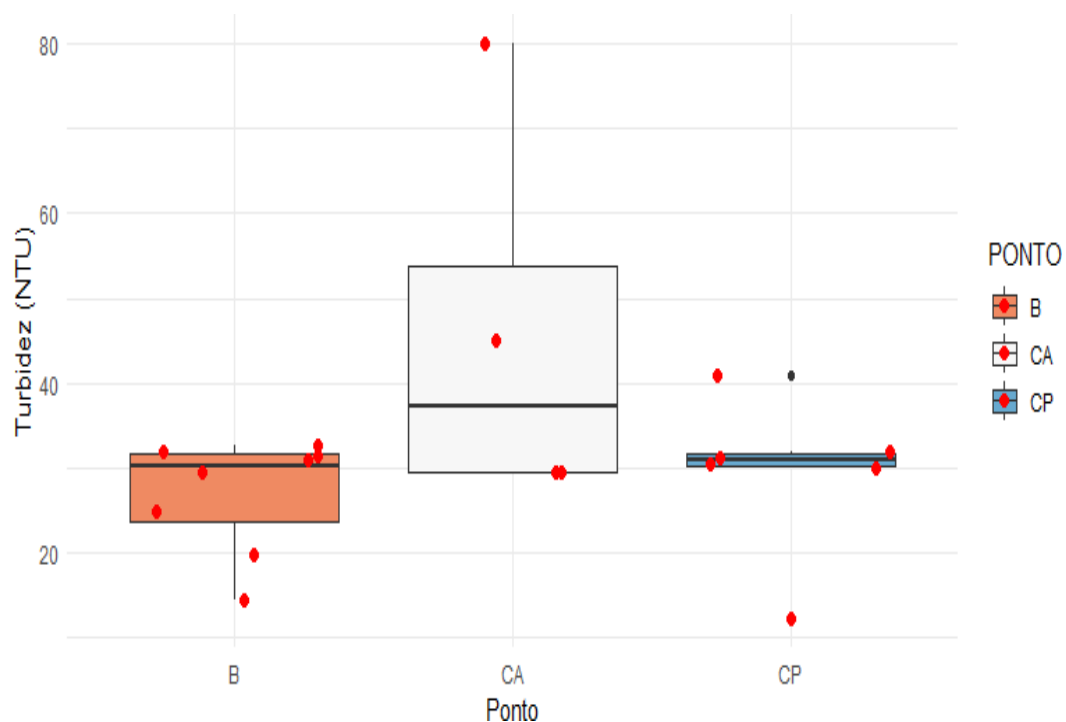
A pesquisa de Sousa (2016) realizou uma análise dos impactos do processo de urbanização na deterioração da qualidade da água e do ambiente na sub-bacia do riacho Capivara. O estudo apontou que houve ao longo dos anos um intenso processo de ocupação das margens do riacho, além de ações antrópicas que tem causado grande impacto. De acordo com

Sousa (2016), a principal causa desse impacto advém do excessivo lançamento de efluentes que são lançados nas águas do riacho, prejudicando a capacidade de autodepuração desse curso d'água.

Já a pesquisa de 2021 foi realizada no riacho Cacaú, onde foi avaliado a qualidade da água, trazendo variáveis físico-químico ao longo do percurso amostrado. Segundo Sousa (2021), a pesquisa indicou haver alterações na qualidade da água em decorrência de ações antrópicas, como: despejo de resíduos domésticos e sanitários líquidos, assoreamento e erosão do solo, causados pelo crescimento imobiliário ao longo dos anos, provocando processo de eutrofização em vários pontos do riacho Cacaú.

Os valores de turbidez da água observados nos três riachos estavam fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, acima do nível permitido de 100 UNT, figura 8. Segundo Heller e Padua (2006) *apud* Petry et al. (2014), a turbidez é definida como uma medida de transparência da água. Essa transparência é determinada pela quantidade de partículas em suspensão (silte, argila, sílica, colóides), que podem ser tanto matéria orgânica como inorgânica. Em relação a coloração da água, o Ministério da Saúde que prevê valores inferiores a 15 UH25. Segundo Viana *et al* (2009), valores superiores ao permitido significam que a água está com coloração escura, e, portanto, é imprópria para consumo humano.

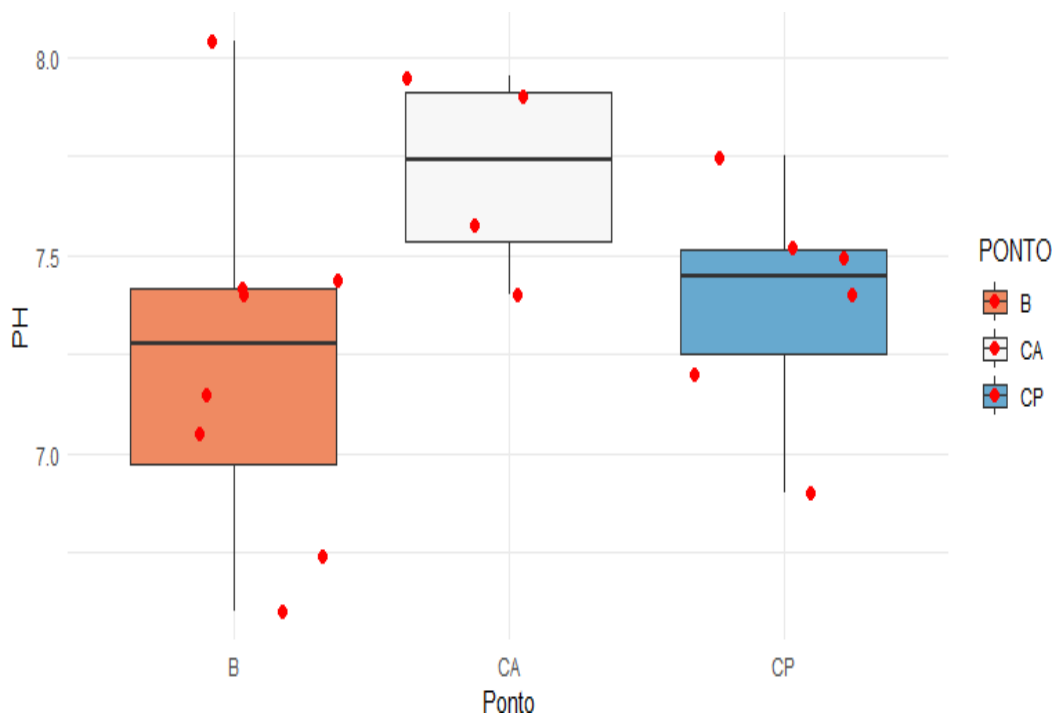
**Figura 8-** Concentração de turbidez nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz- Maranhão



Fonte: Autora (2025)

Os valores obtidos para o pH, que tiveram variância de 6,60 a 8,04 em nove pontos das três sub-bacias, encontram-se dentro da faixa considerada para a manutenção da vida aquática de acordo com o CONAMA 357/05, Figura 9. Essa lei estabelece valores variados entre 6 e 9, portanto, os valores dos riachos Bacuri, Cacaú e Capivara permanecem dentro dos valores da resolução do CONAMA. O pH é um parâmetro importante na avaliação de um corpo hídrico, pois este está diretamente relacionado a disponibilidade de nutrientes para as plantas, influenciando várias reações definindo mecanismos de sorção e alterando o equilíbrio químico (Jordão et al., 1999).

**Figura 9** - Concentração de pH nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz - Maranhão

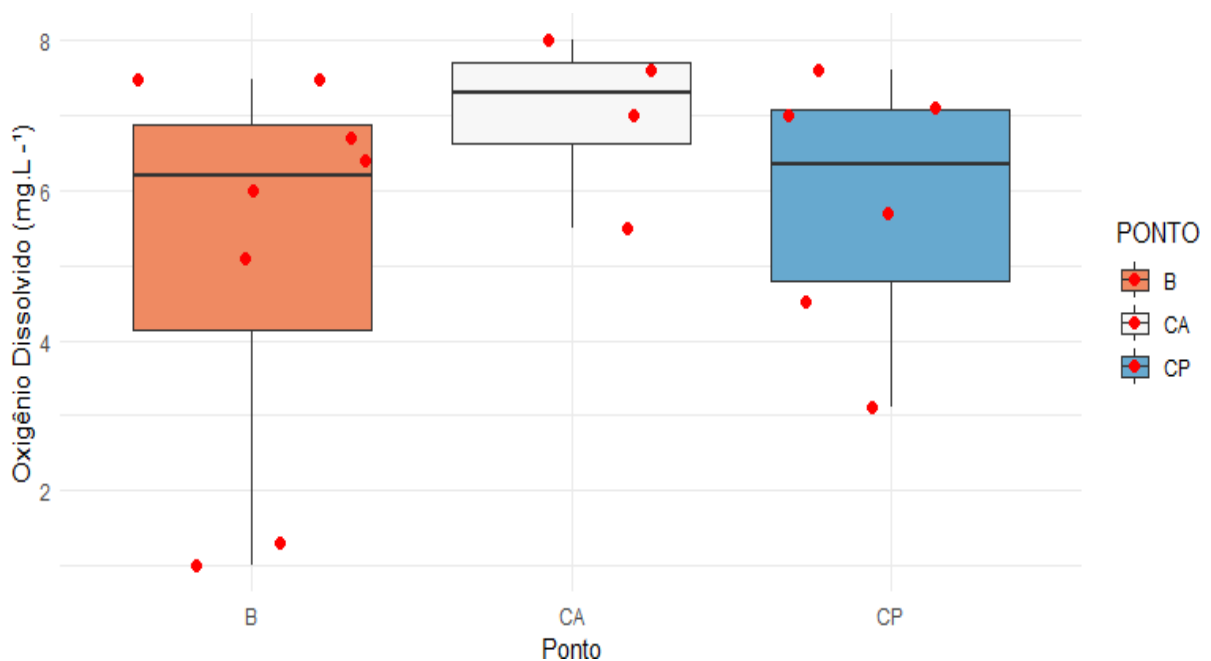


Fonte: Autora (2025)

Os valores para Oxigênio Dissolvido (OD), em alguns pontos amostrais da pesquisa está bem abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA (6,00 mg/L). Como pode ser destacado o riacho do meio (afluente do riacho Bacuri), em que tanto em período seco como período chuvoso obtive valores de 1,30 e 1,00 mg.L<sup>-1</sup>. Seguido do ponto 1 do riacho Capivara, com valores de 3,10 e 4,50 mg.L<sup>-1</sup> em período seco e chuvoso, na figura 10. Para Silva *et. al.* (2014) o Oxigênio Dissolvido pode ser considerado como o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Além de ser importante para os

organismos anaeróbicos (sobrevivem na ausência de oxigênio), durante a estabilização da matéria orgânica as bactérias utilizam oxigênio em seus processos respiratórios, podendo reduzir sua concentração nos esgotos tratados ou em cursos d'água. A ausência de animais, como peixes por exemplo, nos pontos citados pode se dar pela baixa concentração de OD na água. Segundo Silva *et al.* (2014), a maioria das espécies de peixes não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a 4,0 mg.L<sup>-1</sup>.

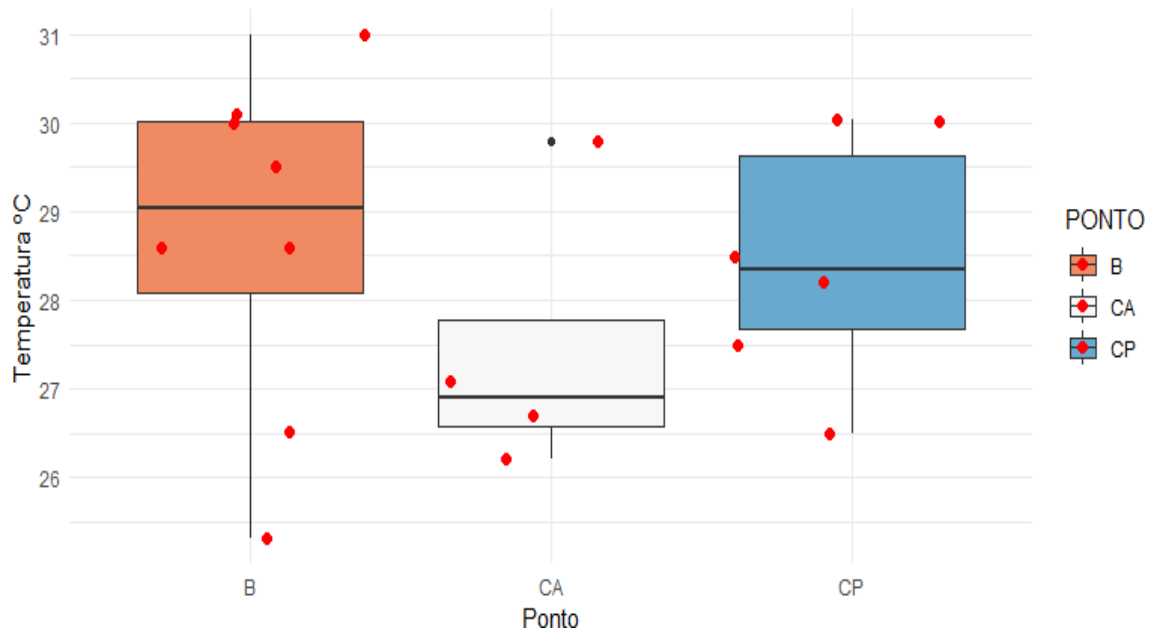
**Figura 10** - Concentração de oxigênio dissolvido (OD) em mg.L<sup>-1</sup>, nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz - Maranhão



Fonte: Autora (2025)

A temperatura média das amostras ficou em 28,3°C, considerada adequada de acordo com CONAMA (2005), que estabelece que a temperatura no ambiente aquático seja inferior a 40° C. A menor temperatura foi 25,3 °C, no ponto 1 do riacho Bacuri e a maior 30,1 °C no ponto 2, deste curso d'água (Figura 11). A temperatura afeta algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, concentração de gases dissolvidos) e tem efeito direto sobre a taxa ou cinética das reações químicas, nas estruturas proteicas e funções enzimáticas dos organismos (Araújo; Santos; Oliveira, 2013).

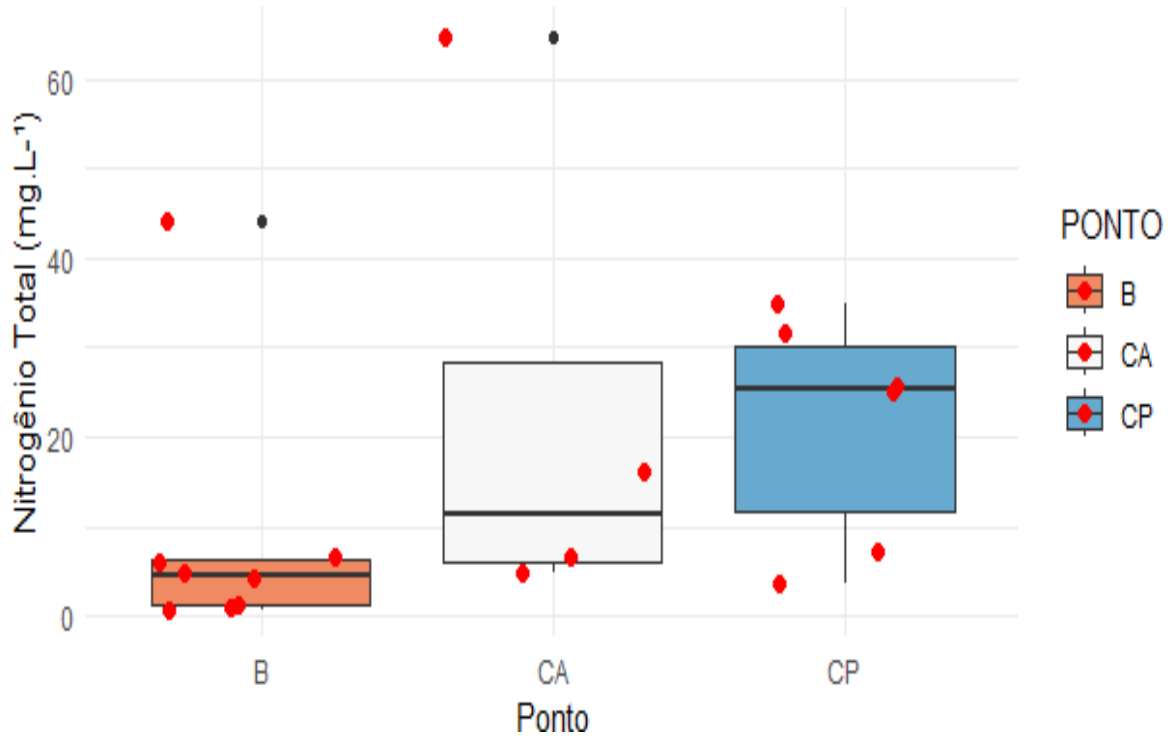
**Figura 11** – Temperatura da água (°C), nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacaú (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz - Maranhão



Fonte: Autora (2025)

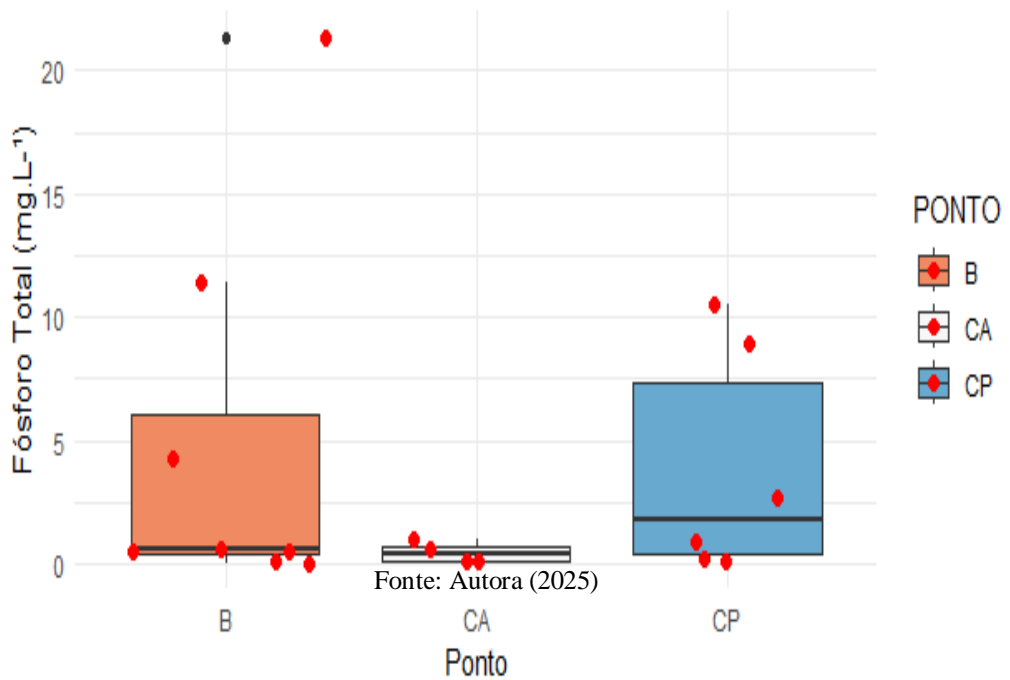
Nas análises desta pesquisa as concentrações de nitrogênio e fósforo (Figura 12 e 13), destacaram-se com valor elevado de fósforo nas fozes do riacho Bacuri e Capivara. Enquanto os valores elevados de nitrogênio foram em pontos onde havia casas construídas nas margens dos riachos, resultando em lançamento direto do esgoto doméstico. A presença de grande quantidade de nutrientes como nitrogênio e fósforo nos efluentes leva ao desenvolvimento em excesso de algas e por consequência tem-se a eutrofização de rios, riachos, lagos e lagoas (Braga *et al.*, 2005).

**Figura 12** - Concentração de nitrogênio total (NT) em mg.L<sup>-1</sup>, nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacao (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz - Maranhão



Fonte: Autora (2025)

**Figura 13** - Concentração de fósforo total (PT) em mg.L<sup>-1</sup>, nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacao (CA) e Capivara (CP), em Imperatriz - Maranhão



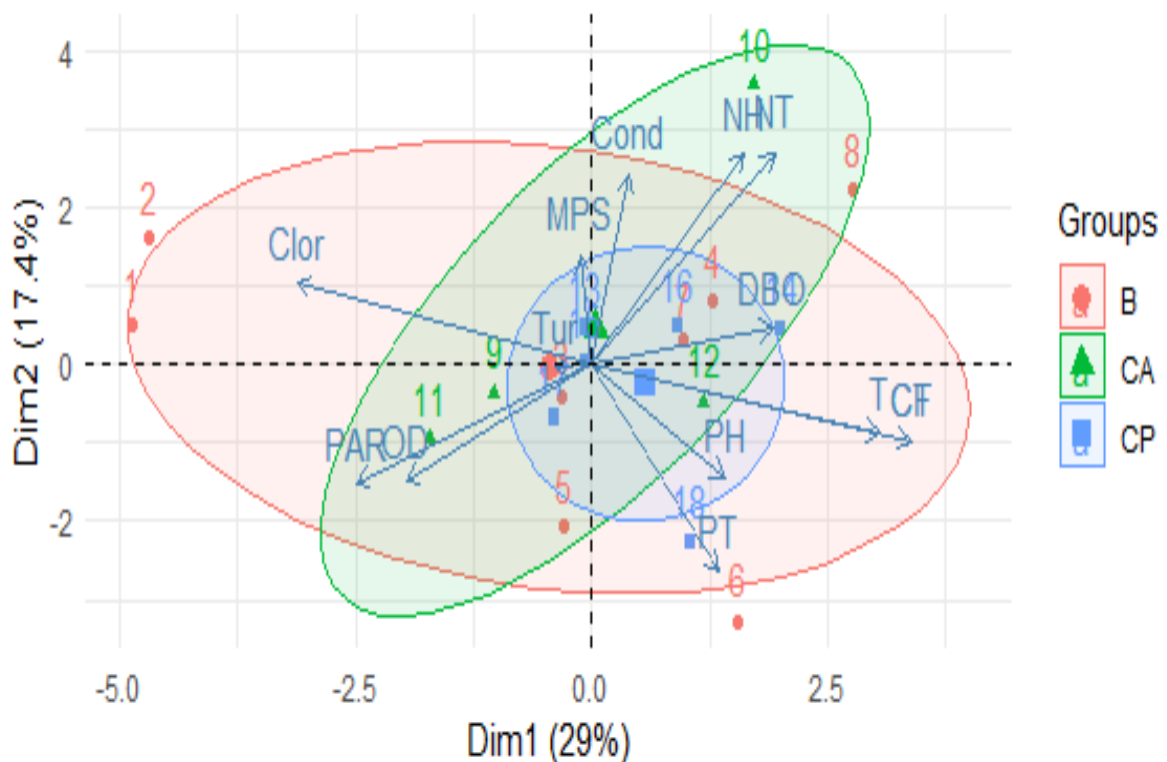
Fonte: Autora (2025)

Fonte: Autora (2025)

Para a análise estatística foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) apresentou  $D=0,09$  e p-valor de 0,4 para a normalidade dos dados. A apresentação dos resultados da aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), neste estudo, expõe uma análise conjunta das três sub-bacias, com o objetivo de visualizar o arranjo dos parâmetros que influenciam a variação da qualidade da água de maneira global. A variância explicada foi de 29% para os dados de qualidade da água no eixo 1 e 17,4% no eixo 2 (Figura 14).

De acordo com os resultados, o agrupamento das variáveis mais representativas e as sub-bacias, nas ACP demonstrou que a sub-bacia do Riacho Bacuri (vermelho) incluiu o maior número de variáveis indicando a péssima condição ambiental retratada também no uso e ocupação do solo como indicado anteriormente. Desse modo, pode-se concluir que, esses parâmetros são influenciados pelo processo de lançamento de resíduos líquidos domésticos, industriais e pluviais que arrastam resíduos sólidos para esses corpos hídricos. A associação desses parâmetros indica que as águas que cortam o perímetro urbano de Imperatriz estão contaminada pelos despejos de efluentes domésticos *in natura* devido à falta de saneamento básico no município.

**Figura 14** – Análise de Componentes principais (ACP) com as variáveis que descrevem a qualidade da água nas sub-bacias analisadas.



A sub-bacia do Capivara foi que englobou um menor número de variáveis, apenas pH, DBO, Turbidez. Já as melhores condições foram retratadas na sub-bacia do Cacau com o melhor PAR, sendo a área com menor ação antrópica, pois é onde se encontra menor concentração de poluentes. Vale destacar que os pontos da sub-bacia estão localizados a maior distância da área urbana e que ainda existem preservação da mata ciliar neste riacho a montante de Imperatriz. Apesar de serem localizado nessas áreas, ainda se verifica presença de nitrogênio total (NT), que pode estar associada a águas residuais domésticas ou agrícolas.

## CONCLUSÃO

A realização de pesquisas e coletas de água dos riachos teve como objetivo analisar os impactos que esses riachos sofrem todos os anos ocasionado pelos problemas cotidianos da cidade, como, excesso de resíduos sólidos nas encostas dos riachos, falta de saneamento básico, construções de moradia à margem dos riachos, córregos e canais que despejam dejetos diariamente, resultando na eutrofização das sub-bacias analisadas e conseqüentemente, ocasionando impacto no rio Tocantins. Neste estudo o riacho Bacuri demonstrou maior impacto tanto da parte de qualidade ambiental e como consequência da qualidade da água.

Em linhas gerais para todas as três sub-bacias e um afluente pesquisados, a análise do PAR mostra que, todas as quatro sub-bacias estão em condições precárias de sua qualidade ambiental. As áreas que tiveram maior impacto foram riacho do Meio e Capivara, que obtiveram uma média de 8,5 e 21,57, esses valores indicam que os dois riachos citados se encontram em situação crítica de degradação ambiental.

Diante desse panorama, torna-se urgente a formulação e execução de estratégias integradas de recuperação e conservação, tais como a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgoto, o controle efetivo dos efluentes lançados nos corpos hídricos, a expansão da coleta seletiva e destinação correta dos resíduos sólidos, o reflorestamento das margens com espécies nativas, e a criação de zonas de amortecimento ecológico. Além disso, é imprescindível promover a conscientização da população por meio de programas de educação ambiental nas escolas, ações comunitárias e campanhas de sensibilização nos bairros afetados, estimulando a corresponsabilidade social na defesa dos recursos hídricos.

Conclui-se que, para além do diagnóstico realizado nesta pesquisa, é necessário um compromisso coletivo que envolva poder público, comunidade acadêmica e sociedade civil na construção de soluções sustentáveis que assegurem a saúde dos ecossistemas aquáticos e o bem-estar das futuras gerações da população imperatrizense.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da Água em Ecossistemas Aquáticos Tropicais Sob Impactos Ambientais no Baixo Rio Jari-AP: Revisão Descritiva. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p.119-131, 2015.
- ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 257-284, 2004.
- ARAÚJO, M. C.de; SANTOS, F. M.da S.; OLIVEIRA, M. B. M. de. **Análise da Qualidade da Água do Riacho Cavouco – UFPE**. 2013. Disponível em: [http://www.unicap.br/encontrodasaguas/wp-content/uploads/2013/07/Marlyeta-Chagas-de-Araujo-ufpe-Trabalho\\_2073002545.pdf](http://www.unicap.br/encontrodasaguas/wp-content/uploads/2013/07/Marlyeta-Chagas-de-Araujo-ufpe-Trabalho_2073002545.pdf) . Acesso em: 28 ago. 2023.
- BARRELLA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BRAGA, B, HESPANHOL, B., CONEJO, J. G. L., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 274/00, de 29 de novembro de 2000**. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas e determina os limites e categorias de balneabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 29 de novembro de 2000.
- BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M.N.G.; BERGAMIN FILHO, H. Bacia do rio Parauari-Maues Açu. I. Aspectos químicos devidos às alterações hidrológicas da Bacia. **Acta amazônica**, p. 77 - 85, 1984.
- BUCCHERI FILHO, A. T.; TONETTI, E. L. Qualidade ambiental nas paisagens urbanas. **Revista Geografar**, v. 6, n. 1, p. 23-54, 2011.
- CARVALHO, S. L. de S.; OLIVEIRA, A. F. de. Cidades médias a serviço do capital: o exemplo de Imperatriz-MA. **Revista Estudos Geográficos**, v. 13, p. 4 -26, 2015. (Especial XII Seminário da Pós-Graduação em Geografia).
- CASILHA, G. A. **Planejamento Urbano e Meio Ambiente**. IESDE Brasil S. A. p. 176, 2009.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- DUPASA, R.; DELMASC, M.; DORIOZD, J. M.; GARNIERE, J.; MOATARF, F.; GASCUEL-ODOUXA, C. Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 396-407, 2015.
- ESTÊVEZ, L. F.; NUCCI, J. C. A questão ecológica urbana e a qualidade ambiental urbana. **Revista Geografar**, v. 10, n. 1, p. 26-49, 2015.
- FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, 2015.
- FIGUEIREDO, M. C.B. de *et al.* Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**. v.. 12, n. 4, 2007.
- FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Rev. Ambient. Água**, v. 10, n. 4 p. 782-792, 2015.

- FINOTTI, A. R. *et al.* Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. **EDUCS – Editora da Universidade de Caxias do Sul**. p. 270, 2009.
- FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: **Oficina de textos**, 2002, 97 p.
- FREITAS, E. de. Bacia do Tocantins-Araguaia. Brasil Escola. Disponível em < <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/Bacia-tocantinsaraguaia.htm>>. Acesso em 23 de maio de 2025.
- GAROFOLO, L.; RODRIGUEZ, D. A. Impacto observado das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia de bacias com ênfase em regiões tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, p. 1 -15, 2022.
- GUIMARÃES, B. R. M. L; ARAÚJO, D. S.; L. C; DOS SANTOS, B. R. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Riacho Capivara na Cidade de Imperatriz-Maranhão. **Revista FSA**, v. 16, n. 6, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. IBGE: Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=publicacoes>. Acesso em 16 de junho de 2025.
- INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS (IMESC). **Enciclopédia dos Municípios Maranhenses**: região de desenvolvimento do Tocantins Maranhense, v. 7, p. 517, São Luís, 2021.
- JORDÃO, C. P.; SILVA, A. C.; PEREIRA, J. L.; BRUNE, W. (1999) Contaminação por cromo de águas superficiais proveniente de curtumes em Minas Gerais. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 47-52, 1999.
- JUNG, M. LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 18–21, 2016.
- KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A. Relações entre diversidade íctia e fatores hidrodinâmicos de um riacho na bacia do rio Uruguai. **Biota Neotrop.**, v. 9, n. 1, p. 47 – 53, 2009.
- LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.
- LIMA, W.P.; ZAKIA M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.
- LIMA, W, P. Relações Hidrológicas em matas ciliares. (Ed.) **Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos**. 2003.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo, Hucitec, 1985.
- MAPBIOMAS. Plataforma – uso e cobertura do solo. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- MARTINS, F.B. et al. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, . 2005.
- MCGRANE, S. J. Impacts of urbanization on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 13, p. 2295–2311, 2016.

- MENEZES, J. P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. Correlation between land use and groundwater quality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19. p. 173- 186, 2014.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.** v. 3, n. 4, 2002.
- NASCIMENTO, B. L. M.; GOMES, D. R. C. de S.; COSTA, G. P.; ARAÚJO, S. S.; SANTOS, L. C. A. dos; OLIVEIRA, J. D. de. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb (II) e Fe (III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Eng Sanit Ambient.**, v.20, n.3, p. 369-378, 2015.
- PAULA, P. M. S. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta na avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG)**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte, 2008.
- PETRY, D.; OLIVEIRA, D. M. de; CORTEZ, I. C.; BARELLA, L. A.; SILVA, M. O.; KRONBAUER, M. A.; CAVALCANTE, S. M. A.; OLIVEIRA, E. C. Análise físico-química da água de nascentes do Vale do Taquari no Município de Cruzeiro do Sul – RS. **Anais... do VI Congresso de Ciência e Tecnologia do Vale do Taquari**, 22 a 27 de outubro de 2012, Lajeado, RS / Orgs.: Mouriac Halen Diemer, Emanuele Amanda Gauer, Fabiane Maria Datsch.  
- Lajeado, RS: Ed. da Univates, 2014
- ROCHA, F. N. da S. Influência da dinâmica de nutrientes para a eutrofização em corpos hídricos. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**. 2021.
- RODRIGUES, M. T.; POLLO, R.A.; RODRIGUES, B.T.; *et al.* Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao uso da terra para avaliação entre classificadores a partir do índice Kappa. **Revista Científica de Eng. Florestal**, v. 23, n. 1, p. 60 – 70, 2014.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. UFU, 2007. 248 p.
- SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).
- SANTOS, F.a F.S. dos *et al.* O desenvolvimento do Saneamento Básico no Brasil e as Consequências para a Saúde Pública. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. V. 4, n 1, 2018.
- SANTOS, R. L.; NUNES, F. G. Mapeamento da expansão urbana e dos vetores de crescimento no município de Imperatriz-MA. **Espaço & Geografia**, v. 23, n. 1, p. 209 – 234, 2020
- SCHUELER, T. R.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPPIELLA, K. Is impervious cover still important? Review of recent research. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 14, n. 4, p. 309- 315, 2009.
- SILVA, A. R. da; FONSECA, A. L. D' O.; RODRIGUES, C. J.; BELTRAME, Â. da V. Aplicação de indicadores ecológicos em bacia costeira sob elevada pressão da atividade de veraneio. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 537-548, 2016.
- SILVA, A. R; SANTOS, L. C. A. Análise antropogênica da bacia hidrográfica do rio Cacaú-MA. **Revista GeoUECE**, v. 4, nº 6, p. 140-150, 2015.
- SILVA, V. F.; FERREIRA, A. C.; SILVA, V. F.; BARACUHY, J. G. V. Análise de corpos hídricos constituintes do Riacho das Piabas em Campina Grande/PB. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, v.13, n.4, p.3460-3466, 2014.
- SIOLI, H. The Amazon and its main affluents. Hydrography, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. **Ed. The Amazon limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht, W. Junk, p.127 – 65, 1984.

SOUSA, M. J. A. de; *et al.* Índice da qualidade de água da sub-bacia do riacho cacau, portal da amazônia Imperatriz-MA. **Research, Society and Development**. v 10, n. 2 p. 1-18, 2021.

SOUSA, R. C. de. **Efeitos da expansão urbana na microbacia do riacho Capivara, Imperatriz-Maranhão**. Goiânia, 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/EFEITOS-DA-EXPANS%C3%83O-URBANA-NA-MICROBACIA-DO-RIACHO-Sousa/edd3d0ce9109b119235aa2075b37c07189bf12f7>.

Acesso em: 04 set. 2023.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 69, 2005.

TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem Urbana: Gerenciamento, simulação e controle. **ABRH e UFRGS**, 1998.

UNCCD. United Nation Convention to Combat Desertification. **Global Land Outlook**, 2022. Disponível em: <https://www.unccd.int/resources/global-land-outlook/glo2-summary-decision-makers>. Acesso em: 25 ago. 2023.

VIANA, E. P. T.; GALDINO, P. O.; FERREIRA, R. C.; DANTAS, T., R. ; ARAUJO, K., D . Poluição do Riacho Agon em Catolé do Rocha - PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, p. 77-77, 2009.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. **Bertrand Brasil**. p. 280, 2004.

YESUPH, A. Y.; DAGNEW, A. B. Land use/cover spatiotemporal dynamics, driving forces and implications at the Beshillo catchment of the Blue Nile Basin, North Eastern Highlands of Ethiopia. **Environmental Systems Research**, v. 8, n. 1, p. 1- 30, 2019.



<b>Coliformes fecalis</b>		4833, 2	4833, 2	4833, 2	4833, 2	4833, 2	4833, 2	4833, 2	4833, 2
<b>PAR</b>	60	7	7	40	15	50	10	5	40