

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGEOG

BIANCA DE SOUZA SOARES

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E COBERTURA DA
TERRA NA CACHOEIRA ALTA DO TARUMÃ, MANAUS/AM**

MANAUS - AM
2025

BIANCA DE SOUZA SOARES

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E COBERTURA DA
TERRA NA CACHOEIRA ALTA DO TARUMÃ, MANAUS/AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEOG, Instituto de Filosofia, ciências Humanas e Sociais – IFCHS da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de Concentração: Domínios da Natureza na Amazônia.

Orientadora: Profa. Dra. Adoréa Rebello da Cunha Albuquerque.
Coorientador: Prof. Dr. Flávio Wachholz

MANAUS - AM
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S676m Soares, Bianca de Souza
 Monitoramento da qualidade da água e do uso e cobertura da
 terra na Cachoeira Alta do Tarumã, Manaus/AM / Bianca de Souza
 Soares. - 2025.
 110 f. : il., color. ; 31 cm.

 Orientador(a): Adoréa Rebello da Cunha Albuquerque.
 Coorientador(a): Flávio Wachholz.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
 Programa de Pós-Graduação em Geografia, Manaus, 2025.

 1. Águas Urbanas. 2. Fragmentos Florestais. 3. Corredor
 Ecológico. 4. Monitoramento Ambiental. 5. Protocolo de Avaliação
 Rápida. I. Albuquerque, Adoréa Rebello da Cunha. II. Wachholz,
 Flávio. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-
 Graduação em Geografia. IV. Título

BIANCA DE SOUZA SOARES

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E COBERTURA DA
TERRA NA CACHOEIRA ALTA DO TARUMÃ, MANAUS/AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia do Departamento de Geografia da
Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do
título de Mestre em Geografia

Aprovada em 13 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adoréa Rebello da Cunha Albuquerque
Presidente (PPGEOG/ Universidade Federal do Amazonas – UFAM)

Profa. Dra. Mírcia Ribeiro Fortes
Membro Titular (PPGEOG/ Universidade Federal do Amazonas – UFAM)

Prof. Dr. Ercivan Gomes de Oliveira
Membro Titular (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas –
IFAM)

*Dedico aos meus pais Antônio Souza e
Lígia Maria, ao meu esposo José Soares
e a minha amada sobrinha Giulia Maria.*

AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação marca o fim de uma jornada intensa, desafiadora e transformadora, que só foi possível graças ao apoio e à colaboração de algumas pessoas e instituições, às quais gostaria de expressar meus agradecimentos. Sem o suporte, o incentivo e a dedicação de cada um, esta pesquisa não teria se concretizado.

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar saúde, força e sabedoria ao longo desta jornada acadêmica. Sua presença constante me guiou e fortaleceu nos momentos mais difíceis, dando-me coragem para enfrentar desafios. A fé e a confiança em seu amor e proteção, foram essenciais para a conclusão desta dissertação.

Ao meus pais, Antônio Souza e Lígia Maria de Souza, por todo o apoio e encorajamento ao longo desta jornada. Suas palavras de incentivo, seus abraços e sabedoria sempre foram minha motivação nos momentos de dúvida e dificuldade. Sempre acreditaram em mim e me inspiraram a seguir em frente, mesmo quando o caminho parecia difícil. Sou profundamente grata pelo amor, compreensão e suporte incondicional que me deram.

Ao meu esposo, José Gomes Soares, meu confidente, amigo e parceiro em todas as etapas desta jornada. Sua paciência, compreensão, incentivo e amor foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Agradeço por estar ao meu lado nos momentos de dificuldade, por me oferecer um ombro amigo nas horas de desânimo e por celebrar comigo cada lauda concluída. Além de tudo, agradeço por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava da minha capacidade.

À minha cunhada Luiza Caroline, ao meu irmão Bruno Silva e à minha sobrinha Giulia Maria, bem como a todos os demais familiares que compartilharam alegrias, me incentivaram com suas palavras de encorajamento e ânimo, que foram fundamentais para manter a minha determinação ao longo desta jornada.

À Professora Doutora Adoréa Rebello da Cunha Albuquerque, minha orientadora, por sua orientação e apoio inestimável ao longo deste trabalho. Suas orientações, paciência, empatia e dedicação foram fundamentais para a concretização desta dissertação. Suas sugestões e encorajamento constante não apenas enriqueceram minha pesquisa, mas também contribuíram significativamente para meu

crescimento acadêmico e profissional. Agradeço por ter acreditado em mim e por ter me guiado com tanta empatia e competência durante toda essa jornada.

Ao Professor Doutor Flávio Wachholz, meu coorientador, por sua dedicação e comprometimento excepcionais ao longo desta pesquisa. Sua disposição em participar das pesquisas e coletas em campo, muitas vezes sacrificando seus sábados e feriados, foi essencial para o sucesso deste trabalho. Sua generosidade em compartilhar seu tempo e conhecimento, assim como seu apoio constante, foram inestimáveis. Obrigada por suas contribuições, orientações e incansável ajuda, que tornaram possível a realização deste estudo.

À Professora Doutora Mírcia Ribeiro Fortes e ao Professor Doutor Ercivan Gomes de Oliveira, por suas contribuições à minha dissertação. Suas leituras atentas e sugestões valiosas no relatório de qualificação, foram fundamentais para aprimorar a escrita e fortalecer o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pelo tempo, dedicação e pelo compromisso com a educação.

Aos amigos e colegas de profissão, Ádria Rebeca, Camila Arruda, Dara Dayane, Deborah Gomes, Emilly, Estélio, Gabriela, Idehugo, Ilma Farias, João Matheus, Kemya França, Larissa Kristyne, Letícia Oliveira, Mayara, Mirian Ricardo, Roberta Ferreira, Samuel Gonçalves, Simeire Ramos e Willou, meu sincero agradecimento por toda a força e apoio ao longo desta jornada. Vocês foram fundamentais, pois tornaram cada desafio mais leve e cada conquista mais significativa.

Aos professores do departamento de Geografia e Programa de Pós-graduação em Geografia. O compromisso com o ensino, pesquisa e orientação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pela dedicação em compartilhar conhecimentos, orientar e inspirar nosso crescimento intelectual ao longo de cada componente curricular realizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de mestrado que custeou a pesquisa.

À Universidade do Estado do Amazonas e ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, por disponibilizarem seus equipamentos e infraestrutura essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Amazonas, meu reconhecimento pela contribuição acadêmica e pela infraestrutura que facilitaram a realização deste estudo. Essas instituições foram fundamentais para o progresso desta pesquisa.

“O Homem é parte da natureza e a sua guerra contra a natureza é, inevitavelmente, uma guerra contra si mesmo [...].” Carson (1962).

RESUMO

Um paradoxo entre a abundância e a poluição das águas urbanas se estabelece na cidade de Manaus. Neste contexto, a ampliação do complexo viário Rodoanel Metropolitano de Manaus, um trecho de 8,7 km que compreende a Av. do Turismo/Estrada do Tarumã, compromete a manutenção da qualidade da água nos igarapés¹ que drenam a área, como a Cachoeira Alta do Tarumã. Mediante tal fato, indagou-se: Como esta expansão viária ameaça a qualidade da água e o fragmento florestal da Cachoeira Alta do Tarumã. Considerou-se como hipótese que os impactos negativos decorrentes da ação do Estado nesta área podem ser irreparáveis, agravando o processo de degradação ambiental e ameaçando a fauna e flora do Corredor Ecológico Urbano, onde a cachoeira se insere. Objetivou-se, Analisar a qualidade da água e o uso e cobertura da terra na área da Cachoeira Alta do Tarumã, em Manaus/AM, com o intuito de compreender as interações entre esses dois aspectos e suas influências no ecossistema local. Caracterizar a vegetação e a qualidade da água na área circundante à Cachoeira Alta do Tarumã por meio do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) (2022-2023); Avaliar a qualidade da água na Cachoeira Alta do Tarumã, analisando variáveis como condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez (2022-2023); Conhecer as modificações no uso e cobertura da terra na área que abrange a duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã utilizando imagens Planet (2016-2023). Utilizou-se do método Hipotético-Dedutivo e uma abordagem metodológica quali-quantitativa. As técnicas e procedimentos incluíram revisão de literatura e legislação, estudo de campo e experimental – realizado por seis vezes, entre junho de 2022 a maio de 2022, (coletas e análises de amostras de água e aplicação do PAR) em três estações de amostragem (A, B e C), incluindo a Cachoeira Alta do Tarumã (estação C), e levantamento de banco de dados de imagens do satélite PlanetScope no período de 2016 e 2023, com elaboração de mapas de uso e cobertura da terra. Evidenciou-se nos mapas de uso e cobertura da terra do mês de agosto, a redução da vegetação primária, que em 2016, ocupava 44,65% da área estudada, e que em 2023 ocupa 39,45%, o aumento da área urbanizada, que em 2023 é de 30,46% e a redução da massa de água, que pode estar relacionada com o evento histórico de menor nível de água do Rio Negro em 2023. A análise temporal do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu revelou um avanço significativo da urbanização entre 2016 e 2023, resultando na redução da vegetação primária e da cobertura por água. A duplicação da Avenida do Turismo e as obras do Rodoanel Metropolitano de Manaus intensificaram impactos ambientais, como erosão, sedimentação e alterações na qualidade da água. As imagens aéreas capturadas na Cachoeira Alta do Tarumã e os dados obtidos com as amostras de águas das estações A, B e C, evidenciaram diferentes padrões de coloração dos corpos hídricos, associados à influência urbana, deposição de sedimentos e possível processo de eutrofização, com trechos impactos e alterados. Esses resultados destacam a necessidade de medidas de conservação e manejo sustentável para minimizar os impactos antrópicos na região.

Palavras-chave: Águas Urbanas. Fragmentos Florestais. Corredor Ecológico. Monitoramento Ambiental. Protocolo de Avaliação Rápida.

¹Palavra de origem indígena (tupi), definida como canais estreitos e navegado por pequenas embarcações (HOUAISS, 2009).

ABSTRACT

A paradox between the abundance and pollution of urban waters is established in the city of Manaus. In this context, the expansion of the Manaus Metropolitan Beltway complex, a stretch of 8.7 km that includes Av. of Tourism/Tarumã Road, compromises the maintenance of water quality in the streams that drain the area, such as the Alta do Tarumã Waterfall. Through this fact, it was asked: How this road expansion threatens the quality of the water and the forest fragment of the Cachoeira Alta do Tarumã. It was considered as a hypothesis that the negative impacts resulting from the action of the State in this area may be irreparable, aggravating the process of environmental degradation and threatening the fauna and flora of the Urban Ecological Corridor, where the waterfall is inserted. The objective of this study was to analyze the water quality and land use and land cover in the area of Cachoeira Alta do Tarumã, in Manaus/AM, in order to understand the interactions between these two aspects and their influences on the local ecosystem. Characterize the vegetation and water quality in the area surrounding the Alta do Tarumã Waterfall through the Rapid Assessment Protocol (PAR) (2022-2023); Evaluate the water quality in the Alta do Tarumã Waterfall, analyzing variables such as electrical conductivity, dissolved oxygen, pH, total dissolved solids, temperature, and turbidity (2022-2023); To know the changes in land use and land cover in the area that covers the duplication of Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã using Planet images (2016-2023). The Hypothetical-Deductive method and a qualitative-quantitative methodological approach were used. The techniques and procedures included literature and legislation review, field and experimental study – carried out six times, between June 2022 and May 2023, (collection and analysis of water samples and application of the PAR) at three sampling stations (A, B and C), including the Alta do Tarumã Waterfall (station C), and survey of the PlanetScope satellite image database in the period 2016 and 2023, with the elaboration of maps of land use and cover. The land use and land cover maps for the month of August showed the reduction of primary vegetation, which in 2016 occupied 44.65% of the studied area, and which in 2023 occupies 39.45%, the increase in the urbanized area, which in 2023 is 30.46% and the reduction of the water body, which may be related to the historical event of lower water level of the Rio Negro in 2023. The temporal analysis of land use and land cover in the Tarumã-Açu Hydrographic Basin revealed a significant advance in urbanization between 2016 and 2023, resulting in the reduction of primary vegetation and water cover. The duplication of Avenida do Turismo and the works of the Manaus Metropolitan Beltway intensified environmental impacts, such as erosion, sedimentation and changes in water quality. The aerial images captured at the Alta do Tarumã Waterfall and the data obtained with the water samples from stations A, B and C, showed different color patterns of the water bodies, associated with urban influence, sediment deposition and possible eutrophication process, with impacted and altered stretches. These results highlight the need for conservation and sustainable management measures to minimize anthropogenic impacts in the region.

Keywords: Urban Waters. Forest Fragments. Ecological Corridor. Environmental Monitoring. Rapid Assessment Protocol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das estações de amostragem do Igarapé Tarumã-Açu, Manaus/AM	23
Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos e técnicas da pesquisa.....	26
Figura 3 - Ficha de campo para anotações dos resultados obtidos	27
Figura 4 - Equipamento portátil de bolso pHep	29
Figura 5 - Garrafas utilizadas para condicionamento das amostras.....	29
Figura 6 - Sonda Multiparâmetro modelo Hanna HI98194	30
Figura 7 - Sonda Multiparâmetro modelo Hanna HI98196	31
Figura 8 - Soluções utilizadas para a calibragem de equipamentos	31
Figura 9 - Geossistema para Bertrand	39
Figura 10 – Estação de amostragem A – 25/06/2022	56
Figura 11 – Estação de amostragem B – 25/06/2022	57
Figura 12 – Estação de amostragem C – 25/06/2022	57
Figura 13 – Registro da última coleta na estação e amostragem A – 13/05/2023	60
Figura 14 - Registro da última coleta na estação e amostragem B – 13/05/2023	61
Figura 15 - Registro da última coleta na estação e amostragem C – 13/05/2023.....	61
Figura 16 – Mapa do uso e cobertura da terra na área de estudo	76
Figura 17 – Mapa de uso e cobertura da terra das estações amostrais em 2023.....	77
Figura 18 – Imagem oblíqua da obra do Rodoanel Metropolitano de Manaus	78
Figura 19 – Imagem oblíqua vegetação ao entorno da Cachoeira Alta do Tarumã ..	79
Figura 20 – Imagem oblíqua das perturbações ambientais e dos maquinários utilizados	79
Figura 21 – Deposição de material na área circundante ao corpo hídrico	80
Figura 22 – Modificações estruturais na cachoeira	81
Figura 23 – Comunidade indígena Nusoken	82
Figura 24 – Coloração dos corpos hídricos da região da Cachoeira Alta do Tarumã	84
Figura 25 – Remoção da cobertura vegetal no Rodoanel Metropolitano de Manaus	85
Figura 26 – Comunidades urbanas diversificadas.....	86
Figura 27 – Acervo do trabalho de conclusão do curso de Licenciatura em Geografia – estação C	100
Figura 28 – Acervo do trabalho de campo na estação de amostragem C.....	100

Figura 29 – Coleta de amostras na estação C	101
Figura 30 - Coleta de amostras na estação C- rápidos	101
Figura 31 – Estação de amostragem B, margens instáveis	102
Figura 32 - Análises em laboratório de Geografia	102
Figura 33 – Levantamento e imagens aéreas	103
Figura 34– Análise em campo	103
Figura 35 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada, próximo a estação C.....	104
Figura 36 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada, próximo a estação C.....	104
Figura 37 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada, área circundante a estação C	105
Figura 38 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada – área habitada circundante a estação C.....	105
Figura 39 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada – área desflorestada circundante a estação C	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Identificação das estações de coleta georreferenciadas	28
Quadro 2 - Intervalos de pontuação para cada situação ambiental	32
Quadro 3 - Classificação dos ambientes para Tricart.....	38
Quadro 4 - Modelo do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR: pontuação de 0 – 4	107
Quadro 5 - Modelo utilizado do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR: pontuação de 0 – 5	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise do Protocolo de Avaliação Rápida no dia 25 de junho de 2022..	58
Tabela 2 - Análise do Protocolo de Avaliação Rápida no dia 13 de maio de 2023 ...	62
Tabela 3 - Resultados obtidos na estação de Amostragem A.....	65
Tabela 4 - Resultados obtidos na Estação de Amostragem B	68
Tabela 5 - Dados dos parâmetros físico-químicos da água na estação C	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água na estação A ao longo do período monitorado	65
Gráfico 2 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água na Estação B ao longo do período monitorado	69
Gráfico 3 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água na Estação B ao longo do período monitorado	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APA – Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

ARP – Aeronave Remotamente Pilotada

BHTA – Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu

CBH - Comitê de Bacia Hidrográfica

CBHTA - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu

CE – Condutividade elétrica

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional de meio ambiente

GPS - Global Positioning System

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IPAAM- Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas

NTU - Turbidez

OD – Oxigênio Dissolvido

PAR – Protocolo de Avaliação Rápida

PERHs - Planos Estaduais de Recursos Hídricos

pH – Potencial hidrogeniônico

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos

RAPIDÃO – Rodoanel Metropolitano de Manaus

RPA - Aeronave Remotamente Pilotada

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

TA – Temperatura da água

TDS - Sólidos dissolvidos totais (TDS)

ZPAs - Zonas de Proteção Ambiental

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
Justificativa.....	19
OBJETIVOS	20
Objetivo Geral	20
Objetivos Específicos	21
LÓCUS DA PESQUISA.....	21
DESENHO METODOLÓGICO	25
Técnicas e Procedimentos	25
CAPÍTULO 1 – CONCEPÇÕES DA INTERAÇÃO ENTRE A SOCIEDADE E NATUREZA.....	34
1.1 EVOLUÇÃO DA GEOGRAFIA NO SÉCULO XX E INÍCIO DO SÉCULO XXI ...	34
1.2 PAISAGEM: CONCEITOS E TRANSFORMAÇÕES	35
1.3 USO E COBERTURA DA TERRA.....	40
1.4 CONCEITOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	41
1.5 BACIA HIDROGRÁFICA: GESTÃO E QUALIDADE AMBIENTAL	43
CAPÍTULO 2 – DIFERENTES USOS DAS ÁGUAS E A NECESSIDADE DE GESTÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TARUMÃ-AÇU.....	48
2.1 BREVE HISTÓRICO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE MANAUS.....	49
2.2 USOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TARUMÃ-AÇU.....	50
2.3 PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA GESTÃO DA BHTA	52
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DAS MARGENS DAS ESTAÇÕES	56
3.2 QUALIDADE DA ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO	64
3.2.1 Estação de Amostragem A.....	64
3.2.2 Estação de Amostragem B.....	68
3.2.3 Estação de Amostragem C.....	71
3.3 MODIFICAÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA.....	75
3.1.1 Imagens oblíquas e verticais da Cachoeira Alta do Tarumã.....	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICES	100

ANEXOS107

INTRODUÇÃO

A água é considerada um dos recursos mais relevantes para a sociedade. Até pouco tempo, era vista como abundante e renovável, sendo utilizada para diversos fins, desde o consumo doméstico até a geração de energia, além de constituir um elemento paisagístico e funcional apreciado. Atualmente, no entanto, sua disponibilidade e qualidade têm desafiado a sociedade, órgãos competentes e cientistas, originando discussões urgentes (Torres, 2008; Areb, 2022; Zózimo, 2022).

O território brasileiro, com sua vasta extensão e diversidade de espaços físicos, abriga cerca de 12% das reservas de água doce do mundo. Para gerenciar de forma eficiente esses recursos e atender à necessidade de um modelo de gestão que compreendesse aspectos qualitativos e quantitativos, foi implementada a Lei n.º 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (Brasil, 1997; Libânio, Chernicharo, Nascimento, 2005; Brasil, 2006a).

Dentro desse contexto, a região hidrográfica amazônica, que cobre 63,88% do território nacional e abrange aproximadamente 3,8 milhões de km², apresenta um paradoxo entre a abundância e escassez de água. Além disso, a má gestão dos recursos hídricos exige cuidados especiais e um planejamento rigoroso por parte dos governos e da população (Brasil, 2006c; Maia, 2010; Souza, 2021).

As cidades da Amazônia brasileira, como Manaus, são especialmente vulneráveis aos problemas socioambientais que modificam o sistema natural, impactam o estilo de vida de diferentes sujeitos sociais e afetam diretamente os corpos hídricos, sobretudo nas áreas mais urbanizadas. Manaus, capital do estado do Amazonas, tem passado por constantes modificações em seu espaço urbano, criando novas paisagens, lugares, territórios, valores e culturas, principalmente devido aos projetos de expansão territorial (Lachi, Souza, Albuquerque, 2020; Oliveira, 2023).

A ausência de um planejamento urbano sistêmico, aliada ao descontrole do crescimento da cidade, tem causado sérios problemas ambientais em Manaus, semelhante ao que ocorre em outras grandes cidades brasileiras. A expansão urbana, associada ao crescimento populacional e à desigualdade social desde a década de

1970, tem aumentado a incidência de favelas e comunidades urbanas², agravando ainda mais os problemas ambientais (Souza Filho et al., 2020; Varela et al., 2020; Malcher, Silva, Nogueira, 2021).

Nesse contexto, um paradoxo entre a abundância e a poluição das águas urbanas se estabelece em Manaus. Adiciona-se a esse cenário a ameaça de destruição aos fragmentos de reservas florestais e às Áreas de Preservação Permanente (APP). Intervenções como a construção do Rodoanel Metropolitano de Manaus (Rapidão) — especialmente o trecho de 8,7 km que compreende a Av. do Turismo/Estrada do Tarumã — comprometem a qualidade da água nos igarapés que drenam a área, como a Cachoeira Alta do Tarumã.

Diante deste fato, surge a seguinte questão: Como a ampliação do complexo viário Rodoanel Metropolitano de Manaus ameaça a qualidade da água e o fragmento florestal da Cachoeira Alta do Tarumã? A hipótese é que os impactos negativos resultantes da ação do Estado nesta área podem ser irreparáveis, intensificando o processo de degradação ambiental e ameaçando a fauna e flora do Corredor Ecológico Urbano, onde a Cachoeira Alta está inserida.

Desse modo, a presente dissertação investiga os impactos decorrentes da duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã sobre a qualidade da água e os fragmentos florestais da Cachoeira Alta do Tarumã, oferecendo subsídios para um planejamento urbano mais sustentável e para a formulação de políticas públicas eficazes na proteção dos recursos hídricos e ambientais da região.

O estudo está organizado da seguinte forma: justificativa, objetivos, lócus da pesquisa, desenho metodológico, técnicas e procedimentos adotados na pesquisa e, em seguida, três capítulos. O primeiro capítulo, explora a interação entre sociedade e natureza, com o foco na evolução da geografia no século XX e início do século XXI. São discutidos também, os conceitos de paisagem, uso e cobertura da terra, impactos ambientais como o desmatamento e a gestão de bacias hidrográficas para a conservação e uso sustentável dos recursos hídricos, destacando a importância da coordenação entre diversos atores sociais. O segundo capítulo aborda os diferentes usos das águas e discute a necessidade inerente da gestão das águas da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (BHTA). Além disso, apresenta um breve histórico do

²Territórios populares originados das diversas estratégias utilizadas pela população para atender de forma autônoma e coletiva, às suas necessidades de moradia e usos associados (comércio, serviços, lazer, cultura, entre outros) [...] (IBGE, 2024).

processo de urbanização de Manaus, detalha os diversos usos da bacia e destaca a participação social na gestão de suas águas. O terceiro capítulo, caracteriza a vegetação e a qualidade da água na área circundante à Cachoeira Alta do Tarumã, utilizando o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), integrando aspectos biológicos e físico-químicos para uma compreensão abrangente dos desafios de gestão sustentável dos recursos naturais. Em seguida, avalia a qualidade da água na Cachoeira Alta do Tarumã entre 2022 e 2023, considerando variáveis como condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez, destacando influências antrópicas e naturais. Finalmente, possibilita conhecer as modificações no uso e cobertura da terra na região da duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã, nos anos de 2016 e 2023, e seus impactos no ecossistema local e desenvolvimento urbano.

Justificativa

A Cachoeira Alta do Tarumã, integrante do Corredor Ecológico das Cachoeiras do Tarumã e parte da Bacia do Tarumã, passou por transformações significativas devido às intervenções humanas nas últimas décadas. Originalmente um lugar de recreação e turismo entre os anos 1970 e 1990, hoje enfrenta desafios crescentes relacionados ao uso do solo, paisagem e qualidade da água. Essas mudanças contrastam com um dos principais objetivos do corredor, que é “disciplinar o uso e ocupação do solo nas zonas de proteção do Corredor Ecológico Urbano das Cachoeiras do Tarumã, a fim de prevenir o assoreamento e a poluição dos cursos d’água afetados” (Manaus, 2009; Souza, 2021).

Projetos como o Rodoanel Metropolitano de Manaus (Rapidão), geram impactos ambientais significativos em uma grande área circundante, incluindo poluição do ar, ruído, alterações no solo, alterações na qualidade das águas, impactos na biodiversidade, fauna, flora, fragmentação de comunidades e impactos socioambientais diversos. A avaliação desses impactos considera aspectos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, climáticos, ecossistemas, desmatamento, infraestrutura existente, unidades de conservação, sítios arqueológicos e espécies ameaçadas (Gomes et al., 2019).

A relevância desta pesquisa é destacada pela recente realização e finalização da obra de duplicação da Avenida do Turismo/Estrado do Tarumã, e pela escassez de estudos publicados sobre a Cachoeira Alta do Tarumã, especialmente na área da ciência geográfica. Portanto, o estudo será de grande importância não apenas para futuros pesquisadores, mas também para órgãos públicos responsáveis pela gestão dos corpos hídricos em Manaus. O estudo apresenta dados fundamentais que podem auxiliar desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável desses recursos naturais, visando garantir a preservação ambiental e o uso racional dos recursos hídricos na região.

Além disso, o estudo tem o intuito de preencher lacunas na literatura geográfica sobre a região estudada, oferecendo uma base sólida para pesquisas futuras. A análise das mudanças na paisagem e na qualidade da água da Cachoeira Alta do Tarumã, é fundamental para entender as dinâmicas ambientais e sociais em áreas urbanizadas da Amazônia. Os resultados esperados podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental integradas, que levem em conta as características ecológicas e socioeconômicas da região.

Em resumo, este estudo justifica-se pela necessidade de equilibrar o desenvolvimento urbano com a sustentabilidade ambiental, garantindo que as futuras gerações possam usufruir dos recursos naturais de maneira equilibrada e responsável. O estudo fornece esclarecimentos e compressões, que auxiliam na criação de um modelo de gestão hídrica eficaz, que harmonize o progresso urbano com a conservação dos ecossistemas aquáticos e terrestres da Bacia do Tarumã.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar a qualidade da água e o uso e cobertura da terra na área da Cachoeira Alta do Tarumã, em Manaus/AM, com o intuito de compreender as interações entre esses dois aspectos e suas influências no ecossistema local.

Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a vegetação e a qualidade da água na área circundante à Cachoeira Alta do Tarumã por meio do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) (2022-2023).
- b) Avaliar a qualidade da água na Cachoeira Alta do Tarumã, analisando variáveis como condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez (2022-2023).
- c) Conhecer as modificações no uso e cobertura da terra na área que abrange a duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã utilizando imagens Planet (2016-2023).

LÓCUS DA PESQUISA

O lócus desta pesquisa é a Cachoeira Alta do Tarumã, situada na zona Oeste da cidade de Manaus, Amazonas, integrando o Corredor Ecológico Urbano das Cachoeiras do Tarumã e o setor inferior da Bacia Hidrográfica Tarumã-Açu (BHTA), que tem como rio principal o Rio Tarumã-Açu. Este, é um dos principais tributários da margem esquerda do Rio Negro, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, abrange 13 tributários: Igarapé Santo Antônio, Igarapé Cabeça Branca, Igarapé do São José, Igarapé do Leão, Igarapé do Mariano, Igarapé do Branquinho, Igarapé do Caniço, Igarapé do Argola, Igarapé do Tiú, Igarapé do Panemão, Igarapé da Bolívia, Igarapé do Gigante e o Tarumãzinho (Costa, Silva, Silva, 2013; Vasconcelos, Costa, Oliveira, 2015).

Destaca-se ainda que, a BHTA se estende por um perímetro de 229.122 km, com o canal principal alcançando 42.105 km de comprimento e o comprimento total de seus canais somando 1.065,387 km. Em termos de características geomorfológicas, se destaca por sua forma alongada, o que contribui para uma baixa tendência a enchentes, devido à sua maior área. A bacia também se caracteriza por uma baixa declividade, sendo pouco dissecada, o que resulta em uma resposta hidrológica lenta (Costa, Silva, Silva, 2013). Essa configuração física influencia diretamente a dinâmica das águas e o regime hidrológico da região.

A caracterização litológica da bacia é dominada pela Formação Alter do Chão, composta por rochas sedimentares siliciclásticas avermelhadas, que incluem argilitos,

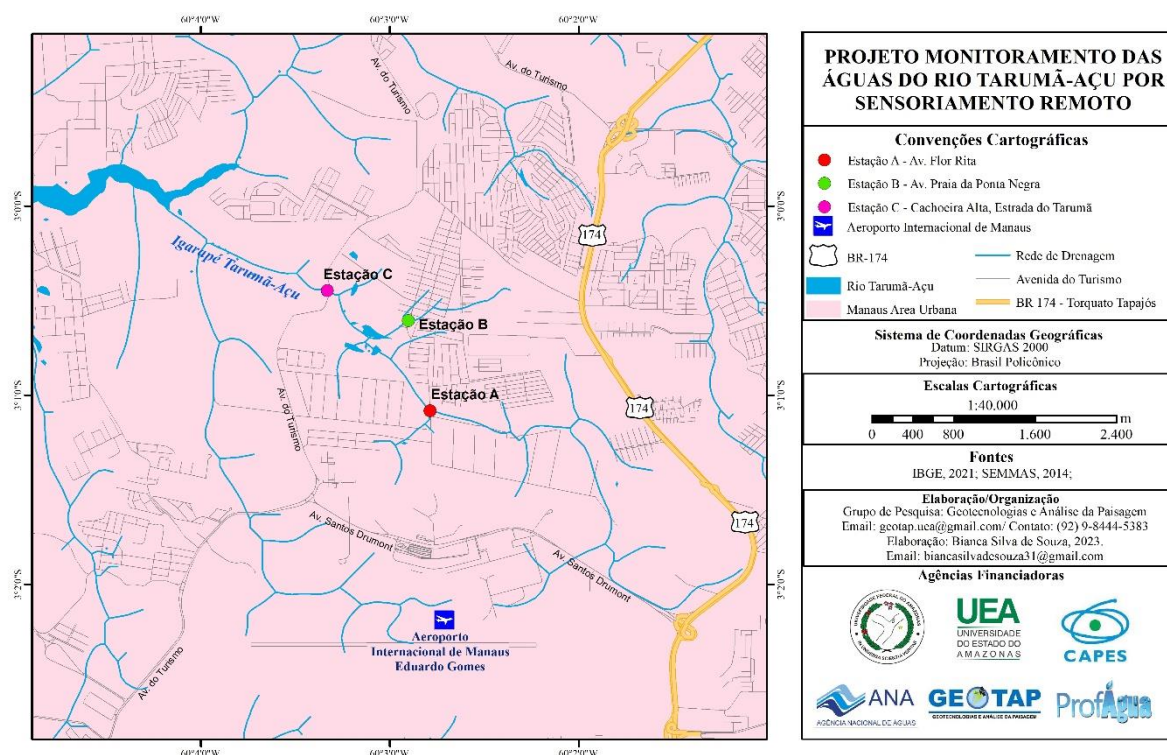
folhelhos, siltitos, arenitos e conglomerados. Quanto à vegetação, predomina a Floresta Ombrófila Densa, mas também são encontradas outras tipologias vegetais, como a Floresta Ombrófila Aberta, a Floresta Aluvial (Igapó), a Campinarana, além de áreas com uso antrópico, como zonas urbanas, agroindustriais e comunidades tradicionais (Vasconcelos, 2012; Costa et al., 2021).

O clima da bacia é caracterizado por uma estação seca suave e moderada, ocorrendo entre os meses de julho a setembro, enquanto o período úmido se estende de dezembro a maio. Os meses de junho e outubro são períodos de transição entre as estações seca e chuvosa. De maneira geral, o clima da bacia é classificado como superúmido, com uma forte presença de chuvas ao longo de grande parte do ano (Antonio, 2017; Siqueira, 2019).

Além da cachoeira, a área geográfica estudada abrange outras duas estações de amostragem, situadas no setor inferior da BHTA, fundamentais para a correlação de dados e avaliação dos cenários ambientais. As estações de amostragem (Figura 1) estavam localizadas nas seguintes coordenadas: 03°01'02.4"S 60°02'49.0"W (estação de amostragem A), acesso pela Av. Flor de Rita, 03°00'39.4"S 60°02'54.4"W (estação de amostragem B), acesso pela Av. Praia da Ponta Negra e 3°00'29.3"S 60°03'20.9"W (estação de amostragem C), na própria Cachoeira Alta do Tarumã, com acesso pela Avenida do Turismo, também conhecida como Estrada do Tarumã.

Figura 1 - Mapa de localização das estações de amostragem do Igarapé Tarumã-Açu, Manaus/AM

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DO IGARAPÉ TARUMÃ-AÇU



Fonte: IBGE (2021); SEMMAS (2014). Organização: Autora (2023).

A Cachoeira Alta do Tarumã, principal objeto deste estudo, integra o Corredor Ecológico Urbano das Cachoeiras do Tarumã, estabelecido pelo Decreto Municipal nº 22, de 04 de fevereiro de 2009, visando à proteção ambiental. O corredor abrange uma área total de 4.075.012,93 m² e está situado de forma integral na cidade de Manaus, Amazonas (Manaus, 2009).

Ao se definir o termo corredores ecológicos, observa-se que estes integram ecossistemas naturais ou seminaturais, reforçando a conexão contínua ou não de áreas protegidas (Brasil, 2006c). É relevante destacar que os corredores ecológicos foram instituídos pela Lei Federal n.º 9.985/2000 e reconhecidos como unidades de planejamento pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, conforme definido no art. 2º e parágrafo XIX.

Corredores ecológicos: porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais (Brasil, 2000).

Ao articular esse conceito no âmbito da legislação com a ciência geográfica, o corredor ecológico é considerado um espaço geográfico que abrange todos os atributos da natureza ali existentes (Brito, 2012). À vista disso, o corredor ecológico das Cachoeiras do Tarumã foi criado com o intuito de preservar as margens ao longo de trechos dos bairros Tarumã e Tarumã-Açu. Margens que ocupam uma faixa de aproximadamente 30 (trinta) metros de largura, também denominada de Área de Preservação Permanente (APP), medidas a partir da cota de cheia máxima, não levando em consideração os conjuntos habitacionais e as edificações existentes até 2009 (Manaus, 2009).

O Corredor Ecológico Urbano das Cachoeiras do Tarumã atende aos seguintes objetivos:

I - ligar as Unidades de Conservação que venham a ser criadas no seu perímetro ou entorno imediato, garantindo a preservação das matas ciliares ao longo do rio; II - garantir a recuperação e manutenção da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização das áreas degradadas, bem como a manutenção das populações que demandam para a sua sobrevivência de áreas maiores do que aquelas áreas de preservação permanente; III - disciplinar o uso e ocupação do solo nas zonas de proteção do Corredor Ecológico Urbano das Cachoeiras do Tarumã, a fim de prevenir o assoreamento e a poluição dos cursos d'água afetados; IV- assegurar o perfeito escoamento das águas fluviais, evitando inundações; V- garantir a cobertura vegetal existente entre remanescentes de vegetação primária em estágio médio e avançado de regeneração, propiciando habitat ou servindo de área de trânsito para a fauna residente nos remanescentes; VI - desenvolver na população local uma consciência ecológica e conservacionista (Manaus, 2009).

No âmbito municipal, o Decreto n°. 22, de 04 de fevereiro de 2009, é o responsável por defender os mecanismos e instrumentos de proteção do corredor ecológico das cachoeiras do Tarumã. No artigo 4º, §1º do referido decreto, observa-se que só será permitida a realização de obras de infraestrutura para implementação de áreas de lazer compatíveis com a preservação ambiental, mediante licença ambiental expedida pelo órgão municipal de Meio Ambiente.

Um dos principais fatores a serem destacados sobre a região de estudo é que, em décadas passadas, sofreu com problemas oriundos da extração mineral irregular na década de 1980. Segundo Cardoso (2008), a atividade mineral na região da Cachoeira Alta impactou de forma significativa os recursos hídricos da região. A extração descontrolada não só degradou o solo e a vegetação nativa, mas também

contribuiu para a sedimentação dos corpos d'água, prejudicando a qualidade e o fluxo das nascentes e cursos d'água que alimentam a cachoeira.

DESENHO METODOLÓGICO

O presente estudo adota o método hipotético-dedutivo, que, conforme descrito por Diniz (2015), consiste na identificação de problemas, lacunas ou contradições no conhecimento prévio ou em teorias existentes. A partir desses problemas, lacunas ou contradições, formulam-se conjecturas, soluções ou hipóteses, que são testadas através do que Sir Karl Raymund Popper denominava técnica de falseamento, utilizando experimentação ou análises estatísticas. Após a análise dos resultados, as conjecturas, soluções ou hipóteses são avaliadas e podem ser rejeitadas ou corroboradas.

Quanto aos objetivos, o estudo é classificado como exploratório por natureza. Segundo Gil (2010), esse tipo de pesquisa permite compreender a relevância do problema, sendo caracterizada pela observação direta do fenômeno, pela necessidade de conhecer o problema, elaborar hipóteses, aprimorar ideias e descobrir intuições. No que diz respeito à abordagem, adotam-se duas metodologias: qualitativa e quantitativa (quali-quantitativa).

A abordagem qualitativa considera a relação do mundo real com o sujeito, levando em consideração aspectos particulares de um fenômeno (Minayo, 2014). Já a abordagem quantitativa, está relacionada ao uso de técnicas estatísticas, ao mundo concreto e mensurável (Marconi, Lakatos, 2012).

Essa combinação de métodos qualitativos e quantitativos permite uma análise mais abrangente e detalhada do fenômeno estudado, proporcionando uma compreensão mais completa das dinâmicas envolvidas e dos resultados obtidos. Assim, o estudo pretende não apenas identificar e analisar os problemas existentes, mas também oferecer soluções práticas e eficazes para os desafios apresentados.

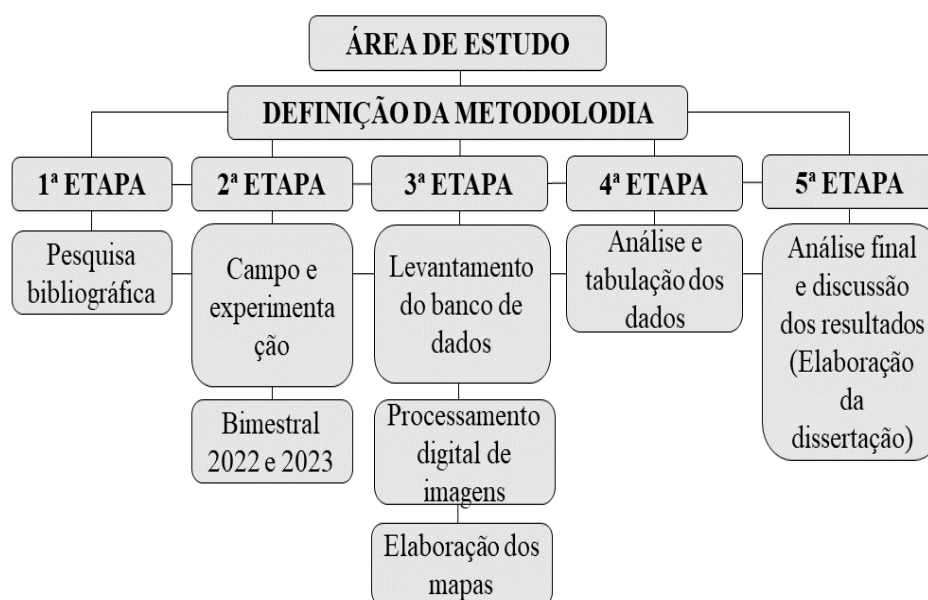
Técnicas e Procedimentos

O delineamento deste estudo está centrado na utilização de diferentes técnicas e instrumentos de pesquisa. Primeiramente, foram realizadas pesquisas e levantamento bibliográfico, que permitiu a fundamentação teórica necessária para o

entendimento do problema em questão. Em seguida, foram conduzidas pesquisas em campo, possibilitando a coleta de dados empíricos diretamente no recorte de estudo. Complementando estas etapas, foram realizadas pesquisas experimentais, com ensaios de campo para testar as hipóteses formuladas.

Além disso, o estudo fez uso do geoprocessamento, incluindo o levantamento de dados em bancos de dados geográficos, o processamento digital de imagens e a elaboração de mapas. Após a coleta e o processamento dos dados, foram realizadas análises, tabulações e interpretações dos resultados, culminando na análise final e na discussão dos achados deste estudo, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos e técnicas da pesquisa



Organização: Autora (2024).

A pesquisa bibliográfica caracterizou-se pelo uso de fontes secundárias, desenvolvida a partir de material previamente publicado, escrito e divulgado. Esse tipo de pesquisa permitiu ao pesquisador levantar informações sobre o fenômeno estudado (Gil, 2019). A técnica foi empregada de forma minuciosa, desde o início do estudo até a redação final da dissertação, utilizando buscadores acadêmicos como a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFAM), Google Scholar, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e o Sistema Integrado de Bibliotecas (SIB/UEA). O foco foram artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e livros relacionados ao tema do estudo.

A amostra da pesquisa bibliográfica utilizou a técnica de acessibilidade, baseada na disponibilidade de arcabouço teórico nas plataformas acadêmicas da internet e nas bibliotecas físicas da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Foram incluídas obras em português que abordam temas como a qualidade de águas urbanas, uso e cobertura da terra, Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, legislações sobre águas, sociedade e ambiente, entre outros relacionados ao tema.

A pesquisa de campo caracterizou-se pela coleta de dados primários com maior precisão, exigindo objetivos preestabelecidos que orientaram a coleta de dados (Marconi, Lakatos, 2012). A pesquisa de campo, foi realizada por 6 (seis) vezes no período de junho de 2022 a maio de 2023. Durante este período, foram feitas observações e anotações de campo, baseadas na ficha de campo (Figura 3).

Figura 3 - Ficha de campo para anotações dos resultados obtidos

Trabalho de campo: /Dia/ /mês/ de /ano/ – Igarapé Tarumã-Açu – Estações de amostragem A, B e C – Cachoeira Alta do Tarumã, Manaus/AM

Ponto	Hora	Condição do Tempo ¹	Vento ²	Dir ²	T Ar	LU X	RH (%)	Cor	Rug ³	SD -c m	NTU	pH	OD	CE	TDS	TA (°C)	Prof. Total	Observações ⁴
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		

1 - Condição do tempo: Claro, esparso, sol entre nuvens, parcialmente nublado, nublado, nublado com chuva, chuvoso.

2 - Direção do vento: NW – N – NE – E – SE – S – SW – W.

3 - Rugosidade: Lisa, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

4 - Observações: a) Uso da terra: Contempla a natureza do uso/estágio e ocupação do entorno.; b) Características visíveis na água como a presença de comunidades fitoplantônicas e outros indicadores na formação de compartimentos aquáticos. c) Limitação para a aquisição do dado.

Organização: Wachholz (2022).

Foram utilizadas técnicas de experimentação para monitorar a qualidade da água e a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), o que auxiliou na caracterização ambiental. Além, do levantamento de uma Aeronave Remotamente

Pilotada (RPA) nos dias 24 de outubro de 2022 e 30 de junho de 2024, para aquisição e análise de imagens oblíquas e verticais da Cachoeira Alta do Tarumã.

A definição das estações amostrais no campo foi baseada em critérios estratégicos relacionados à distribuição espacial urbana. As estações de amostragem A, B e C foram posicionadas no setor inferior da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (BHTA), levando em consideração o fácil acesso e o perfil longitudinal das coletas e verificações realizadas de montante (estações A e B) a jusante (estação C) no Igarapé Tarumã-Açu. Assim, a distribuição das estações amostrais foi realizada conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Identificação das estações de coleta georreferenciadas

Estações de amostragem	Coordenadas Geográficas	Local de acesso
Estação A	03°01'02.4"S 60°02'49.0"W	Av. Flor de Rita, 69041-220
Estação B	03°00'39.4"S 60°02'54.4"W	Av. Praia da Ponta Negra, 69041-410
Estação C	03°00'29.3"S 60°03'20.9"W	Av. do Turismo/ Estrada do Tarumã, 69041-650

Organização: Autora (2023).

Os procedimentos da pesquisa experimental consistiram em determinar o objeto de estudo e selecionar as variáveis que poderiam influenciá-lo, conforme descrito por Manzato e Santos (2012). Durante um recorte temporal de junho de 2022 a maio de 2023, foram realizadas coletas bimestrais para análise dos parâmetros de condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez.

As coletas e análises foram feitas em triplicatas, seguindo os protocolos estabelecidos pela Resolução n°. 724, de 03 de outubro de 2011, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2011) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2011), que define o Guia Nacional de coleta e preservação de amostras de água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.

Utilizando uma corda de 3 metros, um balde inoxidável foi mergulhado entre 15 a 30 cm da superfície da água nas estações de amostragem A, B e C, onde foram feitas as coletas. As análises in loco foram realizadas utilizando o equipamento portátil pHep, modelo Hanna HI98107 (Figura 4), para medir o pH e a temperatura da água.

Figura 4 - Equipamento portátil de bolso pHep



Organização: Autora (2023).

Com o auxílio de garrafas de polietileno (Figura 5), foram coletadas e identificadas três amostras de cada estação amostral (A, B e C). Após a coleta, as amostras foram cuidadosamente condicionadas em uma caixa de isopor, mantida à temperatura recomendada de 14°C conforme estabelecido pela ANA (2011), e transportadas até o Laboratório de Geografia da Escola Normal Superior – ENS, unidade da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, onde foram analisadas juntamente com as demais variáveis estudadas.

Figura 5 - Garrafas utilizadas para condicionamento das amostras



Organização: Autora (2023).

As sondas multiparâmetros modelo Hanna HI98194 e HI98196 (Figura 6 e Figura 7) foram utilizadas conforme a metodologia proposta por Ramos, Wachholz e Silva Neto (2020) para medir os seguintes parâmetros: pH em escala adimensional (resolução 0,01 e precisão $\pm 0,01$), TDS em mg/L (resolução 1 ppm e precisão de $\pm 1\%$ de leitura), CE em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (resolução 0,1 e precisão de $\pm 1\%$ de leitura) e OD em mg/L (resolução 0,01 e precisão de $\pm 1,5\%$ de leitura). Para analisar a turbidez, foi utilizado o turbidímetro modelo Instrutherm TD-300. Os equipamentos foram previamente calibrados 12 horas antes das coletas de campo, utilizando soluções padrões: pH 4, pH 7 e pH 10 para pH, 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica e solução padrão zero para oxigênio dissolvido (Figura 8).

Figura 6 - Sonda Multiparâmetro modelo Hanna HI98194



Organização: Autora (2023).

Figura 7 - Sonda Multiparâmetro modelo Hanna HI98196



Organização: Autora (2023).

Figura 8 - Soluções utilizadas para a calibração de equipamentos



Organização: Autora (2023).

A aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) ocorreu durante a pesquisa em campo, envolvendo uma análise qualitativa das estações de amostragem com base nas diretrizes estabelecidas por Callisto et al. (2002). Este protocolo atribuiu pontuações variando de 0 a 4 para parâmetros de 1 a 10, e de 0 a 5 para parâmetros de 11 a 22, permitindo uma avaliação integrada dos ecossistemas nos pontos de

pesquisa e identificando possíveis impactos negativos. Os trechos com condições naturais receberam 4 pontos, enquanto aqueles com alterações leves ou severas foram pontuados com 2 e 0 pontos, respectivamente (Quadro 3 em anexo). No Quadro 4 em anexo, foram atribuídos 5 pontos para trechos naturais, e 3, 2, e 0 pontos para situações levemente ou severamente alteradas.

Os Protocolos de Avaliação Rápida são ferramentas cruciais para a análise integrada dos ecossistemas lóticos estudados, capturando características essenciais do habitat e avaliando a qualidade ambiental (Oliveira; Nunes, 2015). A metodologia empregada permitiu uma inspeção visual da paisagem e a quantificação do nível de preservação e das principais características ecológicas dos trechos delimitados para a coleta, conforme os parâmetros definidos por Callisto et al. (2002) (Quadro 2).

Quadro 2 - Intervalos de pontuação para cada situação ambiental

Pontuação	Situação ambiental
0 – 40	Trecho impactado
41 – 60	Trecho alterado
> 61	Trecho natural

Adaptado de: Callisto et al. (2002).

A aquisição de imagens no banco de dados e o geoprocessamento de imagens foram direcionados ao uso de técnicas para coleta e tratamento de informações espaciais do objeto de estudo. Para isso, foi selecionada a ferramenta de imagens do satélite Planet, que oferece imagens gratuitas com boas resoluções espaciais, permitindo o mapeamento do uso e cobertura da terra na área de estudo e a análise das intervenções de mobilidade urbana associadas às obras de duplicação e modernização da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã. Os anos escolhidos para essa análise foram 2016, antes das intervenções urbanísticas do projeto, e 2023, ano de conclusão das obras no trecho estudado. As imagens foram processadas utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto QGIS 24.2.

Os dados obtidos em campo foram tabulados utilizando a ferramenta Excel 2021. Após a tabulação, foram realizados cálculos de média aritmética das amostras obtidas em triplicatas e desvio padrão (média $\pm$ desvio padrão), conforme a metodologia empregada em estudos ambientais semelhantes, desenvolvidos por Von Sperling (2001), Bahia, Fenzl, Morales (2008) e Rocha et al. (2012). Esta abordagem

aplica médias aritméticas e desvios padrões para a análise da qualidade da água, proporcionando uma avaliação estatística robusta dos parâmetros hídricos.

Fórmula da média:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Onde:

$\bar{x}$ é a média aritmética.

n é o número total de valores.

x_i são os valores individuais.

Fórmula do desvio padrão (DP):

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Onde:

$\bar{x}$ é a média dos valores

n é o número de valores.

x_i são os valores individuais.

Na etapa final da pesquisa, foi realizada a análise e discussão dos resultados obtidos, integrando de maneira rigorosa os dados obtidos em campo e as informações coletadas. Esta fase permitiu uma interpretação detalhada dos resultados, contextualizando-os com as legislações ambientais, literatura científica e geográfica existente.

CAPÍTULO 1 – CONCEPÇÕES DA INTERAÇÃO ENTRE A SOCIEDADE E NATUREZA

Este capítulo objetiva apresentar as principais concepções da interação entre a sociedade e a natureza, com base na evolução da geografia no século XX e início do século XXI, na análise da paisagem, no uso e cobertura da terra, nos impactos ambientais e na gestão de bacias hidrográficas.

A interação entre sociedade e natureza é um campo de estudo abrangente, que examina como as atividades humanas influenciam e são influenciadas pelo ambiente natural. Dentro deste contexto, a paisagem emerge como um conceito central, encapsulando tanto os aspectos físicos quanto as percepções culturais do ambiente. As transformações da paisagem são inevitáveis devido à dinâmica das atividades humanas, que alteram a estrutura e a função dos ecossistemas. O uso e a cobertura da terra são duas categorias fundamentais para entender essas modificações. Enquanto o uso da terra se refere às atividades humanas, como agricultura e urbanização, a cobertura da terra descreve as características biofísicas, como florestas e corpos d'água.

O conceito de impactos ambientais encontra-se intrinsecamente ligado às modificações do uso e cobertura da terra. Desse modo, impactos ambientais referem-se às alterações provocadas por atividades humanas que afetam positivamente ou negativamente o meio ambiente. Essas modificações podem resultar em poluição, perda de biodiversidade e degradação dos recursos naturais. Portanto, a gestão eficaz e eficiente dos recursos naturais, incluindo a qualidade ambiental das bacias hidrográficas, é essencial para mitigar esses impactos. As bacias hidrográficas, por sua vez, representam unidades fundamentais para a gestão ambiental, pois englobam todos os processos hidrológicos e ecológicos que ocorrem dentro de seus limites.

1.1 EVOLUÇÃO DA GEOGRAFIA NO SÉCULO XX E INÍCIO DO SÉCULO XXI

Durante o século XX, a geografia experimentou um desenvolvimento significativo, abrangendo tanto as dimensões físico-naturais quanto as socioeconômicas. A aplicação da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) na ciência geográfica destacou-se pela análise das interações entre sociedade e natureza, enfatizando a influência recíproca entre esses sistemas (Mendonça, 2002). Esta

abordagem possibilitou uma análise sistemática de variáveis como paisagem e geossistemas, fundamentais para compreender as dinâmicas ambientais específicas de diferentes recortes espaciais (Nascimento e Sampaio, 2004).

No final do século XX, a geografia física concentrou-se na questão ambiental, reconhecendo sua complexidade e amplitude, e integrando o ser humano como elemento central na análise desses processos (Suertegaray, 1991). Isso revelou a interdependência entre sociedade e paisagem natural, evidenciando como as atividades humanas moldam e são moldadas pelo ambiente.

O início do século XXI testemunhou um rápido processo de urbanização que impulsionou transformações intensas no ambiente natural, exacerbando as problemáticas ambientais nas áreas urbanas. A complexidade das redes urbanas ampliou os desafios relacionados ao ambiente urbano, aumentando a pressão sobre os recursos naturais e agravando a situação ambiental (Oliveira, Costa, 2007).

Na região hidrográfica amazônica, que abrange uma vasta extensão do território brasileiro, as mudanças ambientais refletem contrastes marcantes entre a abundância e a escassez de água. A má gestão dos recursos hídricos e os impactos ambientais adversos têm exigido medidas urgentes de organização e planejamento por parte dos governos e da sociedade (Brasil, 2006).

A compreensão contínua das interações entre sociedade e natureza é crucial diante das crescentes interferências humanas nos espaços urbanos e nas paisagens naturais. Essas interferências estão intimamente ligadas às condições precárias de vida urbana e aos graves problemas ambientais e socioambientais, afetando tanto a saúde física quanto a qualidade de vida das populações urbanas (Nogueira, Sanson, Pessoa, 2007; Dias, Perez Filho, 2017).

1.2 PAISAGEM: CONCEITOS E TRANSFORMAÇÕES

A paisagem é um conceito central na geografia física e na compreensão da interação entre sociedade e natureza. Este subtema explora as diversas concepções de paisagem ao longo do tempo, destacando as contribuições de autores como Carl O. Sauer, George Bertrand e Jean Tricart. Serão discutidas as transformações na percepção da paisagem, a partir da aplicação da TGS e das abordagens ecodinâmicas e termodinâmicas, bem como a importância da vegetação como elemento integrador.

Segundo Guerra (2006), as orientações teórico-metodológicas das escolas da ciência geográfica – germânica, francesa, russa e americana – desenvolveram e aplicaram a conceituação de paisagem de forma distinta. Cada uma dessas escolas, baseando-se em vertentes epistemológicas específicas, contribuiu de maneira única para o desenvolvimento da geografia ao longo do tempo.

No século XIX, o estudo da paisagem adotou uma abordagem descritiva e morfológica, que considerava a natureza em termos de sua fisionomia e funcionalidade. Durante este período, destacam-se os trabalhos precursores de Alexander Von Humboldt e Richthofen, que influenciaram significativamente os geógrafos alemães. Eles acreditavam que o conceito de paisagem era essencialmente fisionômico e deveria ser analisado principalmente por meio da observação (Mendonça, 2001; Maciel, Lima, 2011).

Sauer (1998) argumenta que as sociedades humanas historicamente interagem com o ambiente natural principalmente através da agricultura e do uso da terra. Essa interação não apenas organiza a economia, mas também reflete visões de mundo e relações culturais com o ambiente natural, demonstrando a complexa interdependência entre sociedade e paisagem natural.

Os geossistemas, conforme proposto por Harvey (1992), são locais onde ocorrem interações dinâmicas entre processos sociais e ambientais, revelando como sociedade e natureza se influenciam mutuamente ao longo do tempo. Essa abordagem proporciona uma compreensão profunda das inter-relações complexas que moldam as paisagens e os sistemas socioambientais ao redor do mundo.

Christofletti (1999) utilizou conceitos como geossistemas, geofácies e geótopos, baseando-se na abordagem sistêmica da geografia, influenciada por Sochava (1977), que define o geossistema como um sistema natural não homogêneo, aberto e ligado a um território específico. Destacando que os geossistemas possuem comportamento específico ao longo do tempo, com mudanças sequenciais.

Nascimento e Sampaio (2005) destacam que a Geografia Física ou da natureza é uma área da ciência geográfica que estuda aspectos naturais e da paisagem, caracterizando-se pela aproximação com as ciências naturais e pela atenção às modificações do estado natural global, com proximidade da Ecologia e Geografia Humana. Rodrigues (2001) define que a Geografia Física tem por objetivo o estudo da organização espacial dos geossistemas, expressado através da estrutura conferida pela distribuição e arranjo espacial dos elementos que compõem o universo do

sistema, resultantes da dinâmica dos processos atuantes e das relações entre os elementos.

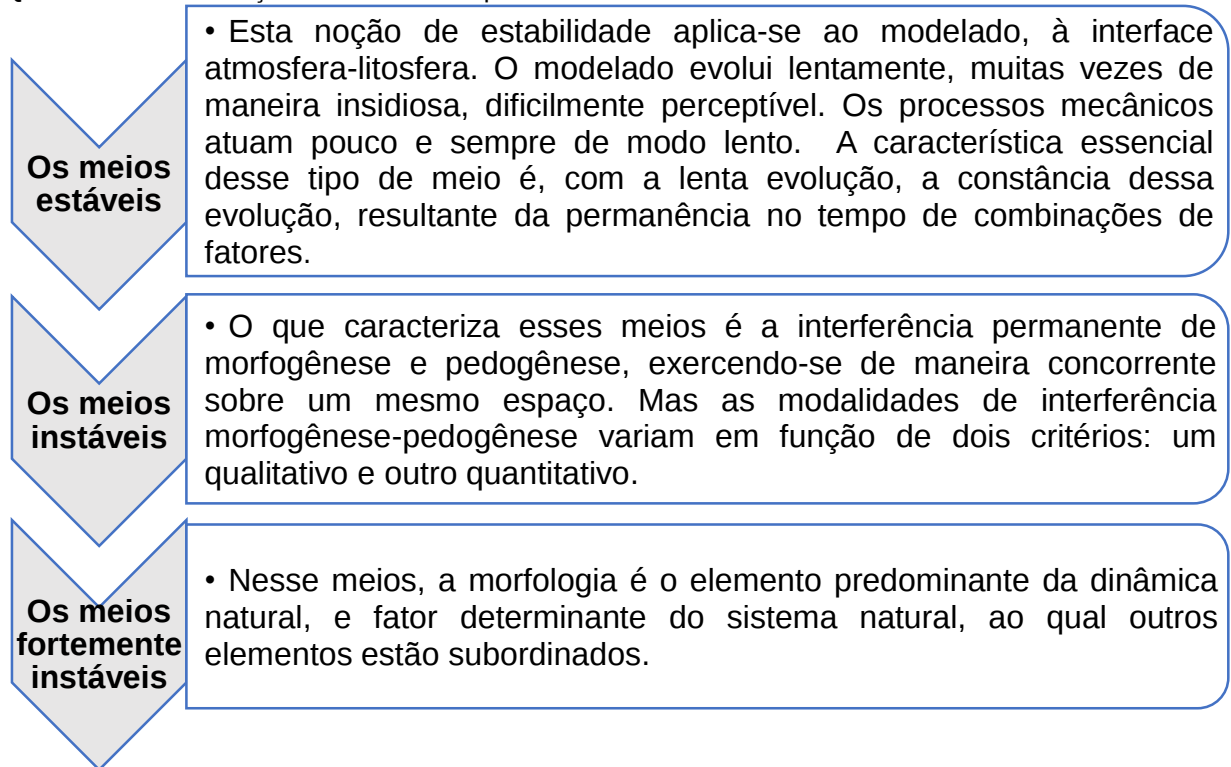
O campo de ação da Geografia Física é vasto e complexo, envolvendo a análise das condições naturais, interpretação da estrutura e processos do espaço geográfico, estudo geossistêmico dos subsistemas naturais e suas interações com os fatores socioeconômicos, além de contribuições significativas para o planejamento territorial e regional, o planejamento socioambiental e o ensino (Nascimento, Sampaio, 2005, p. 168).

A percepção da categoria paisagem na Geografia Física passou por transformações, adotando variadas concepções com base na teoria geral dos sistemas, incluindo abordagens termodinâmicas e ecodinâmicas de Tricart (1977), além de esquemas de classificação propostos por Sotchava (1977) e Bertrand (1972). Tricart (1977) destaca que a conceituação de sistema propõe estudos referentes ao meio físico, permitindo a adoção de atitudes dialéticas, com ênfase na análise, progresso científico e técnicas investigativas.

Conforme Tricart (1977, p. 19), um sistema é formado por diversos subsistemas e caracteriza-se por um conjunto de fenômenos que operam através de fluxos de matéria e energia, gerando relações de dependência mútua entre os fenômenos, formando estruturas que são elementos do espaço, individualizados e localizados, cuja evolução é regida por sistemas que os organizam tanto interna quanto externamente.

A classificação dos meios ambientes pode ser categorizada em meios estáveis, instáveis e fortemente instáveis (Tricart, 1977), demonstrando a dinâmica e complexidade inerentes aos sistemas naturais (Quadro 3).

Quadro 3 - Classificação dos ambientes para Tricart



Fonte: Tricart (1977). Organização: Autora (2023).

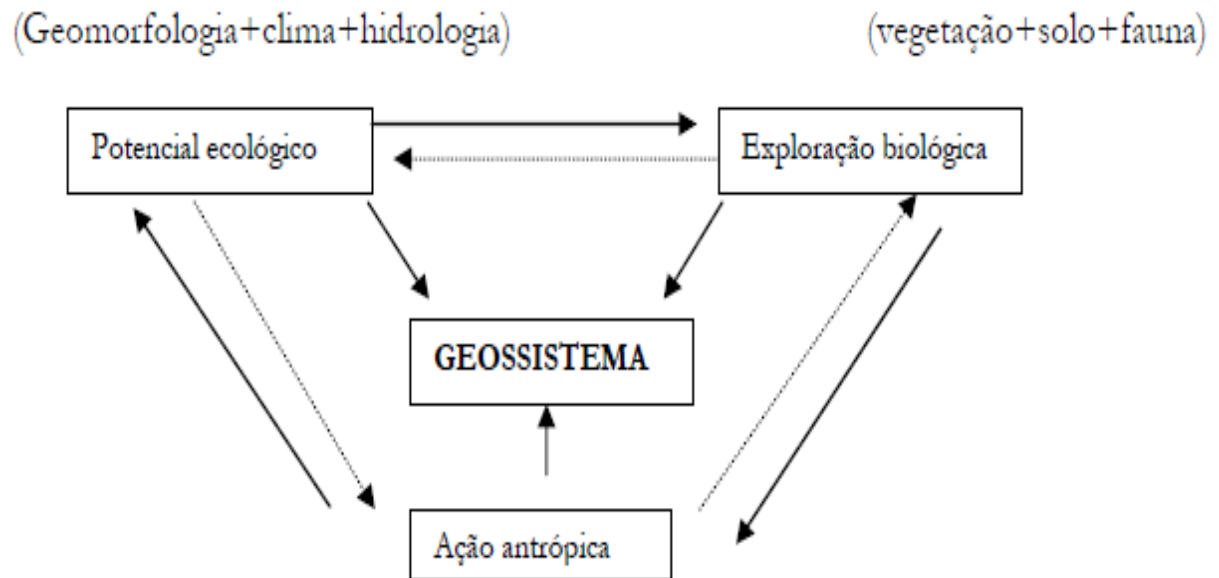
A evolução da geografia ao longo do século XX e no início do século XXI reflete não apenas avanços teóricos e metodológicos, mas também a crescente consciência sobre a interdependência entre a sociedade e o ambiente natural. A aplicação da Teoria Geral dos Sistemas na geografia física proporcionou ferramentas analíticas robustas para compreender as complexas interações entre processos sociais e ambientais, essenciais para o manejo sustentável dos recursos naturais e para a promoção de condições de vida urbana e rural mais equitativas e sustentáveis.

Sotchava (1977) propõe um estudo detalhado dos geossistemas com base em suas formações naturais, considerando suas particularidades como sistemas dinâmicos, abertos, hierárquicos e organizados por meio de fluxos. Ele enfatiza que esses sistemas correspondem aos fenômenos naturais, abrangendo também os fatores econômicos e sociais que influenciam a estrutura e as peculiaridades espaciais. Sotchava destaca a multiplicidade de relações e contradições entre os componentes naturais, essenciais para uma compreensão abrangente dos geossistemas na geografia física contemporânea.

Por outro lado, Bertrand (1968) conceitua os geossistemas de maneira distinta, vendo-os como unidades ou níveis taxonômicos na categorização da paisagem. Ele

identifica várias subunidades dentro dos geossistemas, como zonas, domínios, regiões, geofácies e geótopos. Bertrand atribui relevância especial às diferentes unidades da paisagem no contexto fisionômico e na ciência cartográfica, ressaltando o papel central da vegetação como elemento integrador dessas unidades (Figura 9).

Figura 9 - Geossistema para Bertrand



Fonte: Bertrand (1977).

As abordagens de Sotchava e Bertrand oferecem perspectivas complementares sobre os geossistemas na geografia física. Enquanto Sotchava enfoca a dinamicidade e a complexidade dos sistemas naturais e suas interações com fatores sociais e econômicos, Bertrand contribui com uma visão estruturada e hierárquica das unidades da paisagem, destacando a importância da vegetação como componente unificador. Ambas as abordagens são fundamentais para o entendimento profundo das paisagens e geossistemas, essenciais para o planejamento territorial, ambiental e para o manejo sustentável dos recursos naturais.

Para Bertrand (2002), a categoria paisagem não é simplesmente a soma de elementos geográficos desconectados, mas sim o resultado da interação dinâmica entre atributos físicos, biológicos e antrópicos. Ele argumenta que a escala da paisagem é crucial para os geógrafos, pois permite estudar processos organizacionais compatíveis com a escala humana. Bertrand incorpora de forma explícita o elemento antrópico em sua definição de geossistema, destacando a importância da

compreensão das dinâmicas ecológicas e das condições de uso da terra por meio das atividades humanas.

Tricart (1977, 1980), por sua vez, preocupava-se com a qualidade ambiental e criticava as concepções de Sotchava por considerá-las vagas. Para Tricart, faltavam exemplos mais claros e coerentes sobre os geossistemas, buscando uma maior precisão na definição e na análise desses sistemas. Essas perspectivas são fundamentais para uma compreensão abrangente e aprofundada dos processos e interações que moldam as paisagens e os sistemas naturais, contribuindo para o planejamento territorial, ambiental e para o manejo sustentável dos recursos naturais.

1.3 USO E COBERTURA DA TERRA

O termo "uso e cobertura da terra" refere-se à forma como o espaço é ocupado pelo ser humano ao longo do tempo, muitas vezes sem considerar a fragilidade dos recursos naturais e a necessidade de um uso sustentável desses recursos (Ferreira, Pereira Filho, 2009; Ramos, 2019). As ações humanas no ambiente são dinâmicas, exigindo tecnologias modernas para seu acompanhamento, como o sensoriamento remoto. Este, aliado às técnicas de georreferenciamento, auxilia na compreensão das tendências relacionadas aos estudos ambientais (Prado, Novo, Pereira, 2007).

Desse modo, a utilização de geotecnologias para a construção de mapas focados no monitoramento e análise ambiental tem se mostrado eficiente no entendimento dos processos de intervenção em áreas de bacias hidrográficas. Essas tecnologias reduzem o tempo necessário para o mapeamento das áreas e otimizam o processo de tomada de decisões em ações de mitigação de alterações ambientais (Eugenio et al., 2010).

O levantamento do uso e cobertura da terra envolve um conjunto de operações necessárias para a elaboração de uma pesquisa temática, frequentemente sintetizada através de mapas. Segundo o IBGE (2006), o levantamento do uso e cobertura da terra indica:

[...] o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada através de mapas. O Levantamento do Uso e da Cobertura da Terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando a sua classificação e espacialização através de cartas (IBGE, 2006, p. 20).

A distribuição geográfica da tipologia de uso é identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Esse processo inclui pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando à sua classificação e espacialização através de cartas.

A compreensão dos padrões de organização do espaço é fundamental, sendo o mapeamento das informações um recurso amplamente utilizado para evidenciar os padrões de uso e cobertura da terra. A visualização dos fatos no espaço melhora a compreensão das interações existentes e aponta as ações necessárias (Ferreira, Pereira Filho, 2009; Nogueira, Costa, Pereira, 2015).

O conhecimento sobre o uso da terra é uma ferramenta de suma relevância para planejadores e legisladores, pois possibilita a verificação das formas de uso do solo em um determinado recorte espacial. Com essas informações, é possível elaborar políticas de uso e cobertura da terra mais eficientes para o desenvolvimento das cidades (Prado, 2004).

Assim, o uso e cobertura da terra, quando bem compreendidos e mapeados, fornecem subsídios essenciais para a gestão territorial, permitindo uma melhor compreensão das interações entre as atividades humanas e o ambiente natural, e contribuindo para o planejamento sustentável e a preservação dos recursos naturais.

1.4 CONCEITOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Impactos ambientais são definidos como as alterações, modificações e transformações que ocorrem no meio ambiente de forma frequente. Segundo a Resolução Conama nº 001 de 1986, impacto ambiental é decorrente de alterações nas propriedades físicas, químicas ou biológicas, causadas por qualquer forma de energia ou matéria resultante das ações humanas (Brasil, 1986a; Dagnino; Carpi Junior, 2007).

Rubira (2016) destaca que diferentes ciências, como a Geografia e a Biologia, possuem conceitos distintos para impactos ambientais e degradação ambiental.

A necessidade do homem de se organizar e se fixar em um determinado espaço geográfico e expandir suas tecnologias conforme evolui o desenvolvimento da raça humana, provoca inúmeras modificações no meio, alterando o que chamamos de natural, acarretando na maioria das vezes graves problemas ambientais, o que torna determinado espaço em um ambiente de risco de vida para o próprio homem, que foi o grande responsável por toda essa mudança, é a chamada degradação ambiental (RUBIRA, 2016, p. 141).

Em contrapartida, é importante ressaltar que o conceito de impacto ambiental, embora amplamente empregado para destacar aspectos negativos decorrentes de atividades antrópicas, pode também ter conotação positiva (Meneguzzo; Chaicouski, 2010).

Rubira (2016) esclarece que a degradação ambiental se refere exclusivamente aos impactos negativos no meio ambiente, enquanto o impacto ambiental pode ter um lado positivo. Um exemplo disso é uma obra de contenção de uma voçoroca; inicialmente, a obra causará algum impacto no meio ambiente, mas esse impacto é positivo, pois visa garantir a estabilidade e contenção da erosão (Rubira, 2016).

Segundo Nogueira, Sanson e Pessoa (2007), os espaços urbanos onde ocorrem interações humanas estão frequentemente associados a condições de vida precárias e a sérios problemas e impactos socioambientais, tanto de ordem física quanto de saúde pública. A melhor forma de conhecer e estudar os impactos ambientais em uma região é através do Estudo de Impactos Ambientais (EIA), conforme apresentado na Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986 (Brasil, 1986a).

Rubira (2016) menciona que, após o Estudo de Impactos Ambientais (EIA), deve ser elaborado o Relatório de Impactos Ambientais (RIMA), com o objetivo de evidenciar os impactos gerados e orientar a tomada de decisões e medidas cabíveis. A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é considerada uma forma de contemplar diversas perspectivas sobre os impactos, visando reduzir e atenuar esses efeitos (Sousa, 2006). Além disso, a AIA permite que as decisões sejam tomadas de forma lógica e racional.

Dessa forma, a compreensão e a gestão dos impactos ambientais requerem uma abordagem multifacetada e integrada, envolvendo tanto a identificação de

impactos negativos quanto a valorização de impactos positivos. Esse entendimento é fundamental para a elaboração de políticas e práticas sustentáveis que promovam o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a preservação ambiental.

1.5 BACIA HIDROGRÁFICA: GESTÃO E QUALIDADE AMBIENTAL

Lima e Zakia (2000) conceituam bacia hidrográfica através de uma abordagem sistêmica. Para eles, as bacias hidrográficas são sistemas abertos que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio. Albuquerque (2012a, p. 29) complementa essa definição, afirmando que "a bacia hidrográfica, como unidade espaço, constitui-se na unidade mais adequada para o planejamento e gestão dos recursos hídricos", sendo sua administração imprescindível e requerendo fundamentos teóricos, técnicos, legais e constitucionais.

As bacias hidrográficas representam a área de captação de um recurso fundamental para a vida humana, a água. Este recurso é forte atrativo para diversos tipos de atividade como: irrigação, lazer, navegação, energia, uso doméstico, moradia e outras. Nesta perspectiva, a disponibilidade da água, enquanto recurso propicia a ocupação da bacia hidrográfica praticamente por toda a extensão territorial, fato que em geral, se define por taxas de densidade elevada (Albuquerque, 2012a, p. 204).

A Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pela Lei 6.938 de 1981, dispõe sobre a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental e da qualidade de vida da população brasileira, com o objetivo de melhorar as condições socioeconômicas e a dignidade humana em geral (Brasil, 1981).

A qualidade de um curso d'água está diretamente relacionada às alterações verificadas em uma bacia hidrográfica, tanto pelo manejo dos solos, quanto pelo regime hídrico. O uso e ocupação do solo exercem fundamental influência no escoamento superficial para esses cursos, podendo alterar sua qualidade e quantidade. No período chuvoso, há arraste de materiais superficiais, enquanto na estiagem ocorre o aumento das concentrações de poluentes advindos dos despejos diretamente nos corpos hídricos devido à redução da vazão (Fia et al., 2015; Garcia et al., 2020).

Neste contexto, monitorar a qualidade das águas urbanas é um aspecto indispensável, considerando seus principais usos. As condições ambientais de uma bacia hidrográfica refletem diretamente no estado dos corpos hídricos. O processo de

ocupação e uso do solo por atividades antrópicas modifica os processos biológicos, físicos e químicos dos recursos naturais. As modificações dentro de uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas a partir do monitoramento da qualidade da água, possibilitando uma gestão adequada dos corpos hídricos (Merten e Minella, 2002; Von Sperling, 2005; Souza e Gastaldini, 2014; Souza et al., 2014).

A qualidade da água está intrinsicamente ligada e determinada pelo uso e ocupação do solo, ou seja, ainda que sejam realizados o monitoramento e avaliação das condições física, química e biológicas das águas, seu uso e preservação está atrelado a dinâmica de sua transformação pelos usuários de recursos hídricos, tomada de decisão de gestores, e sua aplicabilidade na bacia hidrográfica com finalidade racional e integrada pelos atores (Souza Filho et al. 2020, p. 3).

Dessa forma, o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas são essenciais para promover o uso racional dos recursos hídricos, minimizar os impactos ambientais e garantir a qualidade ambiental necessária para o desenvolvimento sustentável das regiões que dependem desses recursos.

A medição e o monitoramento da qualidade ambiental das águas superficiais dos continentes requerem diretrizes rigorosas para a geração e análise de dados obtidos. Um dos principais mecanismos de monitoramento da qualidade da água, tanto ao longo do tempo quanto espacialmente, é o geoprocessamento. Esta tecnologia permite a análise precisa e detalhada das condições ambientais de um determinado corpo hídrico. Além do geoprocessamento, outra ferramenta amplamente utilizada para estudos ambientais de qualidade de águas urbanas e superficiais é o acompanhamento em campo, que envolve a coleta e análise de amostras (Fonseca, Faria, 2020).

De acordo com Fonseca e Faria (2020), a qualidade de um corpo hídrico pode ser representada pela análise de diferentes elementos presentes na água, incluindo componentes físicos, químicos e biológicos. A qualidade da água é condicionada por fatores naturais como o regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal. Além desses fatores, os impactos negativos oriundos da ação humana, como o lançamento de efluentes in natura e o manejo inadequado de solos, também desempenham um papel crucial na determinação da qualidade da água.

A Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece as diretrizes para a classificação das classes de água doce no território nacional. Essas classes

são determinadas com base na qualidade da água e nos usos pretendidos, fornecendo um quadro normativo para a gestão e proteção dos recursos hídricos.

Organizar essas informações e monitorar as condições das águas superficiais de maneira sistemática é essencial para garantir a preservação e melhoria da qualidade ambiental. As diretrizes estabelecidas pela Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, ajudam a orientar as práticas de monitoramento e gestão, garantindo que as ações de conservação e uso sustentável dos recursos hídricos sejam alcançadas. Segundo esta Resolução (2005), as classes de água doce são classificadas da seguinte forma no território nacional:

Art. 4º As águas doces são classificadas em: I - classe especial: águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. II - classe 1: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. III - classe 2: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca. IV - classe 3: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais. V - classe 4: águas que podem ser destinadas: a) à navegação; e b) à harmonia paisagística (Brasil, 2005).

A medição e o monitoramento da qualidade ambiental das águas superficiais dos continentes requerem diretrizes para geração e análise de dados obtidos. Um dos principais mecanismos para esse fim é o geoprocessamento. Além disso, o acompanhamento em campo das condições ambientais, como coletas e análises de amostras, também é amplamente utilizado (Fonseca, Faria, 2020).

A qualidade da água pode ser avaliada através do Índice de Qualidade da Água (IQA), que considera nove parâmetros com pesos específicos, fundamentais para a avaliação global da qualidade da água conforme normas vigentes (ANA, 2004; Oliveira, 2020).

Entre os principais parâmetros analisados, destacam-se a condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido, o pH, os sólidos dissolvidos totais, a temperatura e a turbidez. Esses parâmetros, apesar de físicos, são indicativos importantes para a qualidade química da água, fornecendo resultados sobre a presença de contaminantes e o estado geral dos corpos hídricos (Nogueira, Costa, Pereira, 2015).

A condutividade elétrica avalia a capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica devido à presença iônica. Já o oxigênio dissolvido refere-se à quantidade de oxigênio molecular (O₂) presente na água, afetada por fatores como temperatura e atividades biológicas. Os sólidos dissolvidos totais representam o resíduo remanescente após evaporação da amostra, refletindo a carga de matéria orgânica e inorgânica na água (Nogueira, Costa, Pereira, 2015).

O pH indica a acidez ou alcalinidade da água, sendo influenciado por descargas urbanas e variações naturais. A temperatura afeta diversas propriedades físico-químicas da água e é crucial para processos biológicos. A turbidez está associada à presença de partículas sólidas em suspensão, afetando a transparência e a qualidade visual da água. A tendência da turbidez é se elevar com o aumento da vazão, ou seja, com vazões maiores, a turbidez varia mais. As chuvas que causam vazões maiores podem ser muito variáveis, provocando graus diferentes de erosividade, afetando os terrenos e as margens (Brasil, 2006d; Silva, 2016; Figur, Reis, 2017).

A gestão da qualidade da água em áreas urbanas enfrenta desafios significativos devido às cargas poluidoras tanto pontuais quanto difusas. Enquanto as cargas pontuais são identificáveis e controláveis, as difusas, geradas principalmente pela lavagem de superfícies urbanas durante chuvas, são mais complexas de gerenciar. Essas descargas afetam diretamente a qualidade da água e seus usos em ambientes urbanos (Pereira et al., 2021).

Fatores como o aumento da densidade populacional e a falta de planejamento territorial em áreas sem infraestrutura resultam em impactos socioambientais que transformam a paisagem natural. Esses problemas incluem alterações na morfologia dos rios urbanos e suas funções ambientais, como a remoção da mata ciliar e o despejo de resíduos e efluentes no leito do Igarapé, causando danos e problemas ambientais (Andrade, 2023).

Segundo Oliveira (2012) as bacias hidrográficas podem contribuir para um planejamento ambiental que integre todos os sujeitos sociais e atores envolvidos na formação dessas áreas, e que influenciam de maneira direta e indireta na qualidade

ambiental das bacias hidrográficas urbanas, onde a degradação hídrica é mais presente e evidente na paisagem.

Diante desses desafios, a implementação de estratégias eficazes para a gestão da qualidade da água é crucial. A integração de medidas de controle para cargas pontuais e a adoção de práticas para reduzir as cargas difusas são fundamentais para assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos urbanos. Além disso, a educação ambiental e a conscientização pública desempenham papéis vitais na promoção de comportamentos que minimizem os impactos negativos sobre a qualidade da água, contribuindo para a conservação dos ecossistemas aquáticos e a saúde pública

CAPÍTULO 2 – DIFERENTES USOS DAS ÁGUAS E A NECESSIDADE DE GESTÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TARUMÃ-AÇU

Este capítulo visa apresentar os diferentes usos das águas e discutir a necessidade inerente da gestão das águas da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (BHTA). Além disso, traz um breve histórico sobre o processo de urbanização de Manaus, apresenta os usos da bacia e a participação social na gestão de suas águas.

A pressão sobre os recursos hídricos no território brasileiro é um produto do crescimento populacional, expresso em altos índices de expansão urbana, desmatamento e poluição de água. Associadas a essas pressões, as alterações climáticas afetam tanto a quantidade quanto a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Diante dessa realidade, torna-se necessário promover uma gestão pautada na sustentabilidade, incentivando medidas capazes de preservar nossos mananciais (Sant'Ana, 2021).

A gestão das águas é uma necessidade inerente às sociedades humanas nos dias de hoje. A água é um bem natural e essencial para a existência e permanência da vida, e com o desenvolvimento das sociedades humanas, há muito tempo é utilizada para diversos fins, e assim considerada como um dos principais recursos ambientais. É imperativo que a política hídrica abarca instrumentos e diretrizes compatíveis para uma gestão integrada em todos os setores da sociedade, e que assume a proteção das águas e seu uso de forma sustentável com o desenvolvimento da humanidade (Fonseca, Faria, 2020).

As instituições envolvidas na administração dos recursos hídricos atuam em diferentes esferas da administração pública, além de envolverem organizações públicas e privadas. Existem dois tipos de domínios das águas no Brasil: águas federais e águas estaduais. São bens da União (águas federais) os lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio ou que banhem mais de um estado da federação, sirvam de limite com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais. São bens dos estados as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito encontradas em seu território. A responsabilidade pela gestão depende, então, do tipo de domínio da água (Tucci, Hespanhol, Cordeiro Netto, 2001).

2.1 BREVE HISTÓRICO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE MANAUS

Manaus, localizada à margem esquerda do rio Negro, é caracterizada por cinco bacias hidrográficas principais: São Raimundo, Puraquequara (abrangendo zonas urbana e rural), Educandos, Colônia Antônio Aleixo e Tarumã-Açu (Maia et al., 2019). O regime hidrológico dessa região é complexo e exerce uma influência significativa na distribuição anual das chuvas, conforme apontado por Albuquerque (2012b). Bittencourt e Amadio (2007) corroboram essa visão ao subdividir o ciclo hidrológico completo em quatro períodos: seca, enchente, cheia e vazante. Sendo o período de enchente entre os meses de janeiro e abril, cheia entre maio e julho, vazante entre agosto e setembro, e a seca entre os meses de novembro e dezembro.

Ao abordar os aspectos visuais da coloração dos rios amazônicos, Sioli (1985) classifica-os em três grupos distintos: rios de águas brancas, rios de águas claras e rios de águas pretas. Os rios de águas brancas são descritos como "barrentos", devido às suas águas turvas e amareladas, ricas em argila em suspensão. Em contraste, os rios de águas claras apresentam baixa turbidez e baixos índices de materiais em suspensão. Já os rios de águas pretas são caracterizados pela elevada quantidade de ácidos húmico e fúlvico (Sioli, 1985).

Ademais, o ciclo hidrológico da região amazônica desempenha um papel crucial na estabilidade climática e na sustentabilidade dos componentes bióticos e abióticos, especialmente na América do Sul. Isso ocorre porque a ciclagem hídrica nas bacias da Amazônia contribui significativamente para a precipitação que reabastece os ecossistemas, promovendo um equilíbrio ecológico vital para a região (Machado; Pacheco, 2010).

O crescimento de Manaus, acelerado e não planejado, resultou de uma intensa expansão urbana combinada com o crescimento demográfico. A partir de 1967, houve uma intensificação significativa nas formas de uso e ocupação do solo devido à implantação da Zona Franca de Manaus (ZFM), levando a modificações importantes nas décadas subsequentes (Mendonça, 2003). Desse modo, Manaus contribuiu para diversas transformações na região central da Amazônia, criando múltiplos espaços interdependentes, embora repletos de disparidades socioeconômicas e deterioração ambiental (Briceno, Cândido, 2016).

É relevante destacar a existência de dois Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) na cidade, responsáveis por estudos em duas grandes áreas situadas nas

zonas oeste e leste de Manaus. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, instituído em 19 de outubro de 2009, é um desses comitês. O outro é o Comitê da Bacia Hidrográfica do Puraquequara, que, entretanto, não está em funcionamento (Brasil, 2006c; Damasceno, 2018; Souza, 2021).

Esses comitês desempenham um papel crucial na gestão dos recursos hídricos, especialmente em uma cidade como Manaus, que enfrenta desafios significativos devido ao crescimento urbano acelerado. A criação e a funcionalidade desses comitês refletem um esforço para enfrentar os problemas ambientais decorrentes da urbanização e promover uma gestão eficiente dos recursos hídricos na região.

2.2 USOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TARUMÃ-AÇU

O rio Tarumã-Açu, um dos tributários da margem esquerda do rio Negro, possui treze afluentes principais: Igarapé Santo Antônio, Igarapé Cabeça Branca, Igarapé do São José, Igarapé do Leão, Igarapé do Mariano, Igarapé do Branquinho, Igarapé do Caniço, Igarapé do Argola, Igarapé do Tiú, Igarapé do Panemão, Igarapé da Bolívia, Igarapé do Gigante e o Tarumãzinho (Costa, Silva, Silva, 2013; Vasconcelos, Costa, Oliveira, 2015).

A bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu tem um perímetro de 229.122 km, com o canal principal medindo 42.105 km de comprimento. Seu comprimento vetorial é de 37.612 km e o comprimento total dos canais da bacia é de 1.065,387 km. A bacia apresenta pouca tendência a enchentes devido à sua forma alongada e grande área, sendo caracterizada por uma baixa declividade, pouca dissecação e uma resposta hidrológica lenta (Costa, Silva, Silva, 2013).

A formação litológica da bacia é a Formação Alter do Chão, composta por rochas sedimentares siliciclásticas avermelhadas, incluindo argilitos, folhelhos, siltitos, arenitos e conglomerados. A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Densa, com presença de tipologias de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Aluvial periodicamente inundada (Floresta de Igapó), Campinarana e áreas antropizadas (urbanas, agroindustriais e comunidades tradicionais) (Vasconcelos, 2012; Costa et al., 2021).

Em 2016, dados de satélite (Landsat 8) indicaram que 79,31% da área da bacia era coberta por floresta, com 64,78% correspondendo a áreas de floresta primária e

secundária e 14,53% à classe campestre, que inclui vegetação não florestal, natural ou antropizada. No baixo curso do rio Tarumã-Açu, apenas 43,49% da área era coberta por florestas, enquanto 18,84% eram áreas campestres, 10,42% urbanizadas, 19,23% descobertas, 1,23% usadas para mineração e 6,80% cobertas por água (Costa, 2020).

O clima da bacia é caracterizado por uma estação seca suave e moderada, abrangendo julho, agosto e setembro, e uma estação úmida que vai de dezembro a maio. Junho é considerado um mês de transição entre a estação seca e a úmida, enquanto outubro marca a transição para a estação chuvosa. De maneira geral, o clima da bacia é classificado como superúmido (Antônio, 2017; Siqueira, 2019).

As alterações ambientais nas bacias hidrográficas de Manaus indicam uma unidade física modificada por transformações antrópicas, resultando em um espaço com estruturas como edificações, moradias irregulares, indústrias, avenidas, portos e empreendimentos navais (Andrade, 2023). A partir da década de 1980, as formas de uso e ocupação da terra na BHTA tornaram-se mais significativas, com a intensidade de ocupação diretamente relacionada à abertura e expansão das rodovias BR-174 e AM-010. Dados de satélite Landsat-8 de 2016 mostraram que cerca de 431,30 km² (31,05%) da área da bacia foram modificados por ações antrópicas, restando apenas 932,06 km² de cobertura florestal e 25,57 km² (1,8%) de água (Bühning, 2010; Colares et al., 2019).

Além do sistema viário, a política fundiária do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e a expansão urbana aceleraram o processo de ocupação e desflorestamento entre 1990 e 2009. As atividades desenvolvidas na bacia incluem assentamentos do INCRA, como o Projeto de Assentamento Pau Rosa, que envolve agricultura, piscicultura e pecuária (Costa et al., 2012; Maia et al., 2019).

A margem esquerda do rio Tarumã abriga a Unidade de Conservação – APA do Tarumã-Açu, enquanto a margem direita é habitada por aproximadamente 12.053 pessoas. A APA do Tarumã-Açu, criada em 1995 pelo governo do Amazonas em conjunto com o Parque Estadual do Rio Negro, desempenha um papel importante para a população local e os ecossistemas existentes (IBGE, 2010; Melo, 2017).

A bacia é intensamente utilizada pela população devido à presença de marinas, loteamentos, hotéis de selva, condomínios residenciais de alto padrão, ocupações desordenadas, restaurantes, flutuantes domiciliares e comerciais, cujas ações geram impactos ambientais diretos e indiretos. A especulação imobiliária na região é

impulsionada pela proximidade com o rio e pela paisagem atrativa, que facilita atividades de lazer e turismo (Nascimento, 2009; Costa et al., 2012; Colares et al., 2019). A ocupação das margens e do leito do rio resulta no lançamento diário de efluentes sanitários e resíduos perigosos, como óleo lubrificante e combustível, diretamente na água, causando problemas ambientais que afetam toda a cadeia trófica, inclusive os seres humanos (Campelo, Souza e Dray, 2020).

2.3 PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA GESTÃO DA BHTA

A Nova Lei das Águas no Brasil (Lei 9.433/97) trouxe uma significativa descentralização da gestão dos recursos hídricos, transferindo a autoridade do Poder Público central para a esfera local das bacias hidrográficas. Esta legislação permite uma parceria entre o Poder Público, os usuários da água e a sociedade civil organizada, promovendo uma gestão participativa e integrada dos recursos hídricos. A descentralização é efetivada através da criação de Comitês de Bacia Hidrográfica e Conselhos de Recursos Hídricos em níveis nacional e estadual, onde o poder decisório é compartilhado (Tucci, Hespanhol, Cordeiro Netto, 2001).

Conforme Melo e Romanel (2018), no Amazonas, a gestão de recursos hídricos foi estabelecida a partir da Política Estadual de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 2.712/2001, reestruturada pela Lei nº 3.167/2007 e regulamentada pelo Decreto nº 28.678/2009. A Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) é o órgão gestor e coordenador da Política Estadual de Recursos Hídricos, enquanto o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) é o órgão executor, por meio de sua Gerência de Recursos Hídricos e Minerais. A gestão das águas subterrâneas é de domínio estadual, e parte da gestão das águas superficiais é de domínio federal.

Desde 2005, o governo estadual mantém um Fundo Estadual de Recursos Hídricos, gerido pela SEMA, compatibilizado com o Plano Plurianual, a Lei de Diretrizes Orçamentárias e o Orçamento Anual, para fornecer suporte financeiro à implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e seus respectivos instrumentos (Melo; Romanel, 2018).

A região amazônica tem experimentado grandes mudanças devido a um desenvolvimento muitas vezes desordenado, o que dificulta a implementação efetiva de políticas públicas e demonstra a fragilidade da sustentabilidade nesta área (Damasceno, 2018).

Melo (2017) aponta dois fatores principais para essa problemática: as diferenças administrativas entre as esferas de governo e a dificuldade de controlar o processo de ocupação urbana, que avança mais rapidamente do que a capacidade de planejamento. Um fator de fundamental importância a ser considerado na construção da gestão pública da água no estado do Amazonas é a gestão dos recursos hídricos pela abundância e não pela escassez. O volume dos mananciais não necessariamente significa disponibilidade, dependendo do tipo de uso ao qual se destinam (Damasceno, 2018).

Os problemas ambientais e os conflitos decorrentes da diversidade de usos na bacia do Tarumã-Açu, motivaram a organização dos moradores locais, culminando na criação da Associação de Moradores do Tarumã-Açu. Essa mobilização levou à instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (CBHTA), o primeiro comitê de bacia instalado na região hidrográfica amazônica, em 19 de outubro de 2009 (Ferreira, 2008; Damasceno, 2018). O objetivo do CBHTA é mitigar os impactos ambientais e assegurar a sustentabilidade local por meio de um modelo de gestão participativa, descentralizando a tomada de decisões e promovendo o diálogo entre o poder público, a sociedade civil e os usuários da bacia (Melo, 2017).

A implementação dos comitês de bacia trouxe uma nova dinâmica na gestão dos recursos hídricos, promovendo uma maior integração entre os diversos atores envolvidos. Esta abordagem colaborativa é fundamental para enfrentar os desafios complexos da gestão ambiental, onde a participação comunitária e a cooperação interinstitucional são essenciais para o sucesso das políticas de conservação e uso sustentável dos recursos hídricos. A gestão integrada possibilita a construção de soluções que atendam às necessidades locais, promovendo o desenvolvimento sustentável e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Segundo a Lei Federal nº. 9.433/1997, os comitês podem atuar em diferentes escalas: na totalidade da bacia hidrográfica, em sub-bacias de tributários do curso principal ou em grupos de bacias contínuas. Esta organização permite ao setor público descentralizar suas decisões, promovendo a participação ativa da população no gerenciamento dos recursos hídricos (Brasil, 1997; Costa, 2011). A participação dos usuários transforma-os de meros expectadores em colaboradores ativos, que apresentam problemas, participam do planejamento e contribuem para o gerenciamento dos recursos, exercendo sua cidadania de forma plena.

No entanto, a gestão do CBHTA enfrentou desafios significativos na implementação de instrumentos eficazes para conter os impactos ambientais e promover a sustentabilidade da bacia como um todo. Apesar dos esforços iniciais e da estrutura participativa, o comitê não conseguiu implantar medidas que efetivamente mitigassem os impactos ambientais preexistentes (Costa et al., 2012; Melo, 2017).

Desse modo, Costa (2020) destaca que a bacia em questão não conta com instrumentos essenciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos, destacando-se, principalmente, a ausência de um plano de bacia, fundamental para o ordenamento e uso adequado da água. Além disso, a falta de políticas integradas e de governança eficaz compromete a implementação de medidas de conservação e recuperação ambiental. A inexistência de um plano de manejo para as Unidades de Conservação (UCs) da região agrava ainda mais a situação, dificultando a proteção dos ecossistemas e o controle das atividades antrópicas que impactam a qualidade dos recursos hídricos.

Em consonância, Leitão e Wachholz (2023) destacam a ausência de um plano de Bacia, pode resultar em conflitos futuros relacionados ao uso da água, além de restrições que afetam diversos setores, como o abastecimento de água potável, a irrigação agrícola e as atividades de lazer e pesca, comprometidas pela degradação da qualidade da água.

Portanto, a ausência de um plano de bacia para o Rio Tarumã-Açu evidencia a necessidade urgente de instrumentos de gestão que integrem aspectos ambientais, sociais e econômicos, permitindo uma abordagem mais eficaz e sustentável na administração dos recursos hídricos e na promoção da qualidade ambiental na região.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo inicia com a caracterização da vegetação e a avaliação integrada da qualidade da água na área circundante à Cachoeira Alta do Tarumã, utilizando o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) durante os anos de 2022 e 2023. Esta abordagem metodológica permite uma análise abrangente das condições ambientais locais, combinando aspectos biológicos e físico-químicos para fornecer um panorama completo da saúde do ecossistema. A integração dessas avaliações proporciona uma maior compreensão dos desafios e das potencialidades enfrentados na gestão sustentável dos recursos naturais neste recorte espacial.

Em seguida, o foco se desloca para a avaliação da qualidade da água na área da Cachoeira Alta do Tarumã, abrangendo um período de 2022 a 2023. Este estudo tem como base a análise de variáveis: condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez. Os resultados obtidos são discutidos, destacando-se as influências tanto antrópicas quanto naturais que impactam esses parâmetros cruciais para a sustentação dos ecossistemas aquáticos locais. Essa análise não apenas quantifica as condições atuais da água, mas também permite uma análise sobre os processos e fenômenos que moldam sua qualidade ao longo do tempo.

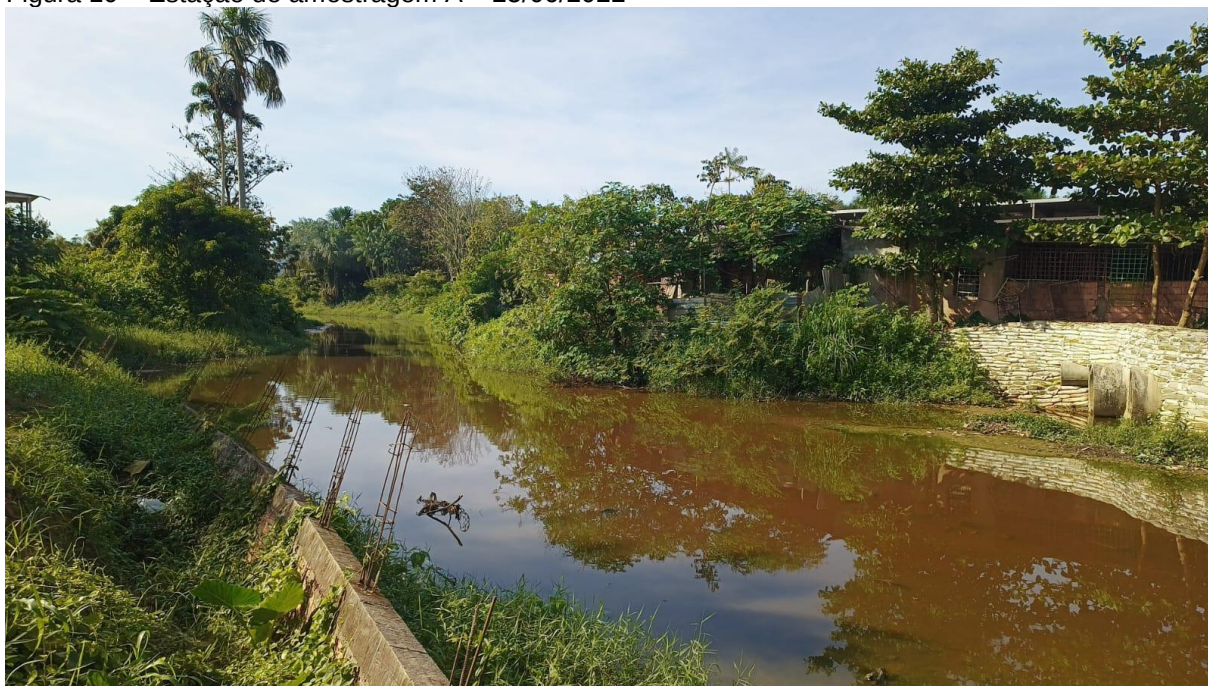
Por fim, o capítulo se dedica a uma análise das mudanças observadas no uso e cobertura da terra na região da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, focando especialmente na área de duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã. O período analisado abrange imagens captadas e disponibilizadas pelo satélite Planet nos anos de 2016 e 2023, além de imagens oblíquas e verticais registradas por uma Aeronave Remotamente Pilotada - ARP em 2022 e 2023. As transformações são avaliadas não apenas em termos de sua extensão e distribuição física, mas também em relação aos impactos significativos no ecossistema local e no desenvolvimento urbano. Compreender essas mudanças é essencial para contextualizar os desafios e oportunidades relacionados à gestão ambiental e urbana sustentável nesta área específica.

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DAS MARGENS DAS ESTAÇÕES

A metodologia do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR, proposta por Callisto et al. (2002), permite uma análise detalhada e eficiente dos atributos vegetais e dos parâmetros da água, oferecendo resultados valiosos sobre as interações entre esses componentes vitais do ecossistema local. As discussões que se seguem exploram as complexas dinâmicas entre a vegetação presente e a qualidade da água, identificando e destacando os principais fatores que influenciam essas interações.

A análise dos parâmetros ambientais das Estações A (Figura 10), B (Figura 11) e C (Figura 12) no dia 25 de junho de 2022 (Tabela 4), revela diferenças significativas entre as três estações de amostragem. A pontuação final indica que as Estações A e B estão classificadas como “Impactadas”, enquanto a Estação C se enquadra na categoria “Natural”. Essa variação pode estar relacionada tanto à ocupação das margens quanto às características ambientais e ao regime hidrológico da região amazônica.

Figura 10 – Estação de amostragem A – 25/06/2022



Fonte: Autora (2022).

Figura 11 – Estação de amostragem B – 25/06/2022



Fonte: Autora (2022).

Figura 12 – Estação de amostragem C – 25/06/2022



Fonte: Autora (2022).

Tabela 1 – Análise do Protocolo de Avaliação Rápida no dia 25 de junho de 2022

Parâmetros	Estação A	Estação B	Estação C
Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	0	0	4
Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	2	4	4
Alterações antrópicas	0	0	2
Cobertura vegetal no leito	4	0	4
Odor da água	2	2	2
Oleosidade da água	4	4	4
Transparência da água	2	2	0
Odor do sedimento (fundo)	2	2	2
Oleosidade do fundo	4	4	4
Tipo de fundo	2	2	4
Tipos de fundo	3	2	2
Extensão de rápidos	0	0	5
Frequência de rápidos	0	0	5
Tipos de substrato	0	0	0
Deposição de lama	0	0	5
Depósitos sedimentares	2	0	5
Alterações no canal do rio	0	0	3
Características do fluxo das águas	0	0	5
Presença de mata ciliar	3	0	3
Estabilidade das margens	3	3	5
Extensão de mata ciliar	2	0	3
Presença de plantas aquáticas	0	0	0
Total	35	25	71
Pontuação	0 - 40	0 - 40	> 61
Situação ambiental	Impactado	Impactado	Natural

Organização: Autora (2024).

A coleta de dados ocorreu em junho, período que coincide com a transição do inverno amazônico para o verão amazônico. Nessa época do ano, a região está saindo do período chuvoso (novembro a maio) e ingressando na estação seca (junho a outubro). Essa transição afeta diretamente as condições dos igarapés, principalmente no que tange aos processos erosivos das margens, deposição de sedimentos e variação da vazão dos cursos d'água.

Observa-se que as Estações A e B, são caracterizadas como ambientes impactados. Estas duas estações apresentaram pontuações abaixo de 40 pontos, indicando forte influência de atividades antrópicas. Entre os fatores que contribuíram para essa classificação, destacam-se: a erosão e assoreamento das margens, com pontuação de 2 para a Estação A e 4 para a Estação B, sugerindo que as margens já sofrem processos erosivos que podem estar intensificados pelo escoamento superficial da chuva nos meses anteriores.

Concernente a cobertura vegetal no leito, observa-se que a estação A ainda mantém alguma vegetação (pontuação 4), enquanto a Estação B sofre com a supressão de vegetação (0), o que reforça o impacto da urbanização. A vegetação observada na estação de amostragem A, é de diferentes tipos de fragmentos florestais, destacando-se as campinaranas e as áreas de buritizeiros. As campinaranas são ecossistemas característicos da Amazônia, geralmente encontrados em áreas de transição entre a floresta densa e as savanas, com vegetação herbácea, arbustiva e algumas árvores de pequeno porte. Já as áreas de buritizeiros são dominadas por palmeiras do gênero *Mauritia*, especialmente a *Mauritia flexuosa*, conhecida como buriti. Estes fragmentos são essenciais para a conservação dos recursos hídricos e da biodiversidade da região, uma vez que garantem a manutenção de ecossistemas críticos para a filtragem da água, o controle da erosão e o sustento de diversas espécies nativas

Outro ponto a ser observado nas estações de amostragem A e B é ausência de rápidos e alteração do canal do rio. A falta de trechos de fluxo mais acelerado (pontuação 0 para extensão e frequência de rápidos) e modificações na morfologia do canal do rio reforçam o impacto causado pela interferência humana.

Na estação de amostragem C, no período analisado, constatou-se com um total de 71 pontos, indicando um ambiente classificado como natural, conforme Callisto et al. (2002). A maior pontuação está associada a presença significativa de vegetação ciliar e estabilidade das margens, que obtiveram valores mais altos em relação às

outras estações. Isso sugere uma menor influência da urbanização e uma melhor capacidade do ecossistema em manter sua estrutura.

Outro fator observado, está relacionado a presença de substratos naturais e deposição sedimentar, indicando que o corpo d'água mantém processos naturais, com mínima a deposição de lama (pontuação 5). O fluxo da água preservado e presença de rápidos, elementos que aumentam a oxigenação da água e favorecem a biodiversidade aquática, neste corpo hídrico.

A análise dos parâmetros ambientais das Estações A (Figura 13), B (Figura 14) e C (Figura 15), apresenta-se na tabela 5, e, demonstra diferentes níveis de impacto ambiental nos trechos estudados, refletindo as influências antrópicas e as características de cada estação de amostragem. Com base no protocolo de avaliação rápida, a Estação A e a Estação B foram classificadas como "Impactadas", enquanto a Estação C apresenta uma condição "Alterada", mas sem atingir o grau crítico das demais. Esses resultados evidenciam a relação entre a ocupação das margens, as mudanças na dinâmica fluvial e os ciclos hidrológicos da Amazônia.

Figura 13 – Registro da última coleta na estação e amostragem A – 13/05/2023



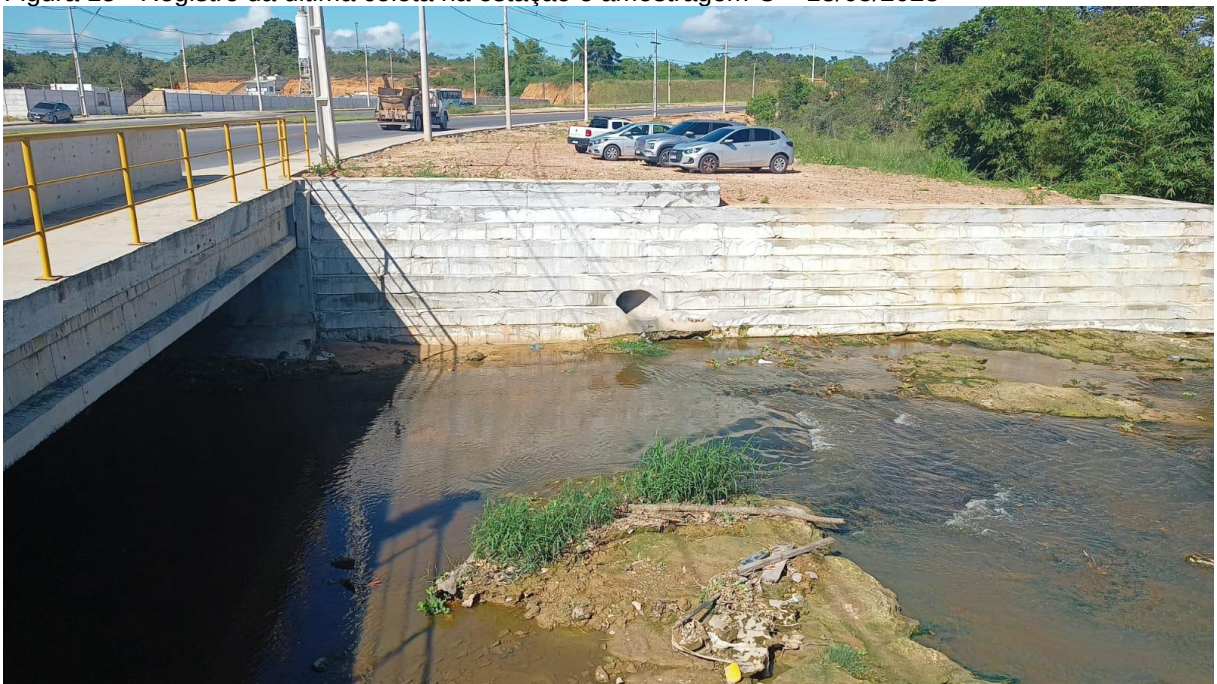
Fonte: Autora (2023).

Figura 14 - Registro da última coleta na estação e amostragem B – 13/05/2023



Fonte: Autora (2023).

Figura 15 - Registro da última coleta na estação e amostragem C – 13/05/2023



Fonte: Autora (2023).

Tabela 2 - Análise do Protocolo de Avaliação Rápida no dia 13 de maio de 2023

Parâmetros	Estação A	Estação B	Estação C
Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	0	0	4
Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	2	0	4
Alterações antrópicas	2	0	0
Cobertura vegetal no leito	4	4	4
Odor da água	2	2	2
Oleosidade da água	4	4	4
Transparência da água	2	2	0
Odor do sedimento (fundo)	2	2	2
Oleosidade do fundo	4	4	4
Tipo de fundo	2	2	4
Tipos de fundo	3	2	2
Extensão de rápidos	0	2	3
Frequência de rápidos	0	2	3
Tipos de substrato	0	0	0
Deposição de lama	0	0	2
Depósitos sedimentares	2	2	2
Alterações no canal do rio	2	0	0
Características do fluxo das águas	3	2	2
Presença de mata ciliar	2	0	2
Estabilidade das margens	0	0	5
Extensão de mata ciliar	2	0	2
Presença de plantas aquáticas	2	3	2
Total	40	33	53
Pontuação	0 - 40	0 - 40	41 - 60
Situação ambiental	Impactado	Impactado	Alterado

Organização: Autora (2024).

No caso das estações A e B, a classificação como "Impactadas" está associada a fatores como erosão das margens, assoreamento, presença de oleosidade na água e alterações no fluxo natural do rio. Esses processos podem estar intensificados pela sazonalidade amazônica, já que a estação chuvosa aumenta o volume de água e o transporte de sedimentos, enquanto a seca expõe as margens, agravando a erosão.

Contrastando com o que foi observado no estudo de Souza (2021), neste trecho no qual não havia sinais de erosão, devido à presença de uma estrutura de contenção

conhecida como gabião ou cestão. Essa técnica consiste no uso de malhas de arame galvanizado preenchidas com rochas resistentes, dispostas ao longo das margens a estação. Entretanto, atualmente, apesar de existir esta contenção, observa-se que ela não está completamente segura, pois as margens ainda apresentam certa permeabilidade e indícios de erosão próximo as residências.

Já a estação C, classificada como "Alterada", apresenta indicadores menos críticos, mas ainda assim sofre modificações ambientais. A presença de mata ciliar mais preservada a jusante, e maior estabilidade das margens conferem a esse trecho do igarapé maior resistência aos impactos externos. No entanto, a pontuação indica que há mudanças no fluxo das águas e deposição de sedimentos, o que pode refletir uma pressão antrópica decorrente das obras de duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã.

A ocupação desordenada das margens é um fator determinante para a degradação dos igarapés urbanos, é evidenciada na estação A e estação B, onde há erosão significativa e assoreamento. A ausência de cobertura vegetal suficiente nas margens e a presença de resíduos podem estar relacionadas ao escoamento urbano e ao despejo inadequado de efluentes.

Souza (2021) aponta que as estações de amostragem A e B estão localizadas em áreas de intenso uso residencial, onde também são observadas diversas atividades comerciais, como panificadoras, farmácias, metalúrgicas, lojas de materiais de construção, supermercados, restaurantes e lojas de vestuário e acessórios. Além disso, a região conta com espaços de lazer, incluindo um balneário particular, e serviços variados, como escritórios de advocacia e transporte coletivo.

O lançamento de resíduos e efluentes domésticos e industriais contribui significativamente para o aumento da carga orgânica nos corpos hídricos, o que, por sua vez, provoca alterações nos parâmetros de qualidade da água (Silva, 1999). De acordo com a ANA (2004) isso pode resultar no aumento de substâncias químicas tóxicas para os organismos aquáticos, como os metais pesados.

O impacto dessas atividades tende a se intensificar no período chuvoso, quando há maior carreamento de material orgânico e inorgânico para os cursos d'água. Em consonância, o estudo de Souza (2021), aborda que ocupações irregulares em áreas verdes de Manaus resultam na retirada e supressão da cobertura vegetal, contribuindo para a instabilidade das margens e degradação dos corpos hídricos.

A estação C, apesar de estar menos impactada, ainda apresenta sinais de alteração, especialmente em relação à deposição de lama e estabilidade do canal do rio. Durante a vazante, essas condições podem resultar na diminuição da qualidade da água, afetando a biota aquática e a capacidade de autodepuração do sistema.

Corroborando com os resultados da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) nas estações de amostragem, os estudos de Lima et al. (2024) destaca a importância do monitoramento contínuo das áreas naturais utilizando o PAR, como uma ferramenta eficaz para gestão ambiental e conservação de ecossistemas sensíveis, como os de Manaus, onde o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e preservação ambiental é essencial para a sustentabilidade da região.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO

Este subcapítulo objetiva a avaliação da qualidade da água na área da Cachoeira Alta do Tarumã, durante os anos de 2022 e 2023. Foram analisadas variáveis como condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez. A discussão dos resultados destaca as influências antrópicas e naturais que afetam esses parâmetros cruciais, proporcionando uma compreensão abrangente das condições atuais da água do Igarapé Tarumã-Açu.

3.2.1 Estação de Amostragem A

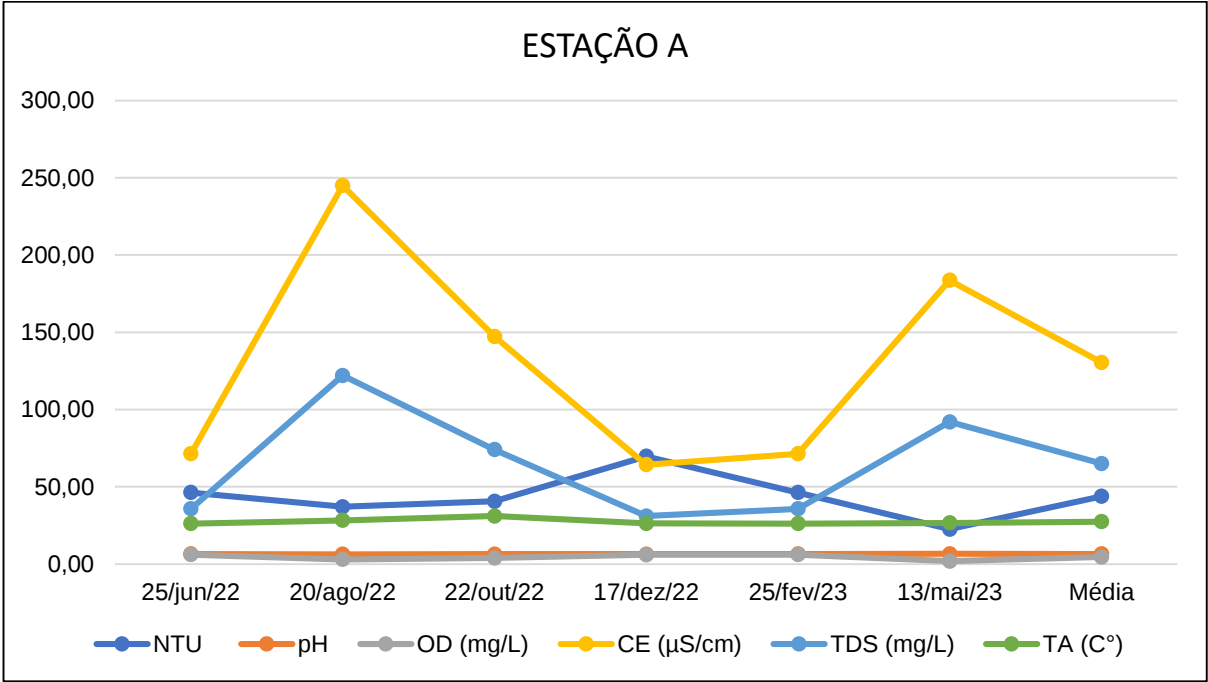
A tabela 3 e o Gráfico 1, apresentam os resultados das análises da qualidade da água realizadas na estação de amostragem A ao longo do recorte temporal de 25 de junho de 2022 a 13 de maio de 2023. Os parâmetros avaliados incluem turbidez (NTU), pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (TDS) e temperatura da água (TA), fornecendo um panorama das variações físico-químicas do corpo hídrico. Esses dados são essenciais para compreender a dinâmica da qualidade da água no recorte espacial estudado e identificar possíveis influências sazonais ou antropogênicas que possam comprometer sua integridade.

Tabela 3 - Resultados obtidos na estação de Amostragem A

ESTAÇÃO A						
Data	NTU	pH	OD (mg/L)	CE μ S/cm	TDS (mg/L)	TA (C°)
25/jun/22	46,27	6,52	6,11	71,33	35,67	26,20
20/ago/22	37,07	6,24	2,96	245,00	122,00	28,20
22/out/22	40,57	6,38	3,84	147,33	74,00	31,00
17/dez/22	69,70	6,35	5,99	64,33	31,00	26,30
25/fev/23	46,27	6,52	6,11	71,33	35,67	26,20
13/mai/23	22,58	6,62	1,83	183,67	92,00	26,60
Média	43,74	6,44	4,47	130,50	65,06	27,42
DP	15,42	0,14	1,86	74,30	37,24	1,91

Organização: Autora (2024).

Gráfico 1 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água na estação A ao longo do período monitorado



Organização: Autora (2024).

Os resultados das análises realizadas na estação de amostragem A ao longo do período monitorado, revelam variações significativas na qualidade da água, refletindo a dinâmica do ambiente aquático e possíveis influências externas. A turbidez, que apresentou uma média de 43,74 NTU e oscilações entre 22,58 NTU e

69,7 NTU, foi um dos parâmetros com maiores variações ao longo do período analisado. O pico registrado em dezembro de 2022, com 69,7 NTU, demonstra uma relação do aumento do escoamento superficial com o transporte de sedimentos, fenômenos comuns durante períodos com maiores índices de precipitação em Manaus.

O pH da água manteve-se relativamente estável ao longo do período analisado, variando entre 6,24 e 6,62, o que indica uma leve acidez. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, para corpos hídricos classificados como classe 1 e 2, o pH deve situar-se entre 6,0 e 9,0. A média observada de 6,44 enquadra-se nesses parâmetros, indicando que, quanto a esse critério, a água da estação A apresenta qualidade compatível com os padrões estabelecidos.

No entanto, ao comparar esses valores com a literatura amazônica, observa-se uma discrepância em relação às características naturais dos rios do Escudo das Guianas, como o Rio Negro e seus afluentes da margem esquerda. Segundo Silva (2013), esses rios são predominantemente ácidos a ligeiramente ácidos, apresentando pH entre 4,6 e 6,5. Dessa forma, os valores registrados na estação A sugerem uma condição diferenciada, possivelmente influenciada por fatores autóctones (locais) que atenuam a acidez típica das águas dessa região.

Ao analisar o oxigênio dissolvido (OD), observa-se uma média de 4,47 mg/L, com uma redução preocupante para 1,83 mg/L em maio de 2023. O oxigênio dissolvido é fundamental para a vida aquática, e a Resolução CONAMA 357/2005 determina que, para águas classe 1 e 2, o OD deve ser mantido acima de 6,0 mg/L., portanto, os resultados obtidos na estação A indicam uma possível alteração da qualidade da água em determinados períodos, o que pode ser sinal de contaminação orgânica ou baixa renovação do fluxo hídrico, afetando diretamente a fauna e flora aquáticas da região.

A condutividade elétrica da água apresentou variações consideráveis ao longo do período analisado, oscilando entre 64,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O pico registrado em agosto de 2022 pode estar relacionado a uma maior concentração de íons dissolvidos, possivelmente resultante de atividades antrópicas ou do escoamento de substâncias presentes no solo. Esse aumento na condutividade elétrica, assim como nos sólidos dissolvidos totais (TDS), sugere um processo de poluição por substâncias dissolvidas, refletindo a influência de impactos humanos na qualidade da água.

Os dados obtidos corroboram com os resultados encontrados nos estudos de Rocha et al. (2020), em um corpo hídrico urbano da cidade de Manaus, que apresentou valores discrepantes para os parâmetros: TDS e CE, alta concentração com valores de 140 mg/L de TDS e 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE. Embora a Resolução CONAMA 357/2005 não estabeleça limites específicos para a condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos totais, reconhece a relevância desses parâmetros na avaliação da poluição hídrica.,

Além disso, ao comparar esses valores com os registrados em rios do Escudo das Guianas, como descrito por Silva (2013), observa-se uma diferença significativa. Esses rios, como o Rio Negro, apresentam naturalmente baixa condutividade ($<40 \mu\text{S}/\text{cm}$) e baixa mineralização, o que indica que os valores observados podem estar sendo influenciados por fontes externas de contaminação.

A temperatura da água variou entre 26,2°C e 31°C, com uma média de 27,42°C. Esse aumento nas temperaturas registradas em outubro de 2022 pode estar associado à maior incidência de radiação solar e à diminuição das chuvas, o que influencia diretamente outros parâmetros, como o oxigênio dissolvido. Como a água quente tende a reter menos oxigênio, a redução no OD observada no mesmo período pode ser uma consequência desse fenômeno natural. A Resolução CONAMA 357/2005 não especifica limites diretos para a variável de temperatura, mas reconhece que mudanças significativas na temperatura podem afetar a fauna e a flora aquáticas, sendo, portanto, necessário monitorar esse parâmetro de perto.

Dado o exposto, os resultados indicam uma dinâmica sazonal na qualidade da água, com variações influenciadas por fatores naturais, como a precipitação e a temperatura, e por possíveis interferências antrópicas. A turbidez e a condutividade elétrica demonstram correlação com períodos de maior precipitação e escoamento superficial, refletindo a influência de atividades humanas e condições climáticas. A redução do oxigênio dissolvido, por sua vez, levanta preocupações sobre a qualidade do ambiente aquático, sugerindo que, apesar dos esforços de preservação, a gestão da qualidade da água na região ainda precisa de atenção para evitar impactos maiores. A aplicação dos parâmetros da Resolução CONAMA 357/2005 é fundamental para monitorar e mitigar esses impactos, assegurando a saúde dos ecossistemas aquáticos e o bem-estar da população que depende desses recursos. Entretanto, esta resolução não se adequa às características dos rios e corpos hídricos da região amazônica.

3.2.2 Estação de Amostragem B

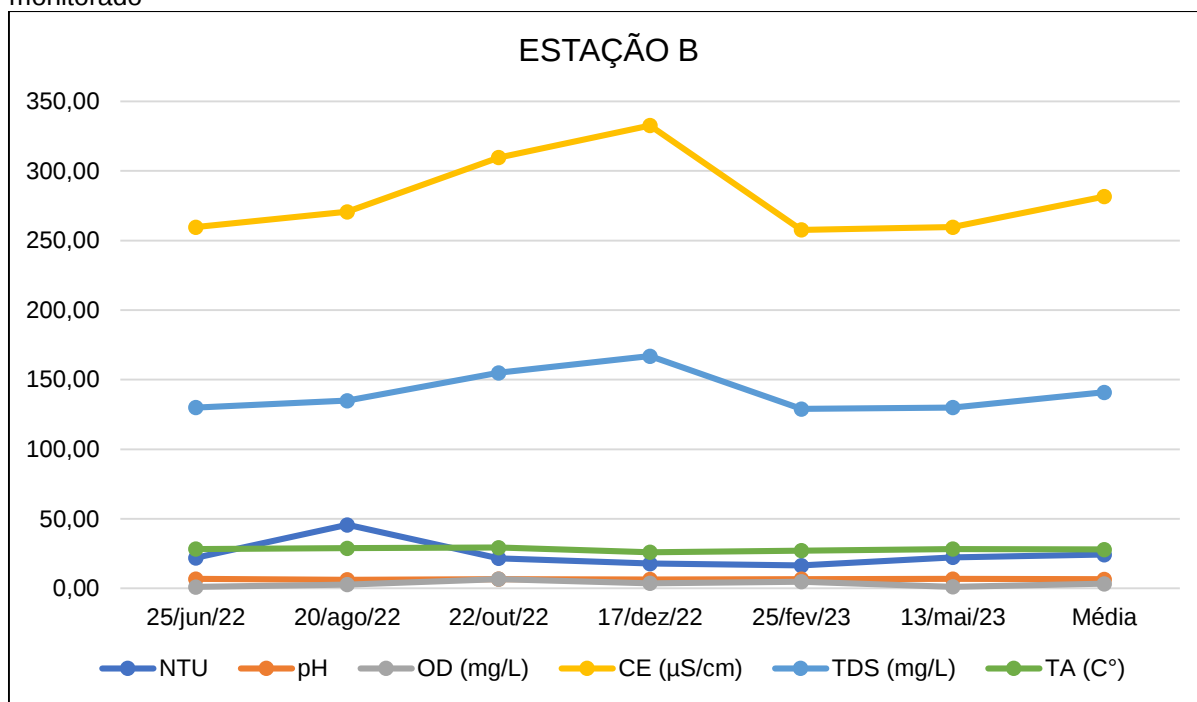
A Tabela 4 e o Gráfico 2, apresentados a seguir, demonstram os resultados das análises físico-químicas realizadas na Estação B ao longo do período observado. Na tabela, estão organizados os valores dos principais parâmetros da água, como turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e temperatura, permitindo uma leitura detalhada das variações ao longo do tempo. Já o gráfico tem como objetivo traduzir essas informações de maneira visual, destacando as oscilações dos indicadores e ajudando a entender como fatores sazonais e ambientais influenciam a qualidade da água na região.

Tabela 4 - Resultados obtidos na Estação de Amostragem B

ESTAÇÃO B						
Data	NTU	pH	OD (mg/L)	CE µS/cm	TDS (mg/L)	TA (C°)
25/jun/22	22,03	6,82	1,10	259,67	130,00	28,30
20/ago/22	45,77	6,32	2,76	270,67	135,00	28,90
22/out/22	21,63	6,71	6,71	309,67	155,00	29,4
17/dez/22	17,90	6,53	3,69	332,67	167,00	26,00
25/fev/23	16,47	6,73	4,84	257,67	129,00	27,20
13/mai/23	22,41	6,85	1,15	259,67	130,00	28,30
Média	24,37	6,66	3,38	281,67	141,00	28,02
DP	10,76	0,20	2,19	31,78	16,09	1,23

Organização: Autora (2024).

Gráfico 2 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água na Estação B ao longo do período monitorado



Organização: Autora (2024).

A qualidade da água na Estação B apresentou variações significativas ao longo do período analisado, refletindo na dinâmica sazonal da região amazônica. Esses padrões variáveis demonstram a forte influência dos ciclos hidrológicos existentes na bacia do Rio Negro, como descrito por Sioli (1985). A transição entre os períodos de seca, enchente, cheia e vazante, proposta por Bittencourt e Amadio (2007), influencia diretamente aspectos como turbidez, oxigenação e a concentração de sólidos dissolvidos, resultando em padrões de qualidade da água que variam de acordo com a estação do ano. Dessa forma, é essencial considerar essas modificações naturais ao monitorar a qualidade dos recursos hídricos da região, especialmente quando comparados aos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que define os padrões de qualidade para diferentes classes de água.

A média do parâmetro de turbidez registrada na Estação B foi de 24,37 NTU, com picos significativos observados durante o período de estiagem, como em agosto de 2022, quando a turbidez atingiu 45,77 NTU. Esse aumento pode ser explicado pela intensificação do escoamento superficial, que, mesmo no período seco, é influenciado pela diminuição do volume de água e pela lixiviação do solo, que transporta partículas para o corpo hídrico. Durante os meses com maior precipitação, como dezembro de 2022 e fevereiro de 2023, a turbidez foi consideravelmente menor, o que sugere uma

diluição maior dos sedimentos no sistema aquático devido ao aumento do fluxo hídrico. Esses dados corroboram com a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece limites rigorosos de turbidez para águas de classe 1 e 2, com o valor máximo de 5 NTU. Embora a turbidez na Estação B tenha superado esse limite, os aumentos observados durante a estação seca são um reflexo das características naturais da região amazônica, que precisam ser analisadas considerando os ciclos hidrológicos específicos da área.

Quanto ao pH, a média registrada foi de 6,66. Esse valor é compatível com o que foi observado no estudo de Viana (2018), que analisou igarapés contaminados da zona urbana de Manaus, e encontrou variações no pH entre 4,29 e 6,85, também corrobora como que foi analisado por Souza (2021), que encontrou 6,74 mV/pH na estação B, indicando a presença de acidez nos corpos hídricos, evidenciando o distanciamento das condições naturais dos cursos d'água, atrelada a disposição de carga orgânica diretamente no corpo hídrico. Essa decomposição libera ácidos húmicos e fúlvicos, que podem influenciar a acidez da água.

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou uma média de 3,38 mg/L, com os menores valores registrados no início e no final do período de monitoramento, como em junho de 2022 (1,1 mg/L) e maio de 2023 (1,15 mg/L). Esses valores baixos podem estar relacionados à decomposição de matéria orgânica, que consome oxigênio e reduz sua concentração na água, um processo mais acentuado durante a cheia e a enchente, quando o nível de água é mais alto e há maior matéria orgânica disponível para decomposição. No entanto, em outubro de 2022, um mês caracterizado pelo período hidrológico seco, foi observado um pico de 6,71 mg/L de oxigênio dissolvido. Esse aumento pode ser atribuído à maior exposição da água à luz solar, favorecendo a fotossíntese e, conseqüentemente, a oxigenação, apesar da redução do fluxo hídrico típico da estação seca. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, para águas de classe 1 e 2, o oxigênio dissolvido deve ser mantido acima de 6,0 mg/L, sendo, portanto, a média observada na Estação B um indicativo de que a qualidade da água pode estar comprometida em certos períodos, exigindo atenção para possíveis fontes de poluição orgânica.

A condutividade elétrica (CE) na Estação B apresentou uma média de 281,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com variações entre 257,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 332,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ao longo do período monitorado. Esses valores são consideravelmente mais altos do que os registrados por Elias e Silva (2001), que encontraram uma média de 215 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em corpos

hídricos de águas pretas alterados na região de Manaus. Essa diferença pode ser atribuída a diversos fatores, como o tipo de solo, a vegetação ao redor e a interação com fontes de poluição. A maior condutividade na Estação B pode indicar a presença de uma carga mineral mais elevada, provavelmente associada a atividades antrópicas na região. Esse padrão reflete uma possível maior concentração de íons dissolvidos na água, o que é consistente com a variação sazonal observada, onde os valores de condutividade aumentam nos períodos de menor precipitação, quando há menor diluição dos íons presentes na água.

A temperatura da água na Estação B variou entre 26°C e 29,4°C, com uma média de 28,02°C, comportando-se de maneira típica para a região amazônica. Durante os períodos de estiagem, a exposição direta da água ao sol tende a elevar a temperatura, enquanto na estação chuvosa, a maior nebulosidade e a entrada de águas mais frias das chuvas contribuem para uma leve queda térmica. A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites diretos para a temperatura da água, mas reconhece que as variações excessivas podem afetar a fauna e a flora aquáticas.

Em síntese, os resultados obtidos para a Estação B refletem a dinâmica ambiental da região amazônica e sua forte conexão com os ciclos hidrológicos locais. A interação entre precipitação, escoamento superficial e processos biogeoquímicos naturais molda a qualidade da água ao longo do tempo. Dado o exposto, os padrões observados na Estação B corroboram as características descritas na literatura sobre os ecossistemas aquáticos amazônicos, destacando a importância de considerar os períodos sazonais na análise da qualidade dos recursos hídricos da região. A aplicação dos parâmetros da Resolução CONAMA 357/2005 continua sendo de suma relevância para garantir a preservação da qualidade da água, assegurando tanto a saúde do ambiente aquático quanto o bem-estar das comunidades que dependem desses recursos. No entanto, esta resolução não se encaixa nos padrões de águas observados e estudados na região amazônica, o que deve ser pensado e reformulado.

3.2.3 Estação de Amostragem C

A Tabela 5 e o Gráfico 3 ilustram as variações ao longo do recorte temporal analisado de 25 de junho de 2022 a 13 de maio de 2023, para turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e temperatura da água,

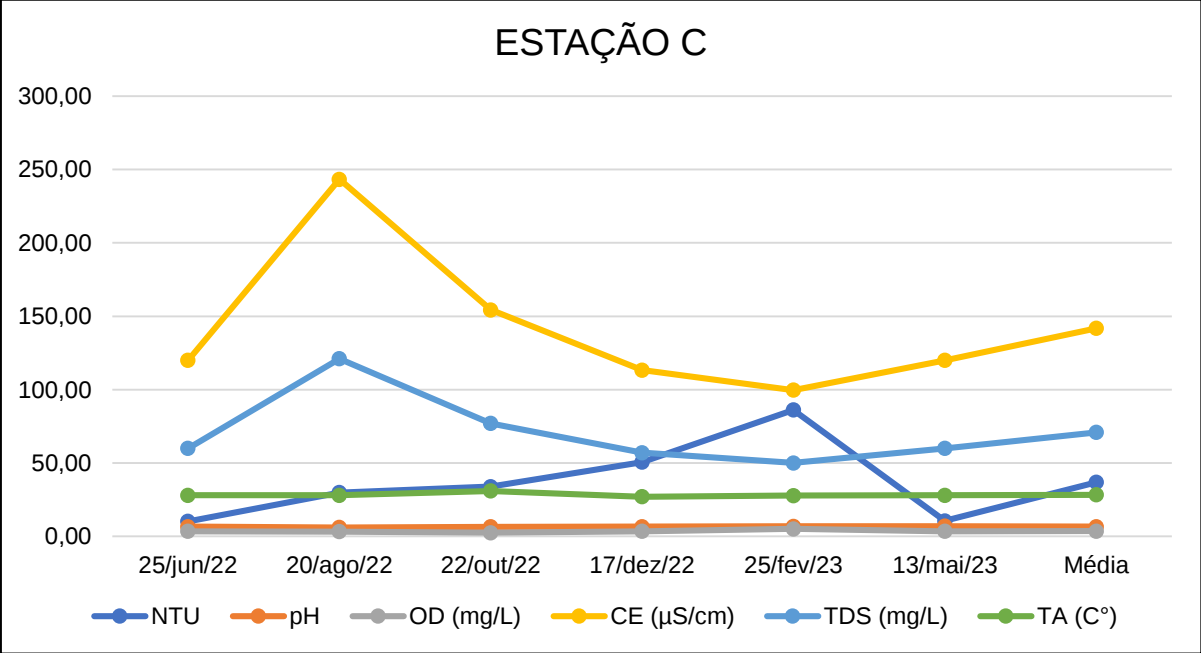
forneendo uma visão detalhada dos fatores que influenciam a qualidade da água nesse ambiente.

Tabela 5 - Dados dos parâmetros físico-químicos da água na esto C

ESTAÇÃO C						
Data	NTU	pH	OD (mg/L)	CE μ S/cm	TDS (mg/L)	TA (C°)
25/jun/22	10,27	6,66	3,42	120,00	60,00	28,00
20/ago/22	29,83	6,04	3,24	243,33	121,00	28,00
22/out/22	33,87	6,48	2,44	154,33	77,00	31,00
17/dez/22	50,63	6,63	3,42	113,33	57,00	27,00
25/fev/23	86,13	6,85	5,10	99,67	50,00	27,80
13/mai/23	10,52	6,91	3,50	120,00	60,00	28,00
Média	36,88	6,60	3,52	141,78	70,83	28,30
DP	28,55	0,31	0,87	52,92	26,13	1,38

Organização: Autora (2024).

Gráfico 3 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água na Esto B ao longo do período monitorado



Organização: Autora (2024).

A análise das variáveis físico-químicas da água na Esto C – Cachoeira Alta do Taram, reflete tanto as dinâmicas naturais do ecossistema amazônico quanto as

influências antrópicas, como a urbanização e as intervenções nas áreas circundantes. A turbidez observada na estação apresentou uma grande variação, com um pico de 86,13 NTU em fevereiro de 2023, contrastam com 10,27 NTU em junho de 2022. Esses aumentos podem ser atribuídos a chuvas intensas e ao transporte de sedimentos para o corpo hídrico, especialmente no período de cheia, quando a água é mais turva devido ao maior escoamento superficial. Estes resultados estão em consonância com os dados de Souza (2021), que já indicavam uma turbidez elevada na Cachoeira Alta, com um valor de 56 NTU na Estação C, refletindo o impacto das intensas chuvas e do regime de cheia dos rios amazônicos. Além disso, a contribuição de sedimentação proveniente de obras de infraestrutura, como o Rodoanel Metropolitano de Manaus - Rapidão, também pode ter intensificado esse processo de sedimentação no corpo hídrico estudado.

A turbidez também deve ser analisada em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005, que define os limites de turbidez para águas de classe 1 e 2 (com valor máximo de 5 NTU), alertando para o impacto que os níveis elevados podem ter sobre a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Os valores elevados observados na Estação C sugerem que, embora a turbidez na região tenha superado esse limite, a explicação para esses aumentos deve considerar não apenas o impacto de atividades humanas, mas também as variações naturais que ocorrem durante o período de cheia.

O pH na Estação C manteve-se relativamente estável, variando entre 6,04 e 6,91, o que é característico das águas pretas da região Amazônica, que possuem uma leve acidez devido à presença significativa de matéria orgânica. Esse valor se aproxima dos resultados encontrados por Soares, Wachholz e Pereira Filho (2023) no Rio Tarumã-Açu (águas pretas), onde as águas de superfície apresentaram um pH médio de $5,35 \pm 0,25$, e corrobora com o valor encontrado por Souza (2021), que estudou a mesma estação de amostragem e encontrou o valor de 6,73 mV/pH, no período hidrológico de cheia dos rios amazônicos e de intensificação de chuvas. Para Souza (2021) um dos principais fatores responsáveis por esse resultado, é a elevada carga orgânica proveniente do lançamento de resíduos domésticos e esgoto nas estações A e B, localizadas a montante. A variação do pH pode ser modulada também pela descarga de efluentes provenientes da área mais urbanizada, conforme indicam os dados da pesquisa, podendo alterar o equilíbrio natural dos ecossistemas aquáticos.

O oxigênio dissolvido (OD) na Estação C variou entre 2,44 mg/L e 5,1 mg/L, com uma média de 3,52 mg/L. A variação dos níveis de oxigênio dissolvido pode estar associada ao aumento da carga de matéria orgânica, o que resulta em maior demanda de oxigênio para processos de decomposição.

Isso pode ser observado nos dados de Souza (2021), onde a Estação C apresentou níveis mais baixos de OD (0,7 mg/L), provavelmente em decorrência da maior carga de matéria orgânica na água durante o período de cheia. A queda nos níveis de OD compromete a saúde dos organismos aquáticos, especialmente aqueles que dependem da concentração de oxigênio, como os peixes e invertebrados.

A condutividade elétrica (CE) na Estação C apresentou uma média de 141,78 $\mu\text{S/cm}$, com um pico de 243,33 $\mu\text{S/cm}$ em agosto de 2022. Esse aumento pode ser atribuído ao escoamento superficial de áreas urbanizadas, que transporta resíduos e poluentes para o igarapé, aumentando a concentração de íons e sólidos dissolvidos. Esse comportamento está de acordo com os dados de Souza (2021), onde a Estação C também apresentou valores de CE (147 $\mu\text{S/cm}$) relativamente elevados, refletindo a poluição proveniente do escoamento de áreas urbanas. A resolução CONAMA 357/2005 recomenda limites para a condutividade elétrica de corpos d'água para preservar a saúde dos ecossistemas aquáticos, e os valores observados indicam que a Estação C pode estar sendo impactada pela urbanização crescente nas áreas adjacentes.

A análise dos sólidos dissolvidos totais (TDS) na Cachoeira Alta, revelou variações significativas, com a maior concentração de 121 mg/L em agosto de 2022, que pode ser explicada pelo aumento do escoamento superficial em áreas urbanizadas. Em dezembro de 2022 e fevereiro de 2023, os valores de TDS diminuíram para 57 mg/L e 50 mg/L, respectivamente, sugerindo que a diluição causada pelas chuvas pode ter reduzido a concentração de sólidos na água. Esses resultados são consistentes com os dados de Soares, Wachholz e Pereira Filho (2023), que também observaram baixa concentração de TDS em águas pretas coletadas no Rio Tarumã-Açu, com uma média de $4,06 \pm 0,87$ mg/L nas amostras de superfície.

A temperatura da água, que variou entre 27°C e 31°C, com uma média de 28,30°C, também apresentou uma correlação com os dados de Souza (2021), que indicaram uma temperatura de 27,86°C na Estação C durante o período de cheia. A temperatura mais elevada em fevereiro de 2023 pode estar associada a um período

atípico, quando a radiação solar foi mais intensa e a evaporação é maior. Esse aumento de temperatura afeta a solubilidade do oxigênio e o metabolismo da fauna aquática, favorecendo a sobrevivência de organismos mais tolerantes ao calor, enquanto prejudica espécies sensíveis a variações térmicas. Além disso, a temperatura mais elevada pode reduzir a capacidade da água em sustentar os organismos aquáticos.

Os resultados ressaltam a complexa interação entre fatores naturais e antrópicos na qualidade da água dos igarapés de Manaus. A pressão urbana e as mudanças climáticas impõem desafios para a preservação dos recursos hídricos na região, exigindo monitoramento constante e estratégias de gestão que integrem as variações sazonais, as atividades humanas e as características naturais dos ecossistemas aquáticos. A comparação dos dados obtidos com os estudos de Soares, Wachholz e Pereira Filho (2023) e de Souza (2021) demonstra a necessidade de uma abordagem integrada para a conservação da água e dos ecossistemas aquáticos locais.

Autores como Silva et al. (2016), Silva, Miranda, Santana (2017) e Soares, Wachholz e Pereira Filho (2023) destacam a necessidade de ajustes nos critérios normativos de qualidade da água, uma vez que os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 nem sempre refletem as condições naturais da Amazônia.

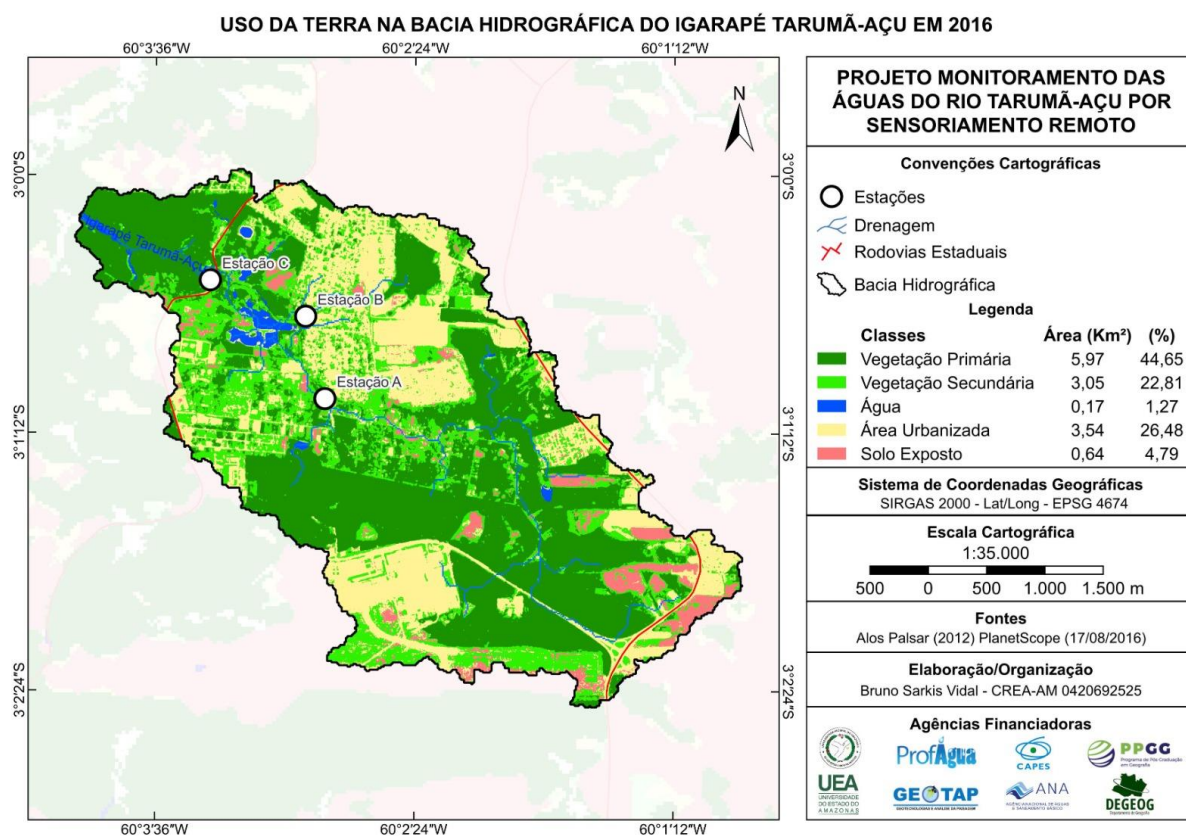
3.3 MODIFICAÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA

A análise temporal das imagens captadas pelo satélite Planet, nos anos de 2016 e 2023, revelam transformações importantes no uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu e ao longo da área que abrange a duplicação da Avenida do Turismo/Estrada do Tarumã em Manaus. Essas mudanças são de fundamental importância para compreender os impactos tanto no ecossistema do corredor ecológico, quanto no desenvolvimento urbano. A investigação dessas alterações visa não apenas detalhar as modificações na paisagem, mas também analisar suas implicações para a dinâmica socioambiental da região.

Em 17 de agosto de 2016, ao analisar as classes de vegetação primária, vegetação secundária, água, área urbanizada e solo exposto no âmbito da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (Figura 16), observou-se que a área de estudo

apresentava 44,65% de vegetação primária. A vegetação secundária ocupava 22,81% do território, enquanto as áreas com presença de água representavam 1,21% da bacia. Além disso, 26,48% da área era composta por regiões urbanizadas, e 4,79% do solo encontrava-se exposto. Esses dados indicam a presença significativa de vegetação natural, especialmente na área que abrange a estação C – Cachoeira Alta do Tarumã, embora a urbanização também se mostrasse crescente, principalmente nas estações de amostragem A e B, refletindo um panorama diversificado de uso e ocupação da terra na região.

Figura 16 – Mapa do uso e cobertura da terra na área de estudo

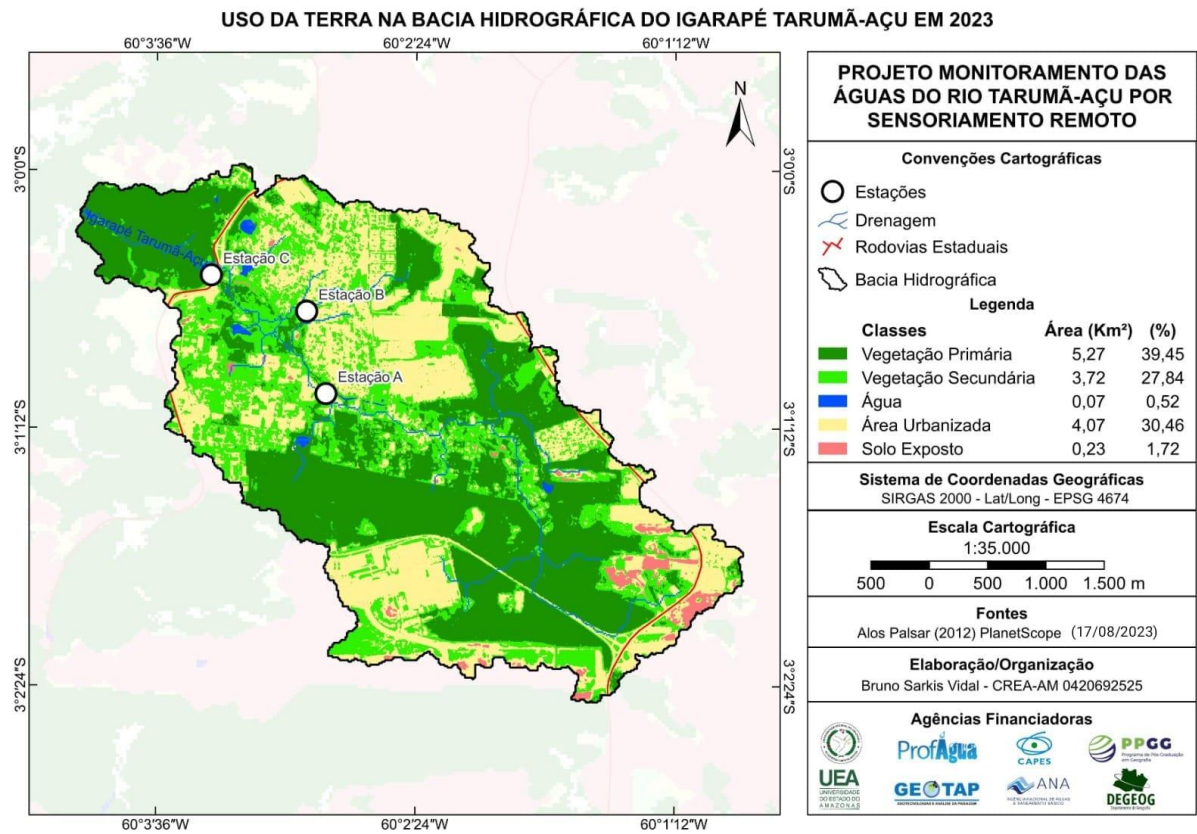


Fontes: Alos Palsar (2012); PlanetScope (2016). Elaboração: Vidal (2024).

No mesmo período de 2023, ao analisar as classes de vegetação primária, vegetação secundária, água, área urbanizada e solo exposto na área da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (Figura 17), observou-se que a área de estudo apresentava 39,45% de vegetação primária. A vegetação secundária ocupava 27,84% do território, enquanto a cobertura por água representava apenas 0,52% da bacia. Além disso, 30,46% da área era composta por regiões urbanizadas, e 1,72% do solo encontrava-se exposto. Esses dados revelam uma diminuição da vegetação primária

e uma expansão das áreas urbanizadas e de vegetação secundária, refletindo mudanças significativas no uso e ocupação do solo na região ao longo do tempo.

Figura 17 – Mapa de uso e cobertura da terra das estações amostrais em 2023



Fontes: Alos Palsar (2012); PlanetScope (2016). Elaboração: Vidal (2024).

Dado o exposto, as variações indicam uma tendência de urbanização e transformação da vegetação natural nas estações A, B e C. A redução da vegetação primária e da cobertura por água, juntamente com o aumento das áreas urbanizadas e da vegetação secundária, refletem o impacto crescente das atividades humanas na bacia hidrográfica e nas três estações de amostragem analisadas, alterando seu uso e ocupação ao longo dos anos de 2016 a 2023.

3.1.1 Imagens oblíquas e verticais da Cachoeira Alta do Tarumã

Nos dias 24 de outubro de 2022 e 30 de junho de 2024, foram capturadas imagens oblíquas e verticais da área da estação C (Cachoeira Alta do Tarumã), com o intuito de evidenciar as transformações ocorridas no uso e cobertura da terra. Essas

imagens, obtidas através de uma aeronave remotamente pilotada, proporcionam uma visão detalhada das mudanças do uso e cobertura da terra ao longo do período.

Em 2022, observa-se (Figura 18) uma predominância de áreas relativamente modificados ao redor da estação C. Notavelmente, áreas com solo exposto estavam associadas às atividades de construção do Rodoanel Metropolitano de Manaus, também denominado de Rapidão.

Figura 18 – Imagem oblíqua da obra do Rodoanel Metropolitano de Manaus



Fonte: Wachholz (24/10/2022).

Observa-se que as modificações e perturbações oriundas das atividades de construção do Rapidão (Figuras 19, 20 e 21), representaram significativos impactos negativos no ambiente, como a remoção de cobertura vegetal, deposição de material e sedimentação de material argiloso no corpo hídrico na estação de amostragem C. Visto que, o material argiloso, carregado pela chuva, acaba sendo depositado no corpo d'água, alterando suas características físicas e químicas.

Figura 19 – Imagem oblíqua vegetação ao entorno da Cachoeira Alta do Tarumã



Fonte: Wachholz (24/10/2022).

Figura 20 – Imagem oblíqua das perturbações ambientais e dos maquinários utilizados



Fonte: Wachholz (24/10/2022).

Figura 21 – Deposição de material na área circundante ao corpo hídrico



Fonte: Wachholz (24/10/2022).

Utilizada muita as vezes para obras de nivelamento e terraplanagem, a deposição de material argiloso na área circundante à Cachoeira Alta do Tarumã e a construção de bordas de cimento (Figura 22) representam intervenções significativas que alteram a estrutura natural e paisagística do lugar. Além, de modificar a composição do solo e afetar a drenagem natural da região, resultam em alterações na qualidade da água, pela deposição de materiais no corpo hídrico e também, modificam a dinâmica dos cursos d'água próximos, impactando diretamente os ecossistemas aquáticos e terrestres.

Figura 22 – Modificações estruturais na cachoeira



Fonte: Wachholz (24/10/2022).

Em relação ao Estudo Ambiental Simplificado (EAS) de 2013, disponível no site do Ipaam, sobre a duplicação da Estrada do Tarumã, a Seinfra enfatiza os impactos ambientais previstos relacionados ao solo. O documento destaca que, a falta de cobertura vegetal expõe o solo a processos erosivos, aumenta sua compactação superficial, reduz a disponibilidade de nutrientes minerais, afeta a fauna e flora locais, e contribui para o aumento da temperatura. Na região do projeto, tais riscos são esperados devido à extensa antropização da área estudada.

Concernente aos corpos hídricos, o documento destaca que:

As características físicas e biológicas da água dos cursos d'água locais encontram-se muito alteradas, devido a grande quantidade de esgotos e resíduos sólidos que são lançados. Desta forma, durante as atividades para execução das obras, deverão ocorrer maior transporte e acúmulo de sedimentos no leito do igarapé e poderá intensificar o seu assoreamento (IPAAM, 2013, p. 164)

A expansão das obras adentrou áreas próximas à Cachoeira Alta do Tarumã modificando e reestruturando o cenário ambiental da região. Esse processo de urbanização e infraestruturação não apenas alterou a paisagem do lugar, mas também implicou em impactos socioambientais, afetando não apenas a vegetação, a qualidade da água e a biodiversidade da região, mas também, os diferentes atores e sujeitos sociais que residem, trabalham e/ou utilizam a área circundante ao Rapidão.

O bairro histórico é caracterizado pela ocupação de representantes de povos e comunidades tradicionais, como mestres de cultura popular, rezadeiras, parteiras e terreiros remanescentes de sítio, além de abrigar centros de religiões ayahuasqueiras amazônicas. Em uma reportagem publicada por João Felipe Serrão, em 12 de maio de 2022, no veículo de jornalismo Eco, é destacado que não apenas a diversidade de fauna e flora são ameaçadas com esta construção, como os diferentes sujeitos sociais que englobam a favela e comunidades urbanas da região (Figura 23).

Figura 23 – Comunidade indígena Nusoken



Fonte: Wachholz (2022).

De acordo com a Seção III do Plano Diretor de Manaus (2021), que trata das Unidades de Conservação Urbanas, destacam-se algumas disposições relevantes para a Cachoeira Alta. Segundo o Art. 66, para fins de estruturação do espaço urbano, são reconhecidas várias unidades de conservação urbana. Entre essas, a unidade ambiental Tarumã/Cachoeira Alta foi reenquadrada em uma nova categoria, passando a ser denominada Parque Tarumã/Cachoeira Alta.

O reenquadramento da Cachoeira Alta como parque visa a implementar medidas de proteção e preservação adequadas, reconhecendo a importância ecológica e ambiental da área. A legislação também estabelece que, em caso de supressão da tutela federal ou estadual das unidades de conservação urbana, o município de Manaus, por meio de ato do Chefe do Executivo, deve adotar medidas provisórias de proteção até que um novo enquadramento seja efetivado por lei municipal, estadual ou federal.

Esse dispositivo legal é crucial para assegurar a proteção ambiental da Cachoeira Alta, destaca-se ainda, a responsabilidade municipal na manutenção e preservação das áreas de conservação, especialmente em períodos de transição de gestão ou mudanças nas categorias de proteção.

O Art. 68 do Plano Diretor de Manaus (2021) estabelece que nas margens dos cursos d'água, especialmente em áreas com remanescentes significativos de vegetação, serão implantadas Zonas de Proteção Ambiental (ZPAs). Essas zonas visam proteger as margens dos rios e igarapés, contribuindo para a preservação da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos.

No caso da Cachoeira Alta do Tarumã, a criação das ZPAs é crucial para assegurar a proteção das nascentes e dos cursos d'água que alimentam a cachoeira, preservando sua integridade ecológica. Além disso, essas zonas de proteção desempenham um papel fundamental no abastecimento hídrico da região, garantindo que a água que chega à cachoeira seja de boa qualidade e que os ecossistemas aquáticos permaneçam saudáveis (Manaus, 2021).

No dia 30 de junho de 2024, período hidrológico que caracteriza o início da descida do rio Negro, foram capturadas imagens aéreas na região circundante à Cachoeira Alta do Tarumã. Na imagem 24, é possível observar a presença de corpos hídricos com colorações distintas, refletindo os impactos da urbanização na região.

Figura 24 – Coloração dos corpos hídricos da região da Cachoeira Alta do Tarumã



Fonte: Wachholz (2024).

Na porção ao norte da figura, é possível observar o primeiro curso d'água possui sua lâmina d'água com coloração esverdeada, com a proximidade de residências e avenida principal do Rodoanel Metropolitano de Manaus – Rapidão. Esta coloração sugere que a água está sofrendo influência de atividades humanas, como o escoamento de resíduos domésticos e possivelmente de materiais de construção. Embora não haja muita presença visível de algas na superfície, a tonalidade da água pode indicar uma carga moderada de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, que são comuns em áreas mais urbanizadas.

Na porção central, o segundo curso d'água é observado com uma coloração barrenta. Essa tonalidade indica que corpo hídrico está sujeito a altos níveis de sedimentação, provavelmente devido a atividades de construção e desmatamento nas proximidades. A coloração barrenta resulta da erosão do solo exposto, que carrega sedimentos para o curso d'água, tornando a água turva e prejudicando sua transparência.

Na porção sudeste, é possível observar um corpo hídrico com uma faixa de vegetação verde na sua lâmina d'água, conhecida como plantas macrófitas. De acordo com Barreto et al. (2013) um dos impactos mais preocupantes da aceleração do processo e classes de eutrofização nos corpos hídricos urbanos é o aumento da

probabilidade de ocorrência de florações de algas, principalmente as cianobactérias potencialmente tóxicas, as quais podem alterar a qualidade da água.

Na figura 25, é observado uma extensa área com solo exposto, indicando um significativo uso da terra próximo à avenida principal do Rodoanel Metropolitano de Manaus. Esse padrão de uso do solo pode estar associado a atividades de construção, urbanização ou outras intervenções humanas que resultaram na remoção da cobertura vegetal e na exposição do solo.

Figura 25 – Remoção da cobertura vegetal no Rodoanel Metropolitano de Manaus



Fonte: Wachholz (2024).

A grande área de solo exposto observada, não apenas altera a paisagem do lugar, mas também, propicia significativos impactos negativos, como aumento da erosão do solo, alterações no ciclo hidrológico local e perda de habitat para a fauna e flora nativas da região. Os impactos observados na Cachoeira Alta do Tarumã corroboram com os resultados preocupantes destacados por Gomes et al. (2019) em seu estudo sobre a duplicação da BR 101 RJ/Norte, que identificaram a fuga da fauna devido a ruídos e vibrações, aumento do efeito de borda, que fragmenta o habitat natural. Essas intervenções alteram a dinâmica das águas superficiais e profundas, reduzem a cobertura vegetal e impactam áreas de preservação e unidades de conservação, colocando em risco espécies ameaçadas e aumentando o potencial de incêndios florestais.

A figura 26, retrata uma área urbanizada da região de estudo, com a presença de habitações simples e diversificadas, predominando casas modestas construídas com materiais de alvenaria, galpões e indústrias.

Figura 26 – Comunidades urbanas diversificadas



Fonte: Wachholz (2024).

A organização espacial da área circundante a região de estufo, evidencia um ambiente predominantemente horizontal, pois não é caracterizada pela presença prédios altos. As estruturas habitacionais refletem a condição socioeconômica dos diferentes sujeitos sociais inseridos no recorte estudado, sugerindo que estão englobados em comunidades urbanas de baixa renda. As ruas são caracterizadas como estreitas e o solo levemente acidentado em algumas áreas, desprovidas de pavimentação adequada, com solo exposto, vegetação de árvores e arbustos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o exposto, além dos impactos imediatos sobre a biodiversidade e os ecossistemas, as consequências de obras do governo, que suprimem áreas verdes e destroem corredores ecológicos, incluindo a devastação de recursos hídricos como cachoeiras, têm implicações profundas para a gestão e planejamento urbano. Com o crescimento contínuo das áreas urbanas, essas intervenções aumentam os desafios ambientais já existentes, afetando a qualidade do ar, da água e comprometendo a resiliência das cidades frente às mudanças climáticas.

Observa-se que, a relação entre a ação antrópica, a qualidade da água e a fauna nos igarapés é clara: as mudanças nas características físico-químicas da água (como o pH, turbidez e condutividade elétrica) são reflexos das pressões urbanas e influenciam diretamente a biodiversidade local.

Com isso, a avaliação geográfica e sistêmica das três estações evidencia a forte influência das atividades humanas na qualidade ambiental dos igarapés urbanos de Manaus. Enquanto as Estações A e B já apresentam impactos severos, com alterações no fluxo e na estrutura do ecossistema, a Estação C ainda mantém algumas características naturais, mas já sofre modificações que indicam risco de degradação progressiva. Esse cenário reforça a necessidade de políticas de conservação dos igarapés, especialmente em áreas urbanizadas, visando minimizar os impactos negativos e preservar a qualidade dos recursos hídricos na região de Manaus.

Visto isto, a preservação, recuperação e criação de áreas verdes e corredores ecológicos emergem, assim, como estratégias cruciais para mitigar esses impactos negativos. Investir em planejamento urbano que incorpore soluções sustentáveis não apenas protege a integridade ecológica, mas também promove ambientes mais saudáveis e resilientes para os moradores urbanos. Essas medidas não só melhoram a qualidade de vida, mas também reduzem os custos associados à gestão de crises ambientais e de saúde pública.

Propõe-se ainda, a revisão e adequação da legislação de padronização e o enquadramento dos corpos hídricos, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, com a inclusão de limites específicos para os rios da Amazônia. Para futuras pesquisas e ações, é fundamental implementar um monitoramento contínuo da qualidade das águas urbanas e do uso e cobertura da terra na região

afetada. Isso permitirá acompanhar as tendências de mudança ao longo do tempo, identificar áreas de intervenção prioritárias e avaliar a eficácia das medidas de mitigação adotadas. Além disso, é necessário fomentar estudos que avaliem os impactos socioeconômicos das intervenções ambientais, integrando as necessidades das comunidades locais com as metas de conservação ambiental.

Dessa forma, ao adotar uma abordagem integrada, baseada em evidências, experimentações e observações, poderemos promover um desenvolvimento urbano mais sustentável para a cidade e Manaus, garantindo um ambiente equilibrado e saudável para as presentes e futuras gerações.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA)**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2012, 264p.
- ALBUQUERQUE, A. R. da C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 7, p. 201–209, 2012a. Disponível em: [//www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1913](http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1913). Acesso em: 18 out. 2023.
- ALBUQUERQUE, C. C. de. **Análise geoecológica da paisagem de várzea na Amazônia Central: um estudo estrutural e funcional no Paraná de Parintins-AM**. 2012b. 224f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ANDRADE, A. O. de. **Análise dos impactos socioambientais na Bacia do Quarenta – Manaus/AM**. 2023. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2023.
- ANTONIO, I. C. Índices climáticos e caracterização climática do entorno de Manaus. **Revista brasileira de Geografia**. v. 50, n. 4, 2017. p. 1120–1133.
- AREB, M. V. **A cidade e as águas enquanto dimensão simbólica entre os habitantes do Igarapé de Educandos - Manaus/AM**. 2022. 147 f. Dissertação (Mestrado em Antropologia Social) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2022.
- BAHIA, V.; FENZL, N.; MORALES, G. P. Caracterização da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Utinga/Belém (PA) - a partir de dados hidrogeoquímicos. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23413>. Acesso em: 13 maio 2024.
- BARRETO, L. et al. Eutrofização em rios brasileiros. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 9, n. 16, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3521>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico**. São Paulo, Instituto de Geografia USP. Cadernos de Ciências da Terra, v. 13, 1972, 27p.
- BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do Rio Solimões – Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta Amazonica**, n. 37, v. 2, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece as diretrizes para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Diário Oficial da União, Brasília, 1986.

BRASIL. **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: DF, 1997, 470p.

BRASIL. **Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Política Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: DF, 1981.

BRASIL. **Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000**. Ministério do Meio Ambiente. SNUC Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2000.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Caderno da Região Hidrográfica Amazônica. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: DF, MMA, 2006a, 124p.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Plano Nacional de Recursos Hídricos: panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil. Brasília: DF, MMA, 2006c, 74p.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Plano Nacional de Áreas Protegidas - PNAP. Brasília: DF, MMA, 2006b.

BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água**. 2. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006d, 150p.

BRASIL. **Resolução Conama nº. 357, de 18 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2005, p. 58-63.

BRICENO, J. L. P.; CÂNDIDO, L. A. Avaliação da Habilidade do Modelo WRF/UCM na Simulação do Clima Urbano de Manaus. **Anais do V congresso de Iniciação Científica do INPA-CONIC**, 2016. p. 157-161.

BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas**. 2. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2012. 264p.

BÜHRING, R. **Estudo da Dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal e elaboração de uma proposta de zoneamento para a Bacia Hidrográfica do Tarumã, Manaus-AM**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Manaus, 2010.

CALLISTO, M. et al. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 14, n. 1, 2002, p. 91-98. Disponível em: https://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents. Acesso em: 20 maio 2021.

CAMPELO, F. R.; SOUZA, J. C. R. de; DRAY, W. T. Impactos do uso e ocupação do solo e do curso d'água no lago Macurany. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 81618–81631, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-550. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/18807>. Acesso em: 26 sep. 2023.

CARDOSO, M. J. S. **Cartografia das atividades de extração de minerais utilizados na construção civil e qualificação do grau de degradação ambiental da região de Manaus-AM**. 2008. 110f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília: UnB-IH-GEA, 2008.

CARNEIRO, C. F. de A. G. Padrões de interação sociedade e natureza: algumas peculiaridades do caso brasileiro. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 17, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/13414/9040>. Acesso em: 20 ago. 2023.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1969; Gaia, 2010.

CETESB. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. Guia Nacional de coleta e preservação de amostra: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB: Brasília: ANA, 2011.

CETESB. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo**. Índice de Qualidade da água (IQA). São Paulo, 2015.

COLARES, I. S. et al. **Uso da terra na bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu**. Boletim da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu. Monitoramento das águas do rio Tarumã-Açu por sensoriamento remoto, Geotecnologias e Análise da Paisagem – GEOTAP, n. 2. ago, 2019, p. 1-2.

COSTA, E. B. S.; SILVA, C. L.; SILVA, M. L. Caracterização física das Bacias Hidrográficas na região de Manaus (AM). **Caminhos da Geografia: Uberlândia**, v. 14, n. 46, 2013. p. 93-100. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/19846/12812>. Acesso em: 10 maio 2021.

COSTA, F. E. V. **Uma experiência amazônica de gestão dos recursos hídricos: a criação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Manaus - AM - Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2011.

COSTA, J. et al. Conflitos na Área de Preservação Ambiental Tarumã-Açu/Tarumã-Mirim: proteger para quem?. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, Fortaleza, 2012,

p. 1-5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54081/1/Agroecologia-Joanne>. Acesso em: 15 jul. 2020.

COSTA, J. S da et al. Estado de conservação e qualidade da água em uma bacia hidrográfica periurbana na Amazônia Central. **Scientia Plena**, v. 17, 2021

COSTA, J. S da. **Potenciais impactos da transformação da paisagem para a gestão da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu (Amazônia Central)**. 130F. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). Universidade do Estado do Amazonas – UEA - Escola Normal Superior - ENS – PROFÁGUA, 2020.

COSTA, E. B. S.; SILVA, C. L.; SILVA, M. L. Caracterização física das Bacias Hidrográficas na região de Manaus (AM). **Caminhos da Geografia**: Uberlândia, v. 14, n. 46, 2013. p. 93-100.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo. Edgard Blucher, 1999, 236p.

DAMASCENO, S. B. **Reestruturação do comitê de bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Manaus, AM**. 2018. 82f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA). Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.

DINIZ, M. T. M. Contribuições ao ensino do método hipotético-dedutivo a estudantes de Geografia. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 107–111, 2015. DOI: 10.5902/2236499412995. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/12995>. Acesso em: 11 nov. 2023.

EUGENIO, F. C. et al. Confronto do uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do rio alegre no município de Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, v. 7, p. 110-126, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Eugenio/publication/44567463_Confronto_do_Uso_e_Cobertura_da_Terra_em_Areas_de_Preservacao_Permanentes_da_Bacia_Hidrografica_do_Rio_Alegre_no_Municipio_de_Alegre_Espirito_Santo/pdf. Acesso em: 03 dez. 2021.

FERREIRA, A. R. A. S. **Gestão de recursos hídricos no Estado do Amazonas: uma análise comparativa**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública). Rio de Janeiro: FGV, p. 114, 2008.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. Análise do uso e cobertura da terra de três sub-bacias hidrográficas-Rio Grande do Sul/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, p. 20-36, 2009.

FIA, R. et al. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 267-275, 2015. https://www.researchgate.net/profile/Fatima-Fia/publication/305306771_Qualidade_da_agua_de_um_ecossistema_lotico_urbano

/links/57cdb3e008ae83b37460e30f/Qualidade-da-agua-de-um-ecossistema-lotico-urbano.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

FIGUR, C.; REIS, J. T. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Ciência e Natura**: Santa Maria, v. 39, n. 2, mai./ago. 2017, p. 352-365. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467551029013>. Acesso em: 12 jul. 2023.

FONSECA, C. P.; FARIA, R. S. Gestão ecológica das águas: uma comparação das diretrizes do Brasil e da Europa. **Ciência & Trópico**, [S. l.], v. 44, n. 1, 2020. DOI: 10.33148/cetropicov44n1. Disponível em: <https://fundaj.emnuvens.com.br/CIC/article/view/1900>. Acesso em: 26 set. 2023

GARCIA, J. M. et al. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 228-254, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/DvNMBqxxQbSvQ4xhtQv36Ts/>. Acesso em: 05 maio 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, M. M. et al. Avaliação de impactos ambientais da duplicação da BR 101 RJ. **Revista Internacional de Ciências**, v. 9, n. 1, p. 22-34, 2019. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/ric/article/view/35980/29036>. Acesso em: 05 jun. 2024.

HARVEY, D. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. Edições Loyola, 1992.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Características da população e domicílios: resultados do universo. Manaus: AM, IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IPAAM. **EAS – VIÁRIO ANEL SUL**. Sistema Viário, Duplicação da Estrada do Tarumã, cidade Manaus – AM, no trecho entre as Avenidas Santos Dumont e Torquato Tapajós, 2013. Disponível em: <https://www.ipaam.am.gov.br/eas-viario-anel-sul/>. Acesso em: 17 maio 2023.

LACHI, A. M. C.; SOUZA, M. G. de; ALBUQUERQUE, A. R. da C. O processo de crescimento urbano e os impactos nas Bacias Hidrográficas do Município de Manaus entre 1860-1990. **Anais do XVI Fórum Ambiental**. Meio ambiente e seus desafios: Estudos Contemporâneos, Alta Paulista, 2020. p. 10.

LEITÃO, M. V. L.; WACHHOLZ, F. Atlas da qualidade da água do baixo Rio Tarumã-Açu – Manaus/AM. **V Seminário Nacional**. Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. 13 a 16 de junho de 2023 – Brasília, DF, 2023.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. de L.; NASCIMENTO, N. de O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 219-228, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/DLtJG9yFQ89CBxKpMpDSyMC/?lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2023.

LIMA, A. R. De et al. Aplicação do protocolo de avaliação rápida (par) na Cachoeira Baixa do Tarumã, Manaus - AM. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [S. l.], v. 16, n. 13, p. e7049, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n13-146. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/7049>. Acesso em: 14 mar. 2025.

MACHADO, A. L. S.; PACHECO, J. B. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica amazônica. **Revista GEONORTE**, v. 1, n. 1, 30 nov. 2010, p. 71 – 89. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1117/1009>. Acesso em: 14 abr. 2023.

MACIEL, A. B. C.; LIMA, Z. M. C. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. **Sociedade e Território**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 159–177, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3505>. Acesso em: 14 nov. 2023.

MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (Orgs.). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. CPRM, Manaus, Amazonas, 2010. 275p.

MAIA, S. A. et al. **Caracterização e localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Manaus-AM**. Boletim da Bacia Hidrográfica do Rio do Tarumã-Açu. Monitoramento das águas do rio Tarumã-Açu por sensoriamento remoto. Geotecnologias e Análise da Paisagem – GEOTAP, n. 1, jul., 2019, p. 1-3.

MALCHER, F. F.; SILVA, J. B. F. S. D.; NOGUEIRA, R. P. Crescimento urbano desordenado: a degradação dos recursos hídricos e a educação ambiental na cidade de Manaus. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 23, 2021. DOI: 10.51189/rema/1702. Disponível em: <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/1702>. Acesso em: 29 dez. 2021.

MANAUS. **Decreto nº. 0022, de 04 de fevereiro de 2009**. Diário Oficial da Prefeitura de Manaus. Poder Executivo, Nº 2140, Ano X. Disponível em: semmas.manaus.am.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/Decreto-022-de-04-de-fevereiro-de-2009.pdf. Acesso em: 13 mar. 2020.

MANAUS. **Legislação Urbanística Municipal**. Plano Diretor Urbano e Ambiental De Manaus E Suas Leis Complementares. **Lei Complementar N° 002, de 16 de Janeiro de 2014**. DISPÕE sobre o Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus e dá outras providências. Manaus, 2021.

MANZATO, A. J.; SANTOS, A. B. **A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa**. Departamento de Ciência da Computação e Estatística. Universidade Federal de Santa Catarina, São José do Rio Preto, 2012.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MELO, S. F. S. **Gestão de Recursos Hídricos no Estado do Amazonas: o Caso da Bacia do Tarumã-Açu**. 2017. 110f. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC. Rio de Janeiro: RJ, 2017.

MELO, S. F. S.; ROMANEL, C. **Gestão de Recursos Hídricos no Estado do Amazonas: O Caso da Bacia do Tarumã-Açu. 29º Encontro Nacional de Saneamento e Meio Ambiente**. Associação dos Engenheiros da Sabesp. São Paulo: AESABESP, 2018. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/04/9640.pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.

MENDONÇA, F. de A. **Geografia Física: ciência humana?** 3ª Ed. São Paulo: Editora Contexto, 2001.

MENDONÇA, F. A. **O estudo do clima urbano no Brasil**. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2003. p. 175-190.

MENEGUZZO, I. S; CHAICOUSKI, A. **Reflexões acerca dos conceitos de degradação ambiental, impacto ambiental e conservação da natureza**. Geografia: Londrina, v. 19, n. 1, 2010, p. 181-185.

MERTEN, G. H; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**: Porto Alegre, v. 3, n. 4, out./dez. 2002, p. 33-38. Disponível em: https://www.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3_n4/artigo2.pdf. Acesso em: 7 abr. 2021.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

NASCIMENTO, F. R. do; SAMPAIO, J. L. Fu. **Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. Revista da casa da geografia de Sobral**, v. 6, n. 1, p. 21, 2005.

NASCIMENTO, W. H. S. **Impactos Ambientais provocados pela implantação de loteamentos urbanos na Área de Proteção Ambiental Tarumã/Ponta Negra no Município de Manaus (AM)**. 2009. 156f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências do Ambiente). Manaus: UFAM, 2009.

NOGUEIRA, A. C. F.; SANSON, F.; PESSOA, K. A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais. **Anais XIII do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**: Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5427-5434. Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.17.45/doc/5427-5434.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2021.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis-Goiás**. (Monografia) Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA, E. G. de. **Análise dos impactos socioambientais nas bacias hidrográficas urbanas das cidades de Tabatinga e Letícia na Amazônia**. 2023. 291 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2023.

OLIVEIRA, E. G. de. **Caracterização dos impactos ambientais na bacia hidrográfica do Espírito Santo/Coari (AM) no período de 1990 a 2010**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

OLIVEIRA, J. F. de. **Monitoramento dos impactos ambientais causados pela extração de areia na região metropolitana de Manaus**. 2020. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, 2020.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. São Carlos. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M.; PEREIRA, M. N. Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o Reservatório de Barra Bonita-SP. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/327598>. Acesso em: 10 dez. 2021.

RAMOS, M. F. L. **Análise do uso da terra e cobertura vegetal: relações com parâmetros de qualidade da água na bacia hidrográfica do igarapé do Cacau Pirêra, Iranduba-AM**. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, 2019.

ROCHA, A. R. et al. Caracterização limnológica dos baixos cursos d' águas do Bolívia e Tarumã-açu, Manaus/AM. In: **Geografia Física e as Mudanças Globais**. 1ed.Fortaleza: Edições UFC, 2019, v. 1, p. 10-22.

ROCHA, C. M. C. et al. Macrófitas aquáticas como parâmetro no monitoramento ambiental da qualidade da água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 970-983, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/232869/26860>. Acesso em: 13 maio 2024.

SANT'ANA, D. (Org.). **Água e o Ambiente Construído**. Atena editora, 2021. DOI: 10.22533/at.ed.710212701

SARAIVA, F. Considerações acerca da pesquisa em geografia física aplicada ao planejamento ambiental a partir de uma perspectiva sistêmica. **RAEGA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 9, 2005.

SAUER, C. O. **A morfologia da paisagem**. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Org.). Paisagem, Tempo e Cultura. Rio de Janeiro: Ed. da UERJ, 1998, p. 12-74.

SILVA, J. A. da. Aplicação de indicadores ambientais para o cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água) em zona urbana de Manaus. 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

SILVA, M. L. **Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio no aquífero de Manaus – Am**. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista. 82 p. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) - Centro de Estudos Ambientais/ Universidade Estadual Paulista. 1999.

SILVA, M. S. R da. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas**: contribuição para o enquadramento e preservação. 2013. 199 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

SILVA, M. S. R. et al. Variáveis Físicas e Químicas de tributários da margem esquerda do rio Amazonas: uma abordagem voltada para gestão. In: FERREIRA, S. J. F.; SILVA, M. L.; PASCOALOTO, D. (org.). **Amazônia das águas**: qualidade, ecologia e educação ambiental. Manaus: Editora Valer/Fapeam/Inpa, 2016. p. 51-67.

SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; SANTANA, G. P. Bacia hidrográfica do rio Amazonas: Condições de suas águas versus resolução No 357/2005. **Revista online: Scientia Amazonia**, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2017. Disponível em: <https://www.scientia-amazonia.org>. Acesso em: 13 mar. 2025.

SIOLI, H. **Amazônia**: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Rio de Janeiro: Vozes, 1985. 72p.

SIQUEIRA, L. F. **Estudo hidrológico do efeito de barramento hidráulico no Rio Tarumã-Açu, Manaus-AM**. 66f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente). Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2019.

SOARES, B. de S.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W. Caracterização do pH, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido no baixo rio Tarumã-Açu (Amazonas, Brasil). **Revista Presença Geográfica**, v. 10, n. 1, p. 140-155, 2023.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo, Instituto de Geografia USP. Métodos em Questão, v. 16, 1977, 51p.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre**. São Paulo, Instituto de Geografia USP. Biogeografia, v. 14, 1978, 23p.

SOUZA, B. S. de. **Impactos ambientais e qualidade dos recursos hídricos: uma análise sobre a Cachoeira Alta do Tarumã (Manaus-AM)**. Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em Geografia. Universidade do Estado do Amazonas, 2022. 70p.

SOUZA FILHO, E. A. et al. Estudo comparativo de aspectos físico-químicos entre águas da microbacia do mindu e igarapés sob influência antrópica na cidade de Manaus-AM. **Revista Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, 2020. p. 2419-2433. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/6156>. Acesso em: 8 jul. 2021.

SOUZA FILHO, E. A. de; NEVES, R. K. R.; BATISTA, I. H.; ALBUQUERQUE, C. C. de. Caracterização físico-química das águas do igarapé do Mindu nos bairros Jorge Teixeira, Conjunto Petros e Parque Dez em Manaus-Amazonas. **GEOFRONTER**, [S. l.], v. 6, n. 1, 2020. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/4398>. Acesso em: 26 set. 2023.

SOUZA, J. R. de et al. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. ISSN 1982-5528. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>>. Acesso em: 07 maio 2023.

SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 263-274, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/LGHjSGCrD9fgGKzFwnnRZhG/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 05 dez. 2021.

SUERTEGARAY, D. M. A. A Geografia Física no final do século XX. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 18, n. 1, 1991.

SPOSITO, E. S. **Geografia e filosofia: contribuição para o ensino do pensamento geográfico**. São Paulo: Editora da UNESP, 2004. 199p.

TEIXEIRA, J. P. **Diagnóstico das nascentes do Alto Curso da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu: subsídios à gestão dos recursos hídricos**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2020.

TORRES, A. T. G.; VIANNA, P. C. G. **Reflexões sobre o conceito da água como mercadoria.** 2008. Disponível em: <http://www.geociencias.ufpb.br/leppan/gepat/files/gepat002.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro IBGE/SUPREN, 1977, 91p.

TRICART, J. **O campo na dialética da Geografia.** In: GUSMÃO PINTO, J. M. (ed.) Reflexões sobre a Geografia. São Paulo, AGB, 1980, p. 97-119.

TUCCI, C. E. M. HESPANHOL, I. CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Gestão da água no Brasil** – Brasília: UNESCO, 2001. 156p.

VARELA, A. W. P. et al. Saneamento básico em municípios da região amazônica (Brasil). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 9, n. 3, pág. e177932570, 2020. DOI: 10.33448 / rsd-v9i3.2570. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2570>. Acesso em: 29 dez. 2021.

VASCONCELOS, M. A.; COSTA, L. A.; OLIVEIRA, M. A F. Estudo da paisagem da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, Manaus, Amazonas, utilizando imagens de radar. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** INPE, João Pessoa: PB, 25 a 29 de abril de 2015, p. 6459- 6466. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1403.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

VIANA, F. M. Qualidade da água dos igarapés urbanos de Manaus: Impactos da contaminação e variações sazonais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6418>. Acesso em: 15 dez. 2024.

VON SPERLING M. Coliformes e pH – médias aritméticas, médias geométricas e medianas. **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa** – PB, 7 p. 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

ZÓZIMO, M. A. D. **O componente físico-natural água na geografia escolar em Anápolis/GO.** 2022. 212 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.

APÊNDICES

Figura 27 – Acervo do trabalho de conclusão do curso de Licenciatura em Geografia – estação C



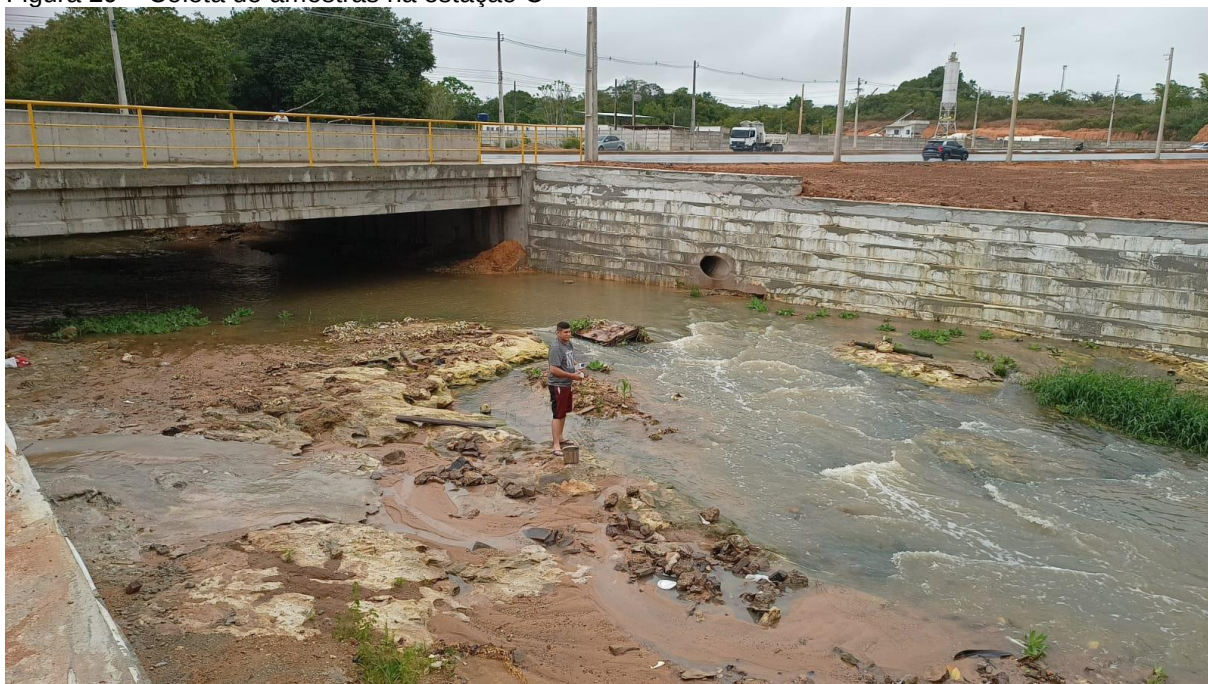
Acervo: 03/06/2021.

Figura 28 – Acervo do trabalho de campo na estação de amostragem C



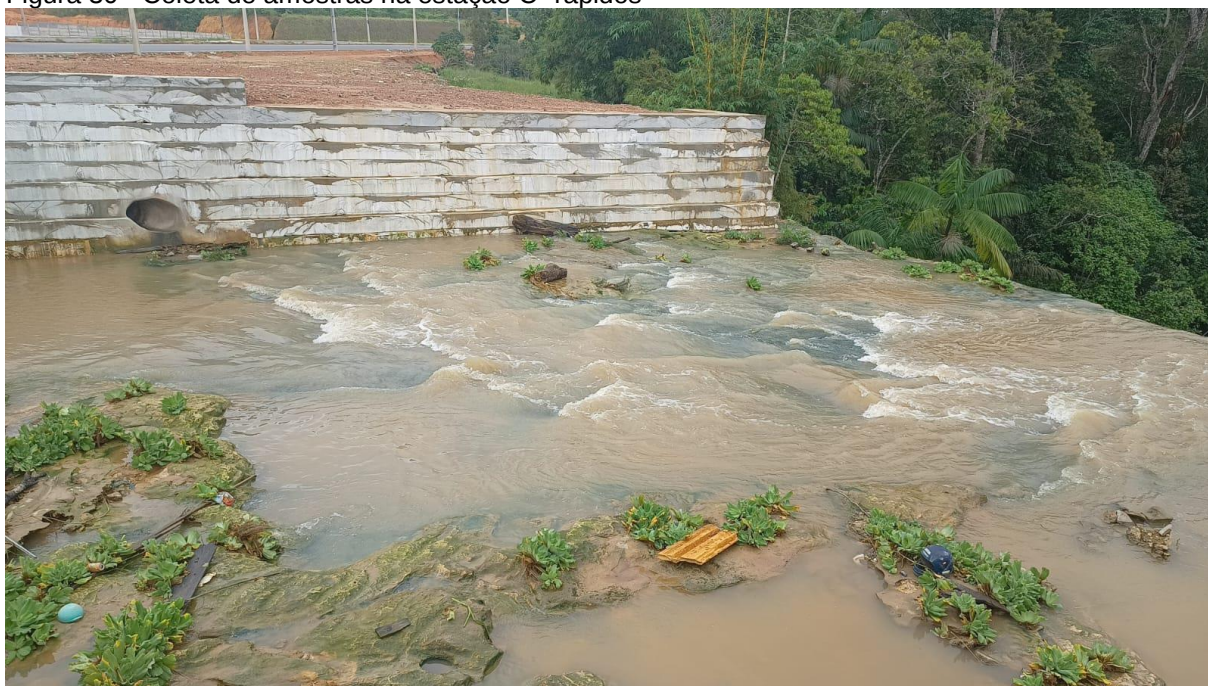
Acervo: 20/08/2022.

Figura 29 – Coleta de amostras na estação C



Acervo: 17/12/2022.

Figura 30 - Coleta de amostras na estação C- rápidos



Acervo: 17/12/2022.

Figura 31 – Estação de amostragem B, margens instáveis



Acervo: 13/05/2023.

Figura 32 - Análises em laboratório de Geografia



Acervo: 13/05/2023.

Figura 33 – Levantamento e imagens aéreas



Acervo: 24/10/2022.

Figura 34– Análise em campo



Acervo: 24/10/2022.

Figura 35 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada, próximo a estação C



Fonte: Wachholz (30/06/2024).

Figura 36 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada, próximo a estação C



Fonte: Wachholz (30/06/2024).

Figura 37 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada, área circundante a estação C



Fonte: Wachholz (30/06/2024).

Figura 38 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada – área habitada circundante a estação C



Fonte: Wachholz (30/06/2024).

Figura 39 – Imagem capturada por aeronave remotamente pilotada – área desflorestada circundante a estação C



Fonte: Wachholz (2024).

ANEXOS

Quadro 4 - Modelo do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR: pontuação de 0 – 4

DESCRIÇÃO DO AMBIENTE			
Localização:			
Data da Coleta: ____/____/____		Hora da Coleta:	
Tempo (situação do dia):			
Largura média:			
Profundidade média:			
Temperatura da água:			
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO		
	4 Pontos	2 pontos	0 ponto
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação natural	Campo de pastagem/Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento	Residencial/ Comercial/ Industrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
3. Alterações antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)	Alterações de origem industrial/urbana (fábricas, siderurgias, canalização, retificação do curso do rio)
4. Cobertura vegetal no leito	Parcial	Total	Ausente
5. Odor da água	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
6. Oleosidade da água	Ausente	Moderada	Abundante
7. Transparência da água	Transparente	Turva/cor de chá-forte	Opaca ou colorida
8. Odor do sedimento (fundo)	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
9. Oleosidade do fundo	Ausente	Moderado	Abundante
10. Tipo de fundo	Pedras/cascalho	Lama/areia	Cimento/canalizado

Fonte: CALLISTO et al. (2002, p. 93).

Quadro 5 - Modelo utilizado do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR: pontuação de 0 – 5

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificados; pedaços de troncos submersos; cascalho ou outros habitats estáveis.	30 a 50% de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos.	10 a 30% de habitats diversificados; disponibilidade de habitats insuficiente; substratos frequentemente modificados.	Menos que 10% de habitats diversificados; ausência de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Extensão de Rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas; rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Frequência de Rápidos	Rápidos relativamente frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos; pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio maior que 25.
14. Tipos de Substrato	Seixos abundantes (prevalecendo em nascentes).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos presentes.	Fundo pedregoso; seixos ou lamoso.
15. Deposição de Lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
16. Depósitos Sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos.
17. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes;	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.

		evidência de modificações há mais de 20 anos.		
18. Características do fluxo das águas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta.	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio; ou menos de 25% do substrato exposto.	Lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos "rápidos" exposto.	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
19. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de desflorestamento; todas as plantas atingindo a altura "normal".	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; desflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo a altura "normal".	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; desflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das plantas atingindo a altura "normal".	Menos de 50% da mata ciliar nativa; desflorestamento muito acentuado.
20. Estabilidade das Margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão; frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem.
21. Extensão de mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc.).	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa.	Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente devido à atividade antrópica.
22. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito.	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídas no rio, substrato com perifiton.	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifiton abundante e biofilme.	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (p.ex. aguapé).

Fonte: CALLISTO et al. (2002, p. 94).