



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

EDUARDO SILVA RIES

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO CACHIMBO: Diagnóstico
Ambiental e Estratégias de Mitigação

Palmas - TO

2025

EDUARDO SILVA RIES

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO CACHIMBO: Diagnóstico
Ambiental e Estratégias de Mitigação

Dissertação de mestrado apresentado à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Mestrado Profissional
em Engenharia Ambiental, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Girlene Figueredo Maciel

Palmas - TO
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S586i SILVA RIES, EDUARDO.
IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO
CACHIMBO: Diagnóstico Ambiental e Estratégias de Mitigação. / EDUARDO
SILVA RIES. – Palmas, TO, 2025.
121 f.
- Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
Profissional em Engenharia Ambiental, 2025.
Orientador: Girlene Figueredo Maciel
1. Diagnóstico ambiental. 2. Urbanização. 3. Impactos Ambientais. 4.
Gestão de Bacias Hidrográficas. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei n° 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

EDUARDO SILVA RIES

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO CACHIMBO: Diagnóstico
Ambiental e Estratégias de Mitigação

Dissertação de mestrado apresentado à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Mestrado Profissional
em Engenharia Ambiental, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Palmas - TO, 12 de março de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Girlene Figueredo Maciel
Fundação Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dra. Roberta Mara de Oliveira Vergara
Fundação Universidade Federal do Tocantins

Dra. Roberta Araújo e Silva
Fundação Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dra. Alice Rocha de Souza
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus amigos que me incentivaram a permanecer na caminhada de crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus pelo dom da vida, pela sabedoria e pela disciplina que me sustentaram ao longo desta jornada. Aos meus pais, agradeço profundamente pela paciência, pelo cuidado constante e pelo apoio incondicional, que me permitiram alcançar mais esta etapa de minha trajetória acadêmica e profissional.

Ao meu orientador, Prof.^a Dr.^a Girlene Figueredo Maciel, registro minha eterna gratidão pela orientação e incentivo, que se estendem desde os primeiros passos da minha graduação em Engenharia Ambiental até a conclusão deste mestrado. Sua dedicação, confiança e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À equipe da Sellos Ambiental, em especial ao Rodrigo Barbosa, agradeço pela oportunidade de crescimento profissional durante o período do mestrado. O apoio, a compreensão e a flexibilidade nos horários foram essenciais para que eu pudesse conciliar minhas responsabilidades acadêmicas e profissionais.

Aos meus amigos Weder e Indira, minha mais sincera gratidão pelo suporte nos momentos mais desafiadores, especialmente quando estive próximo de desistir. Sua amizade, palavras de motivação e apoio incondicional fizeram toda a diferença para que eu seguisse em frente. Por fim, a cada pessoa que, direta ou indiretamente, contribuiu para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

Esta conquista é fruto da colaboração e do apoio de todos que acreditaram em mim.

*"Vai entender!
O homem é um bicho danado
Nunca se conforma com nada
Se tá seco quer chuva
Se tá chovendo quer sol
Se tá quente quer frio
Se tá frio quer calor
O bicho é tão complicado
Que acaba com a nascente
Depois pega um copo d'água
Vai rezar aos pés da cruz
Da árvore que ele cortou
E por isso a nascente secou
Aí implora a Deus por perdão
Volta com o copo vazio na mão
Pega um machado grandão
E vai, de novo, arrumar mais confusão."
Odilon Euzébio*

RESUMO

O diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo, localizada em Palmas, Tocantins, evidenciou impactos ambientais relevantes associados à urbanização desordenada e à ocupação irregular das áreas marginais. A pesquisa adotou uma abordagem metodológica integrada, composta pela aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), análise geoespacial do uso e cobertura do solo e a Matriz de Leopold, visando à identificação e hierarquização dos impactos ambientais. Os resultados indicaram a presença de degradações como ausência de vegetação ciliar, assoreamento por deposição de sedimentos, lançamento inadequado de resíduos sólidos e alterações físicas no canal do córrego, comprometendo a biodiversidade e a funcionalidade hídrica da bacia. A análise temporal dos dados do MapBiomas revelou uma redução de aproximadamente 44% da vegetação nativa entre 1990 e 2023, acompanhada por um avanço significativo da malha urbana. Entre os pontos avaliados, os trechos PAR-2 e PAR-3 apresentaram condições ambientais ruins, caracterizadas por intensa degradação, enquanto os pontos PAR-4, PAR-5, PAR-6 e PAR-7 foram classificados como regulares, demonstrando impactos moderados, mas ainda passíveis de recuperação com medidas adequadas. O ponto PAR-1 destacou-se por manter uma condição boa, com presença de características naturais que favorecem ações de conservação e recuperação ambiental. A urbanização acelerada nos bairros Santo Amaro e Lago Norte foi identificada como principal vetor dos impactos negativos observados, evidenciando a urgência de políticas públicas voltadas à regularização fundiária, infraestrutura de saneamento básico e controle do uso do solo. Como medidas prioritárias, recomendam-se a revegetação com espécies nativas, o controle do escoamento superficial, a ampliação da rede de esgotamento sanitário e a renaturalização de trechos canalizados. Além disso, a implementação de programas de educação ambiental e estratégias integradas de manejo territorial é essencial para mitigar os impactos existentes e promover a sustentabilidade da bacia do Córrego Cachimbo.

Palavras-chave: Diagnóstico ambiental; Urbanização; Impactos ambientais; Gestão de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

The environmental diagnosis of the Cachimbo Stream watershed, located in Palmas, Tocantins, revealed significant environmental impacts associated with unplanned urbanization and the irregular occupation of riparian areas. The study employed an integrated methodological approach, combining the Rapid Assessment Protocol (RAP), geospatial analysis of land use and land cover, and the Leopold Matrix to identify and rank environmental impacts. The results indicated various forms of degradation, including the absence of riparian vegetation, sediment deposition, improper disposal of solid waste, and physical alterations to the stream channel—factors that compromise both biodiversity and the hydrological functionality of the watershed. Temporal analysis based on MapBiomas data revealed a 44% reduction in native vegetation cover between 1990 and 2023, alongside significant urban expansion. Among the evaluated points, sections PAR-2 and PAR-3 were classified as having poor environmental conditions due to severe degradation, while PAR-4, PAR-5, PAR-6, and PAR-7 showed regular conditions, with moderate impacts that are still reversible through appropriate recovery measures. PAR-1 stood out with a good condition, preserving natural characteristics favorable to conservation and restoration efforts. Rapid urban growth in the Santo Amaro and Lago Norte neighborhoods was identified as the main driver of the observed impacts, highlighting the urgent need for public policies focused on land tenure regularization, sanitation infrastructure, and land use control. Priority measures include revegetation with native species, management of surface runoff, expansion of the sanitation network, and stream renaturalization. Furthermore, the implementation of environmental education programs and integrated watershed management strategies is essential to mitigate existing impacts and promote the sustainability of the Cachimbo Stream watershed.

Keywords: *Environmental assessment; Urbanization; Environmental impacts; Watershed management.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Pichação registrada na área de estudo, ilustrando um dos desafios de segurança enfrentados durante a pesquisa de campo.....	38
Figura 2 — Mapa de Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo frente ao município de Palmas e ao Estado do Tocantins.	42
Figura 3 — Mapa de Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo.....	42
Figura 4 — Gráfico de temperaturas médias, máximas e mínimas mensais do município de Palmas - TO.....	45
Figura 5 — Gráfico de precipitação média mensal do município de Palmas - TO.....	46
Figura 6 — Mapa de classificação pedológica na área da sub-bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo.....	46
Figura 7 — Mapa de ambientes geológicos presentes na sub-bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo.....	48
Figura 8 — Mapa de unidades geomorfológicas na área da sub-bacia do Córrego Cachimbo.	49
Figura 9 — Mapa de Altimetria da Área de Estudo.....	50
Figura 10 — Mapa de Localização dos Pontos de Aplicação da Metodologia PAR.....	54
Figura 11 — Vegetação Ciliar (Vista Norte-Oeste): Detalhe da densa vegetação ciliar presente no ponto PAR-1, composta por espécies arbóreas e arbustivas que protegem as margens do córrego contra erosão e sedimentação.	56
Figura 12 — Trilha de Acesso (Vista Nordeste): Registro da trilha de terra que corta a área, utilizada para passagem de veículos e pedestres. Embora de baixo impacto, requer monitoramento para evitar erosão e compactação do solo.....	57
Figura 13 — Vista Geral do Terreno (Sul-Oeste): Área exposta ao redor do córrego, com solo desprovido de vegetação ciliar, indicando a preparação do local para futuras edificações particulares, comprometendo a integridade ambiental do trecho.....	59
Figura 14 — Trecho Preparado para Construção (Norte-Leste): Registro da área compactada próxima ao córrego, onde intervenções para canalização já foram realizadas, evidenciando a ocupação intensiva das margens.....	59
Figura 15 — Detalhe da manilha instalada no leito do córrego, substituindo o curso natural para escoamento de água. A ausência de vegetação e a compactação do solo reforçam os impactos causados pela obra.	60
Figura 16 — Registro da ocupação não planejada nas proximidades do córrego, com estrutura improvisada, resíduos descartados e solo exposto. A intervenção humana neste trecho compromete a qualidade ambiental e agrava os riscos de erosão e assoreamento do canal fluvial."	60
Figura 17 — Condições de moradias precárias com muitos resíduos domésticos espalhados pelo chão.....	61
Figura 18 — Animal doméstico se alimentando de restos de comida ao lado de moradia irregular onde deveria passar o canal natural do Córrego Cachimbo.....	61

Figura 19 — Imagem de uma das nascentes do Córrego Cachimbo preservada em janeiro de 2022.	62
Figura 20 — Imagem Google Earth de Abril de 2022 nas proximidades dos pontos PAR-1, PAR-2 e PAR-3.	63
Figura 21 — Imagem Google Earth de Abril de 2023 nas proximidades dos pontos PAR-1, PAR-2 e PAR-3.	64
Figura 22 — Imagem Google Earth de Dezembro de 2024 nas proximidades dos pontos PAR-1, PAR-2 e PAR-3.	64
Figura 23 — Registro do olho d'água no ponto PAR-3, agora convertido em uma área de água escura, poluída e com galhos secos, evidenciando o processo de degradação ambiental da nascente.	65
Figura 24 — Visão detalhada do olho d'água no ponto PAR-3, cercado por resíduos de vegetação e solo exposto, com água turva e presença de manchas de óleo na superfície.	66
Figura 25 — Lançamento de efluentes domésticos diretamente no olho d'água do Córrego Cachimbo.	66
Figura 26 — Área desmatada próxima ao ponto PAR-3, utilizada como depósito de resíduos sólidos e de construção, agravando a vulnerabilidade ambiental do local.	67
Figura 27 — Vista das margens do Córrego Cachimbo no ponto PAR-4, mostrando a vegetação ciliar e residências particulares próximas.	69
Figura 28 — Estrada de terra que conecta o bairro Santo Amaro ao Lago Norte, próxima ao ponto PAR-4, evidenciando o solo exposto e a ausência de manejo adequado para controle de sedimentos.	69
Figura 29 — Área adjacente ao ponto PAR-4, onde é possível observar vegetação fragmentada e sinais de erosão leve nas margens do córrego.	70
Figura 30 — Vista das margens do córrego no Ponto PAR-5, destacando o descarte irregular de resíduos sólidos, incluindo um sofá, em meio à vegetação ciliar.	71
Figura 31 — Trecho do córrego no Ponto PAR-5, com indícios de assoreamento e presença de resíduos orgânicos e artificiais no leito.	72
Figura 32 — Imagem que mostra a saída do gabião utilizado para conter a erosão e organizar o fluxo hídrico, conectando o sistema de drenagem pluvial ao leito do Córrego Cachimbo. Observa-se vegetação esparsa e evidências de transporte de sedimentos no entorno.	74
Figura 33 — Registro das margens expostas ao redor da saída do gabião, evidenciando a erosão progressiva causada pela força do fluxo das águas pluviais descarregadas no córrego.	74
Figura 34 — Detalhe de uma das margens adjacentes à saída do gabião, mostrando barrancos expostos e indícios de erosão ativa, resultado da força das águas pluviais canalizadas.	75
Figura 35 — Trecho do córrego que recebe a descarga de águas pluviais provenientes do gabião. O local apresenta alterações significativas no leito e nas margens, com sinais de instabilidade e processos erosivos em andamento.	75
Figura 36 — Vista da represa utilizada para pesca recreativa, a montante do PAR-7. A água apresenta alta turbidez, indicando possíveis processos erosivos e transporte de sedimentos advindos do entorno.	77

Figura 37 — Vista geral do trecho avaliado no PAR-7, localizado logo após as manilhas de drenagem que escoam o excesso de água da represa. A vegetação marginal apresenta indícios de recuperação parcial, embora ainda exista solo exposto na margem.	78
Figura 38 — Detalhe do leito do córrego na área de influência do PAR-7. Observam-se rochas e sedimentos que reforçam a estrutura local, mas evidenciam também o impacto do rompimento anterior da represa.	78
Figura 39 — Estrutura de drenagem recentemente instalada pela prefeitura, com manilhas de escoamento do excesso de água da represa. Apesar da intervenção, a presença de sedimentos e erosão é evidente.	79
Gráfico 1 — Critério Avaliado: Estabilidade das margens (Esquerda)	80
Gráfico 2 — Critério Avaliado: Estabilidade das margens (Direita)	80
Gráfico 3 — Critério Avaliado: Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria (Esquerda).....	82
Gráfico 4 — Critério Avaliado: Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria (Direita)	82
Gráfico 5 — Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Esquerda).....	84
Gráfico 6 — Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Direita).....	84
Gráfico 7 — Critério Avaliado: Resíduos Sólidos	86
Gráfico 8 — Critério Avaliado: Esgoto doméstico e efluente industrial	88
Gráfico 9 — Critério Avaliado: Alterações antrópicas no canal fluvial	89
Gráfico 10 — Critério Avaliado: Deposição de sedimentos	91
Gráfico 11 — Critério avaliado: Substratos e/ou habitat disponíveis	92
Gráfico 12 — Critério avaliado: Soterramento	93
Figura 40 — Critério avaliado: Animais Silvestres	95
Figura 41 — Resíduos sólidos urbanos alocados de forma inadequada diretamente no solo - Setor Lago Norte	97
Figura 42 — Local de descarte de resíduos sólidos na bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo	98
Figura 43 — Lançamento de efluentes domésticos diretamente no solo - Setor Lago Norte - Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo	98
Figura 44 — Mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Córrego Cachimbo no ano de 2023.	102
Figura 45 — Mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Córrego Cachimbo no ano de 1990.	102
Figura 46 — Mudanças no uso e cobertura do solo na sub-bacia do Córrego Cachimbo entre 1990 e 2023.	103
Figura 47 — Proporção de uso do solo ao longo dos anos na sub-bacia do Córrego Cachimbo (1990-2023).	104
Figura 48 — Gráfico de tendência de redução da cobertura vegetal e avanço da infraestrutura urbana na sub-bacia do Córrego Cachimbo.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Critérios e pontos aplicados para a execução da metodologia do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios.	30
Quadro 2 — Localização geográfica dos pontos de aplicação da metodologia PAR	51
Quadro 3 — Pontuação obtida em cada ponto de aplicação da metodologia PAR.....	53
Quadro 4 — Estimativa do grau de conservação	53
Quadro 5 — Matriz de Leopold dos Impactos Ambientais registrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APPs	Áreas de Preservação Permanente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
PAR	Protocolo de Avaliação Rápida
PARU	Protocolo de Avaliação Rápida de Rios Urbanos
SBHCC	Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e Orçamento
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: DESAFIOS E CONSEQUÊNCIAS PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA	21
3.2	PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE PALMAS: OS CASOS DOS BAIROS SANTO AMARO I, II E LAGO NORTE E SEUS IMPACTOS NA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO CÓRREGO CACHIMBO	23
3.3	LEGISLAÇÃO E PROTEÇÃO DAS APPS URBANAS EM PALMAS.....	26
3.4	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	28
3.4.1	O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)	28
3.4.2	Matriz de Leopold	32
3.4.3	A Aplicação dos Dados da Coleção 09 do MapBiomias na Avaliação do Uso e Cobertura do Solo em Bacias Hidrográficas: Metodologias, Desafios e Implicações para a Gestão dos Recursos Hídricos	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
4.1.1	Revisão Bibliográfica	35
4.1.2	Análise Geoespacial e Dados Secundários	36
4.1.3	Trabalho de Campo	37
4.1.4	Métodos de Análise	38
4.1.5	Integração dos dados	40
4.1.6	Limitações da Metodologia	40
4.2	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	41
4.2.1	Hidrografia	41
4.2.2	Climatologia	44
4.2.3	Pedologia	46
4.2.4	Geologia e Geomorfologia	47
4.2.5	Altimetria	49
5	RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	51
5.1	APLICAÇÃO DO PAR NO CÓRREGO CACHIMBO	51
5.2	DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DO PAR SEGMENTADA POR PONTO AVALIADO	55
5.2.1	Ponto Avaliado PAR-1	55
5.2.2	Ponto Avaliado PAR-2	57
5.2.3	Ponto Avaliado PAR-3	61
5.2.4	Ponto Avaliado PAR-4	67

5.2.5	Ponto Avaliado PAR-5	70
5.2.6	Ponto Avaliado PAR-6	72
5.2.7	Ponto Avaliado PAR-7	76
5.3	DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DO PAR SEGMENTADA POR CRITÉRIO AVALIADO	79
5.3.1	Estabilidade das margens	79
5.3.2	Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria	81
5.3.3	Ocupação das margens do rio	83
5.3.4	Resíduos Sólidos	85
5.3.5	Esgoto doméstico e efluente industrial	87
5.3.6	Alterações antrópicas no canal fluvial	89
5.3.7	Deposição de sedimentos	91
5.3.8	Substratos e/ou habitat disponíveis	92
5.3.9	Soterramento	93
5.3.10	Animais Silvestres	94
5.3.11	Principais Impactos Ambientais Identificados no Córrego Cachimbo	96
5.4	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS UTILIZANDO A MATRIZ DE LEOPOLD 96	
5.5	USO E COBERTURA DO SOLO	101
5.5.1	Tendências de Urbanização e Redução da Vegetação Natural	101
5.5.2	Comparação Temporal e Impactos	103
6	PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NO CÓRREGO CACHIMBO	106
6.1	ESTRATÉGIAS DE CURTO PRAZO: RESPOSTA IMEDIATA E MONITORAMENTO INICIAL	106
6.2	REMOÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CONTENÇÃO DO ASSOREAMENTO	106
6.3	REFLORESTAMENTO IMEDIATO DAS ÁREAS CILIARES	107
6.4	IMPLANTAÇÃO INICIAL DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL	107
6.5	ESTRATÉGIAS DE MÉDIO PRAZO: RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL E INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA	107
6.5.1	Reestruturação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)	108
6.5.2	Ampliação e Integração do Sistema de Monitoramento	108
6.5.3	Expansão da Infraestrutura de Saneamento e Tratamento de Efluentes ...	108
6.6	ESTRATÉGIAS DE LONGO PRAZO: PLANEJAMENTO INTEGRADO E FORTALECIMENTO INSTITUCIONAL	109
6.6.1	Elaboração de um Plano Integrado de Recursos Hídricos	109
6.6.2	Implantação de um Sistema Avançado de Monitoramento Digital	109
6.6.3	Fortalecimento Institucional e Ampliação da Participação Social	110
6.7	CONTRIBUIÇÕES DAS AÇÕES PROPOSTAS PARA OS IMPACTOS DETECTADOS	110

7	CONCLUSÃO	112
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado tem sido um dos principais desafios ambientais contemporâneos, especialmente no que diz respeito à gestão sustentável das bacias hidrográficas urbanas. A conversão de áreas naturais em superfícies impermeáveis altera o ciclo hidrológico, reduz a infiltração de água no solo, intensifica o escoamento superficial e agrava os processos de erosão e assoreamento dos cursos d'água (Leopold (1968) e Tucci (2003)). No contexto do município de Palmas, Tocantins, esse fenômeno é particularmente evidente em bacias hidrográficas como a do Córrego Cachimbo, que atravessa setores urbanizados e enfrenta desafios crescentes para a conservação dos recursos hídricos e ecológicos. Essas alterações impactam diretamente a qualidade dos recursos hídricos, comprometendo a disponibilidade e o equilíbrio ecológico das bacias, especialmente em áreas sujeitas a intensa urbanização sem planejamento adequado.

No município de Palmas, Tocantins, esse fenômeno é evidente na bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo, localizada na porção norte da cidade, em uma região que tem sofrido transformações expressivas devido à ocupação urbana acelerada. A expansão dos bairros Santo Amaro I, Santo Amaro II e Lago Norte tem provocado a supressão da vegetação ripária, o descarte inadequado de resíduos sólidos e o aumento da carga de poluentes nos corpos hídricos, comprometendo a qualidade ambiental da bacia e sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais (Nogueira, 2017). A ausência de infraestrutura adequada de saneamento e drenagem também agrava os impactos, refletindo na qualidade da água e na capacidade do ecossistema de sustentar suas funções naturais (Rodrigues, 2022).

Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo geral realizar uma avaliação ambiental integrada da bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo, por meio da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), da Matriz de Leopold e da análise temporal de uso e cobertura do solo. Esses métodos combinados possibilitam identificar as principais pressões ambientais, avaliar a vulnerabilidade do sistema hídrico e fornecer subsídios técnicos para o planejamento urbano sustentável.

A escolha do Córrego Cachimbo como objeto de estudo justifica-se pela sua relevância ambiental e social dentro do município de Palmas, além de ser uma região altamente representativa dos impactos da urbanização desordenada em bacias hidrográficas urbanas. A aplicação do PAR permite uma avaliação qualitativa rápida e eficaz das condições ambientais, integrando múltiplos parâmetros que auxiliam na compreensão dos processos de

degradação (Marcionilio *et al.*, 2020). Ademais, a análise temporal da cobertura do solo proporciona uma visão ampliada das transformações espaciais ocorridas ao longo dos anos, permitindo correlacionar as mudanças ambientais às atividades humanas na região (Da Silva *et al.*, 2023).

Considerando os impactos observados em bacias hidrográficas urbanas e os dados preliminares da área de estudo, parte-se da hipótese de que os trechos da bacia do Córrego Cachimbo com maior grau de urbanização apresentam índices reduzidos de conservação ambiental, refletidos em baixa estabilidade das margens, ausência de vegetação ripária, deposição excessiva de sedimentos e lançamento de efluentes não tratados. Espera-se que os dados obtidos pelo PAR e pela Matriz de Leopold confirmem a correlação entre o avanço da urbanização desordenada e a degradação ambiental, evidenciando a necessidade de implementação de estratégias de recuperação e mitigação dos impactos.

Para atender a esse objetivo, a estrutura da dissertação está organizada da seguinte forma:

O Capítulo 2 - Objetivos detalha o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, os quais orientam a aplicação dos métodos e a análise dos resultados.

O Capítulo 3 - Referencial Teórico contextualiza os impactos da urbanização em bacias hidrográficas urbanas, apresentando estudos sobre as consequências da impermeabilização do solo, remoção da vegetação ripária e contaminação dos recursos hídricos. Além disso, são discutidos os métodos adotados na pesquisa, com ênfase no Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) e na Matriz de Leopold, destacando sua aplicabilidade na análise de impactos ambientais urbanos.

O Capítulo 4 - Materiais e Métodos descreve a abordagem metodológica utilizada no estudo. Inicialmente, são apresentados os procedimentos de análise geoespacial e o processamento de dados secundários, como imagens do MapBiomas para análise do uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Em seguida, detalha-se a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que permite a caracterização qualitativa dos pontos monitorados no córrego, e da Matriz de Leopold, utilizada para classificar e hierarquizar os impactos ambientais registrados. Além disso, é apresentada a metodologia para elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental, integrando informações sobre as condições do solo, proximidade com áreas urbanizadas e cobertura vegetal.

O Capítulo 5 - Resultados apresenta e discute os achados da pesquisa. Primeiramente, são descritos os resultados obtidos na aplicação do PAR, evidenciando os níveis de conservação

da bacia e identificando os principais fatores de degradação. Em seguida, a Matriz de Leopold é utilizada para sistematizar e avaliar os impactos ambientais detectados, permitindo uma compreensão mais aprofundada da magnitude e relevância dos danos ambientais. A análise temporal do uso e cobertura do solo é então explorada, demonstrando a evolução da ocupação na bacia e seus efeitos sobre a paisagem. Por fim, o mapa de vulnerabilidade ambiental sintetiza as informações obtidas, indicando as áreas mais suscetíveis à degradação e sugerindo regiões prioritárias para ações de mitigação.

O Capítulo 6 - Propostas de Mitigação e Recuperação traz diretrizes para minimizar os impactos identificados e recuperar áreas degradadas. São sugeridas medidas como revegetação de áreas ripárias, controle do escoamento superficial, ampliação da infraestrutura de saneamento e renaturalização de trechos canalizados. Além disso, estratégias de planejamento urbano sustentável e programas de educação ambiental são propostos para aumentar a conscientização da população e promover a participação comunitária na conservação dos recursos hídricos.

O Capítulo 7 - Conclusão sintetiza as principais contribuições da pesquisa, destacando sua relevância para a gestão ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo. Também são apresentadas recomendações para futuras pesquisas, enfatizando a importância do monitoramento contínuo e da implementação de políticas públicas voltadas à conservação dos ecossistemas urbanos.

Ao integrar diferentes metodologias de análise e diagnóstico ambiental, esta pesquisa reforça a importância de abordagens interdisciplinares para a gestão sustentável de bacias hidrográficas urbanas. A aplicação conjunta do Protocolo de Avaliação Rápida, da Matriz de Leopold e da análise geoespacial possibilita uma visão abrangente dos impactos ambientais na bacia do Córrego Cachimbo, fornecendo informações essenciais para a formulação de políticas públicas e estratégias de mitigação. Dessa forma, este estudo contribui para a busca por soluções que conciliem o desenvolvimento urbano com a preservação dos recursos hídricos, promovendo uma ocupação territorial mais equilibrada e sustentável.

2 OBJETIVOS

Avaliar as condições ambientais da bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo, em Palmas - TO, por meio da aplicação de metodologias integradas para diagnóstico ambiental, análise da evolução do uso e cobertura do solo e identificação de áreas vulneráveis, propondo estratégias eficazes para mitigação e recuperação ambiental.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar as condições ambientais da bacia hidrográfica por meio da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), identificando os principais fatores de degradação e suas relações com a ocupação e uso do solo na bacia.
- Analisar e classificar os impactos ambientais utilizando a Matriz de Leopold e o método checklist, hierarquizando as pressões antrópicas sobre os recursos hídricos, a vegetação ripária e a qualidade do solo.
- Investigar a evolução do uso e cobertura do solo entre 1990 e 2023, com base nos dados do MapBiomas, avaliando as mudanças espaciais e suas implicações na estabilidade ecológica e hidrológica da bacia.
- Propor diretrizes para mitigação dos impactos ambientais, incluindo estratégias para restauração ecológica, revegetação ripária, controle da erosão e assoreamento, implementação de medidas de saneamento ambiental e ações de educação ambiental voltadas à sensibilização da comunidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: DESAFIOS E CONSEQUÊNCIAS PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Os impactos da urbanização em bacias hidrográficas urbanas são multifacetados, envolvendo aspectos como poluição, assoreamento e impermeabilização do solo, que são exacerbados pela ocupação irregular e falta de planejamento urbano adequado. Segundo Tucci (2003), a urbanização está associada ao aumento do escoamento superficial e à redução da infiltração de água no solo, o que acarreta uma série de consequências hidrológicas. A impermeabilização do solo, resultante da urbanização, diminui a capacidade de retenção de água, aumentando a frequência e a intensidade de enchentes (Leopold, 1968). A hidrologia urbana estuda esses efeitos, identificando como a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis altera significativamente o ciclo hidrológico, aumentando a frequência e a magnitude de eventos como inundações e alagamentos.

Um exemplo claro desses impactos está nas bacias dos residenciais Torquato Neto, em Teresina, Piauí, onde o processo de ocupação foi dissociado da hidrografia local, demonstrando como a falta de planejamento urbano adequado pode agravar problemas hidrológicos. Essa situação resultou em impermeabilização intensa do solo e aumento da velocidade e volume do escoamento superficial, intensificando a magnitude e frequência dos alagamentos urbanos, refletindo a incapacidade do sistema de drenagem para gerenciar esses volumes adicionais (Araújo; Albuquerque, 2022).

No município de Caxias do Sul, RS, a ocupação irregular nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) da bacia do Arroio Faxinal exemplifica como o crescimento desordenado pode contribuir para a degradação dos recursos hídricos, ao comprometer a capacidade de retenção de água e aumentar a erosão. A urbanização sem a infraestrutura necessária compromete a segurança hídrica, levando à poluição dos cursos d'água e ameaçando a sustentabilidade ambiental. Essa situação destaca a necessidade de intervenções públicas para conter o avanço da ocupação e preservar os recursos hídricos (Machado *et al.*, 2022).

Problemas semelhantes também foram observados em Açailândia, Maranhão, onde a falta de dimensionamento adequado de bueiros, sarjetas e galerias, juntamente com a urbanização descontrolada, contribuiu significativamente para os alagamentos frequentes em pontos críticos da cidade. Esse cenário evidencia a necessidade de infraestrutura verde e

planejamento urbano eficaz para mitigar os impactos da urbanização (De Souza *et al.*, 2023). Essa situação evidenciou a importância do planejamento urbano adequado para a mitigação dos problemas de drenagem urbana e alagamentos (De Souza *et al.*, 2023).

Outro exemplo marcante está nos riachos urbanos de Recife, PE, onde a urbanização intensa e o revestimento artificial das margens contribuíram diretamente para a degradação da qualidade da água. A impermeabilização das áreas adjacentes, somada à canalização dos cursos d'água, altera o ciclo natural de infiltração e compromete a capacidade de purificação dos corpos hídricos.

A canalização e o revestimento desses riachos resultaram na alteração do habitat natural e na perda de serviços ecossistêmicos, como a capacidade de purificação da água e de regulação do fluxo hídrico. Análises da água dos riachos Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim demonstraram qualidade ruim ou péssima, evidenciando o aporte de material orgânico e fecal, o que reflete o impacto direto da urbanização desordenada sobre os ecossistemas aquáticos (De Carvalho Filho *et al.*, 2024). Esses resultados são consistentes com o descrito por Tucci (2003) que destaca como a urbanização contribui para a degradação da qualidade da água.

Na cidade de Santa Cruz de Minas, MG, a ocupação urbana da planície de inundação do Rio das Mortes resultou em problemas recorrentes de inundações, principalmente devido à redução da capacidade de infiltração e ao aumento da área impermeabilizada. A falta de percepção por parte dos moradores sobre os riscos da ocupação irregular, combinada com a pouca abordagem desse tema nas escolas, contribuiu para a continuidade do problema, aumentando o escoamento superficial, diminuindo a capacidade de infiltração do solo e, conseqüentemente, agravando as enchentes locais. Isso levou ao transbordamento das águas, agravando os riscos de enchentes (Carvalho; Leão; Ladeira, 2024).

Considerando o município de Palmas, TO, Dos Santos (2015) detalhou os impactos ambientais ocorridos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tiúba em Palmas -TO, indicando que a área estava submetida a pressões da expansão urbana desordenada ocasionando redução da cobertura vegetal, contaminação do solo e da água além de ocorrência de processos erosivos e assoreamento dos corpos hídricos. Lima *et al.* (2017) demonstrou que a Bacia Hidrográfica do Córrego Sussuapara em Palmas - TO tem sido afetada com a remoção da vegetação ciliar, queimadas, formação de processos erosivos, deposição irregular de resíduos sólidos urbanos e poluição por efluentes líquidos difusos transportados através da rede de drenagem pluvial.

Rodrigues (2022) elaborou um amplo detalhamento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das principais bacias hidrográficas do município de Palmas, TO, e indicou que, os

córregos urbanos possuem concentrações de *Escherichia coli* e coliformes totais acima dos limites permitidos para corpos d'água classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA 357/05 e destacou que o uso e ocupação do solo impactam no ciclo hidrológico e na qualidade da água, pois o escoamento superficial, evapotranspiração, infiltração, propagação de sedimentos, recarga, drenagem e descarga de esgoto são condições que alcançam e intervêm nas bacias hidrográficas. Os efeitos combinados da poluição urbana e do desempenho hidrológico, demonstram que os serviços dos ecossistemas aquáticos, como absorção de nutrientes ou decomposição de matéria orgânica, são prejudicados por entradas de esgoto, especialmente no caso de esgoto não tratado, levando ao empobrecimento da biota dentro desses ecossistemas.

Por fim, na cidade de Teresina, PI, a urbanização afetou drasticamente o ciclo hidrológico das sub-bacias urbanas, intensificando os problemas de drenagem. Para mitigar esses impactos, o uso de reservatórios de retenção tem sido uma das estratégias adotadas. No entanto, a aplicação de equações empíricas para estimar o volume desses reservatórios demonstrou limitações, levando a resultados superestimados e onerando a execução das estruturas necessárias para controle da drenagem (Monteiro; Da Silva; Bezerra, 2022).

Esses exemplos destacam como a urbanização, quando não acompanhada de medidas adequadas de planejamento e gestão ambiental, resulta em poluição, assoreamento e impermeabilização, contribuindo para a degradação dos recursos hídricos urbanos e aumentando os riscos de eventos como inundações e perda da qualidade da água. Estudos como os de Leopold (1968) e Tucci (2003) reforçam a importância de um planejamento urbano que considere os impactos sobre o ciclo hidrológico. Assim, uma abordagem integrada e sustentável no planejamento urbano e na gestão das bacias hidrográficas se mostra essencial para mitigar esses impactos e garantir a segurança hídrica nas cidades. A necessidade de medidas como infraestrutura verde, zonas de retenção de água e controle do uso do solo é evidenciada em diversos estudos, reforçando a importância de integrar práticas sustentáveis e técnicas de engenharia para reduzir os impactos da urbanização (Leopold, 1968; Tucci, 2003).

3.2 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE PALMAS: OS CASOS DOS BAIRROS SANTO AMARO I, II E LAGO NORTE E SEUS IMPACTOS NA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO CÓRREGO CACHIMBO

A cidade de Palmas, capital administrativa do Estado do Tocantins, teve o lançamento de sua pedra fundamental ocorrido no dia 20 de maio de 1989, em 2023, apenas 34 anos depois, o Censo do IBGE estima uma população de 323.625 habitantes (Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística, 2024).

Apesar de ter sido planejada, a cidade passou por um processo de ocupação problemático, semelhante ao das demais cidades brasileiras. Esse crescimento urbano desordenado resultou na ocupação irregular de diversas áreas, muitas das quais ambientalmente sensíveis, como a bacia do Córrego Cachimbo, comprometendo seus recursos hídricos e sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais.

Segundo Nogueira (2017) :

Palmas apresenta contraditoriamente um antigo modelo de cidade brasileira que reconstrói os problemas das periferias urbanas com ausência de serviços públicos, e de exclusão sócio-espacial da população de baixa renda, com baixos índices de desenvolvimento econômico, e precariedade nas estruturas sócio-espaciais, em que os indivíduos com baixo poder aquisitivo são expulsos para a periferia com infraestrutura urbana desprovida dos principais serviços necessários (Nogueira, 2017, p. 44).

A autora complementa:

Observando o cenário de ocupação populacional em Palmas, [...] é possível constatar a olho nu, grandes vazios urbanos, dentro do Plano Diretor, e a formação de núcleos descontínuos e próximos, em seu entorno, como é o exemplo dos Setores Santo Amaro I, II e o setor Lago Norte. [...] Nesse sentido, analisando o processo de formação, ocupação e produção do espaço urbano de Palmas, observa - se, que ao longo de sua trajetória ocorreram transformações espaciais que modificaram extremamente o planejamento inicial desta cidade, em virtude de migrações das camadas sociais ficarem limitadas ao acesso de moradia imposto pelo mercado imobiliário capitalista. (Nogueira, 2017, p. 21).

Desde os primeiros anos de Palmas, a população de menor poder aquisitivo foi gradualmente afastada das áreas centrais da cidade, ocupando áreas periféricas e, em muitos casos, ambientalmente frágeis. Esse fenômeno resultou na ocupação desordenada de regiões adjacentes a cursos d'água, como ocorre na bacia do Córrego Cachimbo, onde a supressão da

vegetação ripária, o descarte inadequado de resíduos e a ausência de infraestrutura básica contribuíram significativamente para a degradação do meio ambiente.

Coriolano (2011) descreve uma situação emblemática ocorrida nos primeiros anos da cidade:

Com o aumento do número de migrantes, o Estado utilizou como estratégia para manter a população de baixa renda fora do plano urbanístico, barreiras policiais nas entradas da cidade, que visavam manter as famílias de baixo poder aquisitivo longe da cidade planejada [...], à revelia do plano urbanístico. A implantação da cidade ocorreu, por consequência, de maneira esparsa, provocando vazios urbanos e a prática da especulação imobiliária. (Coriolano, 2011, p. 64).

Esse processo de ocupação irregular, sem o devido planejamento territorial e ambiental, resultou em diversos impactos negativos na bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo. A degradação ambiental observada na bacia está diretamente ligada à pressão antrópica exercida pela expansão urbana descontrolada dos bairros Santo Amaro I, II e Lago Norte, os quais foram implantados em áreas sem infraestrutura adequada e sem considerar fatores ambientais críticos, como topografia, vegetação e hidrografia.

Os setores Santo Amaro I e II estão situados na região norte de Palmas, entre a ARNE 61, as margens da Avenida LO-08 (Avenida Parque) e o Córrego Cachimbo, ocupando uma área de 45,8793 hectares. A ocupação teve início nos anos 2000, originada pelo loteamento de chácaras remanescentes do Loteamento Água Fria 3ª etapa.

Desde o início, o bairro se desenvolveu sem infraestrutura adequada, resultando na supressão da vegetação ciliar do Córrego Cachimbo, agravando processos de erosão e assoreamento. A precariedade dos serviços urbanos, como drenagem pluvial ineficiente e ausência de esgotamento sanitário, intensificou a contaminação do solo e da água, afetando a qualidade do córrego. Atualmente, o bairro conta com cerca de 450 famílias e passou por um processo de regularização fundiária, com implantação de pavimentação asfáltica e abastecimento de água (Nogueira, 2017). No entanto, as pressões ambientais sobre a bacia permanecem evidentes, com a continuidade de lançamento de esgoto doméstico sem tratamento e deposição de resíduos sólidos em áreas próximas ao curso d'água.

O setor Lago Norte, localizado ao lado do Santo Amaro, entre os córregos Cachimbo e Brejão, também nasceu de uma ocupação irregular iniciada pelo microparcelamento de chácaras remanescentes do Loteamento Água Fria 3ª etapa. O bairro ocupa uma área de 96,9510 hectares, anteriormente destinada a atividades rurais. Atualmente, cerca de 2.000 habitantes residem no

local, onde a precariedade da infraestrutura urbana compromete ainda mais a qualidade ambiental do Córrego Cachimbo.

Ao contrário do Santo Amaro, o Lago Norte ainda não passou por um processo de regularização fundiária, o que agrava os problemas ambientais da região. A ausência de pavimentação e drenagem pluvial contribui diretamente para a erosão do solo e o carreamento de sedimentos para o córrego. Além disso, a falta de esgotamento sanitário resulta no lançamento de efluentes domésticos diretamente nos cursos d'água, elevando a carga de poluentes e comprometendo a qualidade da água.

Segundo levantamento de Nogueira (2017), a população residente nos setores Santo Amaro e Lago Norte é predominantemente de baixa renda. No Santo Amaro II, 50% da população vive com renda inferior a um salário mínimo, enquanto no Lago Norte 46% dos moradores sobrevivem com um salário mínimo mensal. Essa vulnerabilidade socioeconômica dificulta a implementação de práticas sustentáveis na região, tornando a recuperação ambiental ainda mais desafiadora.

A ocupação irregular dos bairros Santo Amaro I, II e Lago Norte não apenas reflete um problema social e urbanístico, mas também um grave impacto ambiental na bacia do Córrego Cachimbo. A conversão da paisagem natural em áreas urbanizadas sem planejamento adequado resultou na supressão da vegetação ripária, no aumento da erosão, no assoreamento do leito fluvial e na degradação da qualidade da água.

Embora algumas iniciativas de infraestrutura tenham sido implementadas no Santo Amaro, a ausência de um planejamento ambiental efetivo ainda compromete a integridade ecológica da bacia. O Lago Norte, por sua vez, permanece em estado crítico, com ausência de saneamento básico e infraestrutura urbana, agravando a contaminação dos cursos d'água.

Portanto, a urbanização desordenada da bacia do Córrego Cachimbo exige medidas urgentes de recuperação ambiental e planejamento sustentável, evitando que o processo de degradação se intensifique e comprometa ainda mais os recursos hídricos da região.

3.3 LEGISLAÇÃO E PROTEÇÃO DAS APPS URBANAS EM PALMAS

A proteção das nascentes e dos córregos urbanos em Palmas, Tocantins, encontra respaldo tanto no Código Florestal – Lei nº 12.651/2012 – quanto em normas municipais específicas. O Código Florestal estabelece diretrizes gerais para a proteção de áreas de

preservação permanente (APP) e, para cursos d'água com 10 m ou mais de largura, determina uma faixa mínima de 50 m a partir da borda da calha do leito regular, visando assegurar a integridade dos recursos hídricos e a manutenção dos processos ecológicos. Essa regra, porém, foi concebida em um contexto predominantemente rural e, em áreas urbanas, sua aplicação pode gerar conflitos com as demandas de ocupação do solo (Brasil, 2012).

Por outro lado, a legislação municipal de Palmas, conforme disposto na Lei Complementar nº 155, de 28 de dezembro de 2007 (Palmas, 2007) – e complementada pelo Plano Diretor Participativo da Lei Complementar nº 400, de 2 de abril de 2018 (Palmas, 2018) –, adapta as diretrizes federais à realidade local. Nesse contexto, para qualquer curso d'água natural perene e intermitente situado na área urbana, a norma municipal estipula uma faixa de proteção de 42 m a partir da borda da calha do leito regular. Essa medida busca equilibrar a necessidade de proteção ambiental com as restrições impostas pelo espaço urbano, ajustando os parâmetros de preservação à realidade da cidade.

No que tange ao córrego Cachimbo – objeto do trabalho –, a proteção municipal de 42 m demonstra uma abordagem específica para os cursos d'água em áreas urbanas. Embora o Código Florestal preveja uma faixa de 50 m para cursos de maior largura, a redução para 42 m na legislação municipal reflete uma adaptação às condições urbanas de Palmas, onde a pressão por ocupação do solo e as intervenções antrópicas são mais intensas. Essa medida visa, assim, preservar a funcionalidade ecológica do córrego, garantindo a conectividade dos ecossistemas e a qualidade dos recursos hídricos, mesmo diante das limitações impostas pelo ambiente urbano.

Parte da Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo insere-se na Unidade de Conservação (UC) do Córrego Água Fria, sua institucionalização pela Lei Complementar nº 155/2007 teve o objetivo de proteger os remanescentes vegetais e os serviços ecossistêmicos associados ao curso d'água. Apesar de a criação da UC representar um avanço importante na proteção ambiental, a efetivação de um plano de manejo adequado – que defina, entre outros aspectos, os limites precisos e as condições de uso –, ainda depende de estudos técnicos complementares e de uma fiscalização contínua. Essa situação ressalta o desafio de integrar os instrumentos de planejamento urbano com as políticas de conservação, sobretudo quando as medidas protetivas municipais, como os 42 m de APP, divergem dos parâmetros mais protetivos previstos pelo Código Florestal.

3.4 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

3.4.1 O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)

O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) é uma ferramenta amplamente reconhecida e utilizada para diagnosticar condições ambientais em bacias hidrográficas urbanas. Ele combina eficiência, simplicidade e baixo custo, possibilitando avaliações qualitativas das condições dos cursos d'água e de suas zonas ripárias de forma acessível a técnicos e leigos treinados. Essa metodologia se destaca especialmente em áreas urbanas, onde desafios como o adensamento populacional, a impermeabilização do solo e a pressão antrópica geram impactos significativos nos habitats aquáticos. Esses impactos incluem o aumento da produção de sedimentos, poluição por efluentes e resíduos sólidos, além da redução da vegetação ripária, essencial para a estabilidade ecológica e a qualidade da água, como demonstrado por Marcionilio *et al.* (2020), Jesus *et al.* (2023) e Da Silva *et al.* (2023).

Entre as principais vantagens do PAR está sua capacidade de integrar diferentes dimensões da análise ambiental, avaliando indicadores como qualidade do substrato de fundo, complexidade dos habitats, estabilidade das margens e presença de vegetação ripária. Esses indicadores permitem identificar de forma ágil os fatores críticos de degradação e subsidiar decisões para recuperação e manejo ambiental. Sua aplicação em áreas urbanas foi bem documentada no estudo realizado no Córrego Sussuapara, em Palmas (TO), onde tanto estudantes quanto professores conseguiram implementar o protocolo com resultados consistentes. Essa aplicação demonstrou que o PAR é uma ferramenta inclusiva e eficaz para análises rápidas e tomadas de decisão, conforme evidenciado por De Moraes *et al.* (2015).

Estudos recentes reforçam a versatilidade do PAR em diferentes contextos. No Córrego do Veado, em Presidente Prudente (SP), Jesus *et al.* (2023) mostraram que o protocolo é eficaz para áreas urbanizadas com variados níveis de impacto antrópico. Da Silva *et al.* (2023), por sua vez, aplicaram o PAR na Bacia do Rio Araranguá (SC) e destacaram que a agricultura extensiva e a ocupação urbana são os principais fatores de degradação. Já no Espírito Santo, Do Nascimento *et al.* (2020) utilizaram o PAR no baixo curso da Bacia do Rio Reis Magos e do Rio Jacaraípe, fornecendo dados que orientaram gestores e a sociedade no planejamento ambiental, reforçando a relevância do protocolo na conscientização pública.

Além disso, o PAR mostrou-se adaptável a diferentes escalas e combinações metodológicas. No Córrego João Cesário, em Anápolis (GO), Dias *et al.* (2024) associaram o

protocolo a outras metodologias e ao uso de ferramentas de geoprocessamento, permitindo identificar pontos de degradação mais detalhadamente. De forma semelhante, no Riacho das Porteiras, em Petrolina (PE), De Alcântara *et al.* (2023) evidenciaram como o protocolo pode destacar impactos oriundos de escoamentos superficiais e poluição difusa, promovendo a conservação ambiental.

Além de ser uma metodologia consolidada, o PAR tem suas origens nos Protocolos de Bioavaliação Rápida (RBPs), desenvolvidos pela USEPA (Barbour *et al.*, 1999) para diagnosticar a integridade ecológica de cursos d'água, sendo posteriormente adaptado ao contexto brasileiro por diversos pesquisadores. Esses avanços permitiram sua aplicação em bacias hidrográficas urbanas, onde a integração de métodos qualitativos e semi-quantitativos é fundamental para capturar a complexidade dos impactos ambientais (De Moraes *et al.* (2015); Jesus *et al.* (2023).

A metodologia PAR é aplicada por meio do preenchimento em campo de uma ficha de avaliação com diversos critérios e um sistema de pontos para cada condição observada in loco. Os critérios de estabilidade das margens, presença e estado de conservação da mata ciliar, ocupação das margens do rio são avaliados para cada uma das margens, sendo a pontuação naquele ponto a média entre a pontuação das duas margens (esquerda e direita). Os demais critérios (resíduos sólidos, esgoto doméstico, alterações antrópicas, substratos e habitats disponíveis, soterramento e presença de animais) recebem um ponto para cada local. O Quadro 1, a seguir, apresenta o sistema de pontuação do Protocolo PAR, que deve ser aplicado a cada critério conforme as condições verificadas em campo.

Quadro 1 — Critérios e pontos aplicados para a execução da metodologia do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios.

CRITÉRIO	CONDIÇÕES			
	ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM
Estabilidade das margens	Margem estável, sem evidência de erosão.	Margem moderadamente estável, com pequena evidência de erosão de menor intensidade em curvas ou em menos da metade do trecho observado.	Margem moderadamente estável, com deslizamentos nas curvas ou erosão em menos da metade do trecho observado.	Margem instável, com evidência de erosão em mais da metade de sua extensão. Margens canalizadas ou retificadas sem vegetação restabelecida.
Pontuação Margem Direita	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Pontuação Margem Esquerda	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Presença e estado de conservação da mata ciliar	A vegetação ocupa toda a margem e é composta predominantemente por espécies arbustivas e arbóreas, sem sinais de degradação causados por atividades humanas.	A vegetação ocupa mais da metade da margem e a vegetação herbácea é abundante.	A vegetação ocupa mais de 1/3 da margem e a vegetação herbácea é abundante.	A vegetação é praticamente inexistente. O solo está exposto a intempéries naturais ou está impermeabilizado ou ocupado por edificações.
Pontuação Margem Direita	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Pontuação Margem Esquerda	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Ocupação das margens	A mata ciliar compreende toda (ou quase toda) a margem do rio e é composta principalmente por espécies arbustivas e arbóreas.	Mais da metade da margem do rio é composta por mata ciliar, independentemente do tipo de vegetação.	Menos da metade da margem do rio é composta por mata ciliar, com o restante ocupado por estruturas urbanas (residências, comércio, indústrias, sistema viário etc.).	A margem é ocupada prioritariamente por estruturas urbanas (residências, comércio, indústrias, sistema viário etc.).
Pontuação Margem Direita	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Pontuação Margem Esquerda	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Resíduos sólidos (lixo)	Não se observam resíduos sólidos no fundo nem nas margens do rio.	Existem resíduos sólidos em pequena quantidade no fundo e/ou nas margens. Podem estar acumulados em pequenos depósitos ou submersos.	Existem resíduos sólidos em pequena quantidade no fundo e/ou nas margens. Podem estar acumulados em pequenos depósitos ou submersos.	Existe uma grande quantidade de resíduos sólidos no fundo e/ou nas margens do rio.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Esgoto doméstico e industrial	Não se observam canalizações, nem odor ou presença de espuma, mancha escura ou óleo na água ou sedimento.	Existe uma das seguintes evidências: (1) presença de cor ou odor; (2) espuma na água ou sedimento; (3) odor característico de esgoto doméstico/industrial; (4) mancha escura ou óleo.	Existem duas das seguintes evidências: (1) presença de cor ou odor; (2) espuma na água ou sedimento; (3) odor característico de esgoto doméstico/industrial; (4) mancha escura ou óleo.	Existem três ou mais das seguintes evidências: (1) presença de cor ou odor; (2) espuma na água ou sedimento; (3) odor característico de esgoto doméstico/industrial; (4) mancha escura ou óleo.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Alterações antrópicas em escala fluvial	Ausência de alterações antrópicas no canal fluvial, como dragagens, retiradas de água ou estabilização artificial das margens.	Presença de pequena estrutura de contenção das margens ou pequena retirada de água e vegetação das margens para dragagem.	Presença de grandes estruturas de contenção das margens, remoção de vegetação das margens, retificação e canalização parcial do rio.	O rio encontra-se retificado e canalizado, com as margens totalmente (ou em sua maior parte) cimentadas.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Deposição de sedimentos	Ausência de bancos de areia (leques deposicionais) que possam aparecer no meio do canal, indicando redução significativa da velocidade da água, ou nas margens normalmente.	Há formação de pequenos bancos de areia no canal e deposição de sedimentos nas margens em nível que não prejudica o escoamento da água.	O sedimento está sendo depositado no rio, indicando menor velocidade do fluxo e problemas de assoreamento em desenvolvimento.	Há deposição significativa de sedimentos, indicando nível avançado de assoreamento, com bancos de areia e sedimentos prejudicando o escoamento da água.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Substratos do canal / habitat disponível	Existem vários tipos e tamanhos de substratos e habitats favoráveis à vida aquática (troncos, cascalhos, folhas, plantas etc.).	Existem alguns substratos e habitats aquáticos, mas não estão totalmente disponíveis.	Ausência de substratos e habitats ativos/disponíveis (troncos, cascalhos, folhas, galhos etc.).	Presença de apenas um tipo de substrato ou de substratos/habitats destruídos, não oferecendo condições adequadas para a fauna aquática.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Soterramento	Não se observa acúmulo de lama ou areia no fundo do rio.	Pouca quantidade de lama e areia cobrindo o fundo do rio, mas sem prejudicar substancialmente os habitats disponíveis.	Boa parte do fundo do rio apresenta lama ou areia, reduzindo os habitats disponíveis.	O fundo do rio apresenta muita lama ou areia, cobrindo os substratos e habitats disponíveis.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2
Animais	Observam-se com facilidade peixes, insetos aquáticos, anfíbios (sapos, rãs ou pererecas).	Observam-se peixes e invertebrados aquáticos, anfíbios (sapos, rãs ou pererecas) ou mamíferos silvestres (capivara) no rio ou nas margens.	Observam-se apenas aves no rio ou nas margens.	Não se vê nenhum animal aquático ou silvestre no rio ou nas margens.
Pontuação	9 a 10	6 a 8	3 a 5	0 a 2

Fonte: Adaptado de Campos e Nucci (2021).

Embora o PAR tenha vantagens claras, é importante reconhecer suas limitações. A avaliação qualitativa pode ser influenciada pela subjetividade do aplicador, exigindo treinamento consistente para garantir a padronização dos resultados (Marcionilio *et al.*, 2020). Além disso, a aplicabilidade do protocolo é limitada a análises de diagnóstico e não propõe diretamente medidas de mitigação, destacando a necessidade de sua integração com outros métodos, como análises físico-químicas e geoprocessamento, como observado em Dias *et al.* (2024) e De Alcântara *et al.* (2023).

Isto posto o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) consolida-se como uma metodologia importante para o diagnóstico ambiental em bacias hidrográficas urbanas, sendo adequado para o contexto do Córrego Cachimbo. Estudos realizados em outras localidades, como no Córrego Sussuapara, em Palmas (TO) (De Moraes *et al.*, 2015), e na Bacia do Rio Araranguá, em Santa Catarina (Da Silva *et al.*, 2023), demonstram sua eficácia na identificação de fatores de degradação ambiental, incluindo impactos antrópicos e alterações físicas das áreas ripárias. Sua aplicação possibilita uma análise rápida e abrangente do estado de conservação dos cursos d'água, gerando subsídios técnicos para a elaboração de planos de recuperação ambiental e manejo sustentável.

A integração do PAR com metodologias complementares, como análises físico-químicas e ferramentas de geoprocessamento, fortalece sua utilidade no monitoramento ambiental. Tais combinações permitem um diagnóstico mais completo, como evidenciado em estudos realizados no Riacho das Porteiras, em Petrolina (PE), e no Córrego João Cesário, em Anápolis (GO), onde o protocolo foi empregado com sucesso para avaliar tanto os parâmetros físicos quanto os impactos das atividades antrópicas sobre os cursos d'água (Dias *et al.* (2024); De Alcântara *et al.* (2023)).

Embora seja uma ferramenta qualitativa, o PAR oferece uma base sólida para diagnósticos preliminares, promovendo a identificação de áreas prioritárias para intervenções e contribuindo para a gestão eficiente dos recursos hídricos (Marcionilio *et al.* (2020); Do Nascimento *et al.* (2020)).

3.4.2 Matriz de Leopold

De acordo com Silva (2014), o método do Check List consiste na identificação e listagem das consequências (impactos ambientais), com base no potencial transformador de fatores físicos, bióticos e antrópicos, a partir de causas conhecidas. Trata-se de uma abordagem amplamente aplicada em diagnósticos ambientais, destacando-se por sua simplicidade e flexibilidade, assumindo diferentes formatos conforme o objetivo do estudo.

No presente trabalho, foi adotada a forma descritiva do Check List, conforme utilizada por Silva (2014) em sua análise na Unidade de Conservação do Córrego Machado, em Palmas – TO. A metodologia permite relacionar de forma objetiva as ações antrópicas, os componentes ambientais envolvidos e as respectivas alterações potenciais, funcionando como base para o diagnóstico ambiental inicial.

A partir dos impactos identificados durante a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), procedeu-se à sua hierarquização por meio da Matriz de Interação adaptada de Leopold et al. (1968), também referenciada por Silva (2014). A matriz funciona como uma ferramenta de controle bidimensional, em que se cruzam, nos eixos horizontal e vertical, as ações antrópicas e os fatores ambientais suscetíveis a impactos. As interações observadas são registradas nas células da matriz, permitindo não apenas a identificação, mas também a qualificação e a priorização dos impactos ambientais com base em critérios pré-estabelecidos (IBAMA, 2004).

Para este estudo, os critérios originalmente propostos por Silva (2014) foram adaptados às especificidades da bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo, incluindo os seguintes parâmetros de avaliação: causas do impacto, intensidade, extensão, duração, reversibilidade, magnitude e agente responsável. Essa adaptação garantiu maior aderência à realidade local, conferindo robustez à análise dos impactos potenciais e à proposição de medidas mitigadoras.

Conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 001/1986, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por matéria ou energia resultante das atividades humanas, com efeitos diretos ou indiretos sobre a saúde, a segurança, o bem-estar da população, a biota, as atividades socioeconômicas e a qualidade dos recursos naturais disponíveis.

3.4.3 A Aplicação dos Dados da Coleção 09 do MapBiomias na Avaliação do Uso e Cobertura do Solo em Bacias Hidrográficas: Metodologias, Desafios e Implicações para a Gestão dos Recursos Hídricos

O uso de dados de sensoriamento remoto tem se consolidado como uma ferramenta imprescindível para o monitoramento ambiental e a análise das transformações na paisagem. Nesse contexto, a plataforma MapBiomias – especialmente por meio de sua Coleção 09 – fornece uma série histórica contínua, abrangendo o período de 1985 a 2023, que possibilita a identificação de mudanças no uso e cobertura do solo em todo o território brasileiro. Tal base de dados é de grande relevância para estudos que investigam a dinâmica ambiental e os impactos antropogênicos, particularmente em áreas sensíveis como as bacias hidrográficas (Mapbiomas, 2024).

A metodologia adotada pelo MapBiomias baseia-se em técnicas de classificação pixel a pixel utilizando algoritmos de aprendizagem de máquina, como o Random Forest, em ambiente de processamento na nuvem por meio do Google Earth Engine. Esse processo possibilita a extração e análise de informações detalhadas provenientes das imagens do satélite Landsat, o que resulta em mapas anuais precisos de uso e cobertura do solo. A capacidade de integrar esses dados ao longo do tempo é fundamental para compreender as mudanças espaciais e temporais que ocorrem em ambientes naturais e modificados pelo homem, fornecendo subsídios para a avaliação dos impactos ambientais em bacias hidrográficas (Xavier; Menezes; Da Silva, 2024).

Estudos recentes demonstram a aplicabilidade desses dados na análise de bacias hidrográficas. Por exemplo, Borges e De Oliveira (2021) realizaram uma análise multitemporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, evidenciando como a variação das classes – como a diminuição da vegetação nativa e o aumento das áreas destinadas à agropecuária – pode afetar a qualidade dos recursos hídricos. Essas análises são essenciais para identificar tendências e para orientar o planejamento e a gestão de recursos hídricos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais decorrentes das transformações na paisagem.

Além disso, a aplicação dos dados da Coleção 09 tem se mostrado útil para a elaboração de políticas públicas e estratégias de conservação ambiental. Estudos que relacionam a erodibilidade do solo e as mudanças na cobertura vegetal com o uso do solo em bacias hidrográficas, como o realizado por Santos e Rocha (2023) na Bacia do Rio Camurupim, apontam para a importância de integrar análises espaciais e temporais no manejo dos recursos

naturais. Essa abordagem permite não apenas o diagnóstico dos impactos das atividades humanas sobre o ambiente, mas também a proposição de medidas de mitigação que visem à sustentabilidade dos ecossistemas e à preservação dos recursos hídricos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atender aos objetivos propostos, a metodologia adotada integra abordagens complementares de campo e análise técnica. O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) é utilizado para caracterizar o estado de conservação dos trechos avaliados do córrego. A Matriz de Leopold, por sua vez, permite hierarquizar os impactos ambientais identificados, classificando-os segundo sua magnitude e importância. Já a análise do uso e cobertura do solo, com base em séries históricas do MapBiomas, tem o papel de temporalizar as transformações ambientais ocorridas na bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo ao longo dos anos. A seguir, são apresentadas as etapas de desenvolvimento do estudo.

4.1.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada com base em literatura científica especializada, disponível na plataforma CAPES, abrangendo os seguintes temas:

- Protocolo de Avaliação Rápida (PAR): Abordagens metodológicas aplicadas em bacias urbanas, com foco na avaliação qualitativa da integridade ambiental e identificação de impactos antrópicos.
- Gestão de bacias hidrográficas em Palmas, Tocantins: Estudos sobre o manejo sustentável e desafios relacionados à pressão antrópica nas bacias locais, com ênfase na influência da urbanização acelerada.
- Dinâmica de ocupação urbana: Impactos das transformações no uso do solo em Palmas, incluindo a substituição de áreas naturais por infraestrutura urbana e suas repercussões ambientais.
- Alterações no uso e cobertura do solo: Investigação de séries históricas com dados da plataforma MapBiomas, analisando mudanças no território entre 1990 e 2023.
- Impactos hidrológicos da urbanização: Estudos sobre poluição hídrica, compactação do solo, erosão acelerada e deposição de sedimentos em bacias urbanizadas.
- Estudos relacionados a Propostas de mitigação e recuperação de impactos ambientais em bacias hidrográficas urbanas entre os anos de 2015 a 2025;

Essa revisão consolidou as bases teóricas necessárias para o desenvolvimento de um diagnóstico ambiental fundamentado, com respaldo nas discussões científicas mais recentes e aplicáveis ao contexto regional.

4.1.2 Análise Geoespacial e Dados Secundários

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada no Software QGIS 3.36, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE) fornecidos através de imagens do satélite ALOS PALSAR (com resolução espacial de 12,5 metros). As etapas seguiram o seguinte fluxo:

- Importação do MDE: Em formato GeoTIFF, garantindo a compatibilidade com as ferramentas de processamento geoespacial.
- Correção de depressões: Uso da ferramenta GRASS GIS (r.fill.dir) para assegurar a continuidade do fluxo hídrico no modelo digital.
- Delimitação da bacia e rede de drenagem: Aplicação do módulo GRASS GIS (r.watershed), identificando limites hidrográficos e cursos d'água principais.
- Extração de fluxo acumulado: Determinação de áreas de concentração de escoamento superficial.
- Validação manual: Comparação com imagens de alta resolução para assegurar a precisão do delineamento.

Além disso, a análise do uso e cobertura do solo foi conduzida com base nos dados do MapBiomas – Coleção 9, abrangendo o período de 1990 a 2023. O processamento dos dados foi realizado no Google Earth Engine e QGIS 3.36, considerando as seguintes etapas:

- Aquisição de dados: Download das classificações do MapBiomas referentes à área da bacia do Córrego Cachimbo.
- Recorte espacial: Utilização do shapefile da bacia para isolar a área de estudo e focar nas mudanças ocorridas ao longo do tempo.

- Classificação dos tipos de cobertura: Análise das classes de uso do solo predominantes na bacia no período de 1990 a 2023, identificando a conversão de áreas naturais em superfícies urbanizadas.
- Avaliação das transformações espaciais: Cálculo das taxas de mudança (%) por categoria de uso do solo, destacando os impactos da expansão urbana sobre a vegetação ripária e os recursos hídricos.
- Criação de mapas temáticos: Representação gráfica das mudanças no uso e cobertura do solo ao longo dos anos, utilizando simbologia padronizada para facilitar a interpretação dos dados.

4.1.3 Trabalho de Campo

A realização do trabalho de campo na bacia do Córrego Cachimbo enfrentou diversos desafios, tanto de ordem logística quanto social e de segurança. Desde 2021, durante a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (RIES, 2022), até o período de monitoramento do presente estudo, cenas de degradação socioambiental foram recorrentes, evidenciando a precariedade da ocupação urbana e seus impactos diretos sobre o meio ambiente.

Durante as visitas, a presença de lixo, esgoto a céu aberto e animais domésticos se alimentando de resíduos urbanos era uma constante. Muitas moradias observadas não possuíam saneamento básico, e o lançamento de efluentes diretamente nas ruas e no córrego era uma realidade em vários trechos monitorados. Esse cenário não apenas compromete a qualidade ambiental do Córrego Cachimbo, mas também exacerba os riscos à saúde pública da população local.

Além dos desafios ambientais, questões de segurança representaram um fator crítico no trabalho de campo. Durante as visitas, foi possível identificar pichações e marcas associadas a facções criminosas, demandando cautela durante o monitoramento.

Figura 1 — Pichação registrada na área de estudo, ilustrando um dos desafios de segurança enfrentados durante a pesquisa de campo.



Fonte: O autor (2025).

Dessa forma, o planejamento das coletas de dados foi adaptado, priorizando horários estratégicos, sempre mantendo a discrição durante a aplicação dos métodos. Outro desafio enfrentado foi a dificuldade de acesso a alguns pontos da bacia, especialmente aqueles com ocupação densa e ausência de vias pavimentadas. O deslocamento entre os pontos de monitoramento exigiu adaptação das rotas e, em alguns casos, ajustes na logística do trabalho de campo.

Apesar dessas dificuldades, todas as coletas planejadas foram realizadas com sucesso. A abordagem adotada permitiu documentar de maneira fidedigna os impactos ambientais da urbanização desordenada sobre a bacia do Córrego Cachimbo. Os dados obtidos não apenas reforçam os achados geoespaciais e bibliográficos, mas também evidenciam a complexa interação entre degradação ambiental, precariedade social e ausência de políticas públicas eficazes na região.

4.1.4 Métodos de Análise

Para uma avaliação abrangente da bacia do Córrego Cachimbo, a metodologia combinou três abordagens principais: (i) a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) para diagnóstico qualitativo da integridade ambiental, (ii) a Matriz de Leopold para

classificação e hierarquização dos impactos ambientais e (iii) a análise do uso e cobertura do solo para contextualizar as transformações espaciais ocorridas ao longo do tempo. Essa integração permitiu correlacionar as modificações da paisagem com os impactos ambientais observados, fornecendo uma base robusta para a interpretação dos resultados

- Protocolo de Avaliação Rápida (PAR): Aplicado em sete pontos da sub-bacia, o PAR forneceu uma avaliação qualitativa dos critérios ambientais, como estabilidade das margens, conservação da vegetação ripária, deposição de sedimentos e ocupação antrópica. Cada ponto foi pontuado com base em fichas padronizadas, permitindo a comparação entre trechos e a identificação de áreas críticas. Os pontos avaliados no PAR foram selecionados com base em análises geoespaciais e no histórico de impactos observados na bacia. A seleção considerou trechos de maior e menor degradação, permitindo uma avaliação comparativa entre áreas com diferentes níveis de pressão antrópica. Os pontos próximos aos bairros Santo Amaro I, II e Lago Norte foram priorizados por apresentarem histórico de ocupação irregular e elevada taxa de alteração do uso do solo.
- A Matriz de Leopold foi aplicada para a avaliação sistemática dos impactos ambientais identificados, permitindo classificá-los segundo critérios como intensidade, extensão, duração e reversibilidade. Sua escolha justifica-se pela capacidade de hierarquizar impactos ambientais de forma estruturada, considerando tanto a magnitude quanto a significância das pressões antrópicas sobre a bacia. Diferente de análises exclusivamente físico-químicas, que exigem monitoramento contínuo, a Matriz permite uma avaliação sistemática baseada em múltiplos critérios, sendo amplamente aplicada em estudos de impacto ambiental urbanos.
- A Análise do Uso e Cobertura do Solo: Além da avaliação de impactos ambientais por meio do PAR e da Matriz de Leopold, foi realizada uma análise temporal do uso e cobertura do solo para compreender as transformações ambientais ocorridas na bacia do Córrego Cachimbo ao longo das últimas três décadas. Utilizando dados do MapBiomas – Coleção 9 (1990-2023), foi possível identificar padrões de conversão do solo, como a substituição de áreas naturais por superfícies urbanizadas, a redução da vegetação ripária e o aumento da impermeabilização do solo. Esses fatores exercem influência direta sobre a dinâmica hidrológica da bacia, contribuindo para processos de erosão, assoreamento e degradação da qualidade da água

4.1.5 Integração dos dados

Os resultados das análises geoespaciais e de campo foram integrados em um modelo interdisciplinar, permitindo a correlação entre dados hidrológicos, impactos antrópicos e características territoriais. Essa abordagem facilitou a identificação de padrões de degradação e forneceu subsídios técnicos para o planejamento de ações mitigadoras. Combinando análises geoespaciais avançadas, métodos sistemáticos de campo e ferramentas de modelagem, o estudo oferece contribuições relevantes para a formulação de políticas públicas e o planejamento ambiental em bacias urbanas. A aplicação integrada dos métodos demonstra o potencial de uma gestão ambiental estratégica, fundamentada em evidências e alinhada aos desafios contemporâneos da urbanização.

4.1.6 Limitações da Metodologia

Embora cada ferramenta metodológica adotada apresente limitações específicas, o conjunto aplicado mostrou-se adequado e eficaz para os objetivos do diagnóstico ambiental da bacia do Córrego Cachimbo. O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), apesar de sua natureza qualitativa e dependente da percepção do avaliador, permite uma caracterização prática e contextualizada do estado de conservação dos trechos avaliados, sobretudo em ambientes urbanos.

A Matriz de Leopold, por sua vez, possibilita uma hierarquização sistemática dos impactos ambientais, ainda que não forneça dados quantitativos precisos — limitação que pode ser atenuada com o uso complementar de indicadores físico-químicos. Já a análise do uso e cobertura do solo, mesmo com restrições relacionadas à resolução espacial das imagens do MapBiomas, oferece uma base consistente para identificar tendências e transformações relevantes na paisagem ao longo do tempo.

Assim, a integração dessas abordagens representa uma estratégia metodológica coerente, acessível e eficaz para estudos aplicados a bacias hidrográficas urbanas com características semelhantes.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

4.2.1 Hidrografia

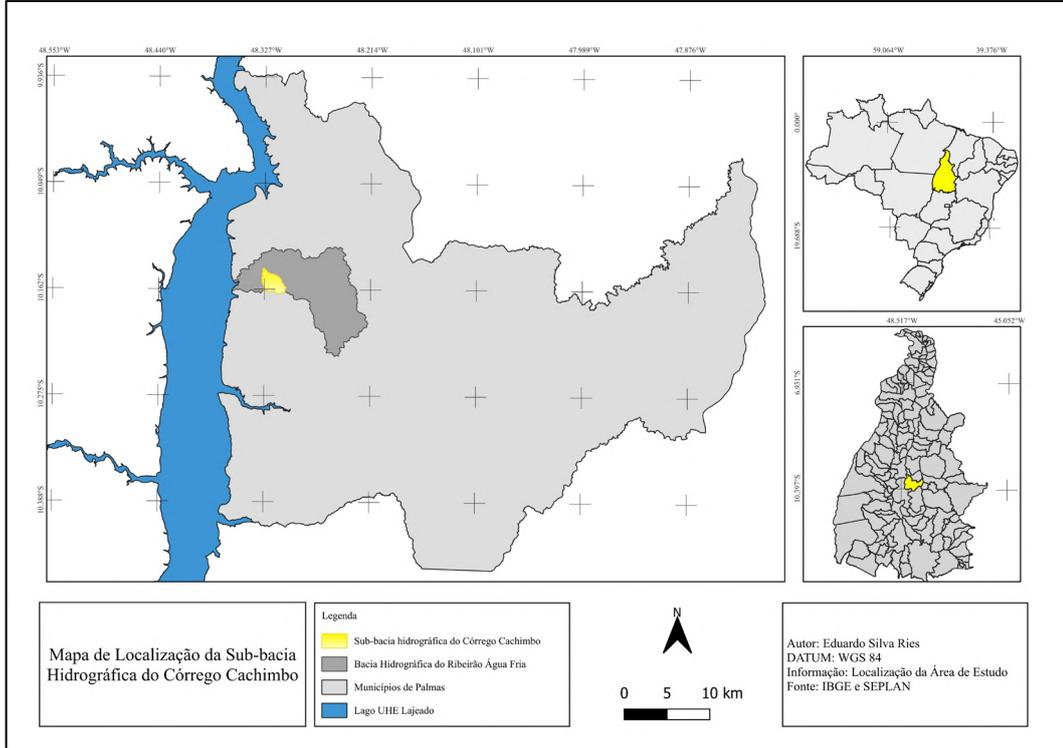
O município de Palmas, localizado na mesorregião oriental do estado do Tocantins, foi fundado em 20 de maio de 1989. A sede municipal está situada nas coordenadas geográficas 10°12'46" Sul e 48°21'37" Oeste, ocupando uma área aproximada de 2.227,329 km². De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada em 2024 era de 313.349 habitantes.

O território municipal de Palmas está inserido em duas grandes bacias hidrográficas: a do Rio Tocantins e a do Rio Balsas. As principais sub-bacias que compõem essas bacias incluem: Ribeirão Água Fria, Ribeirão Taquaruçu Grande, Ribeirão São João, Ribeirão Jaú, Córrego Barreiro, Ribeirão Lajeado e Córrego do Prata, todas contribuintes para a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins; e Ribeirão São Silvestre, Ribeirão Piabanha e Rio das Balsas, que pertencem à Bacia Hidrográfica do Rio Balsas (SEPLAN, 2012).

A Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria (SBHRAF), situada na porção ocidental do município, é uma das dez sub-bacias hidrográficas que contribuem para a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins. Esta sub-bacia abrange uma área estimada de 108,53 km², com o curso principal do Ribeirão Água Fria apresentando uma extensão de aproximadamente 23,03 km entre sua nascente e o exutório.

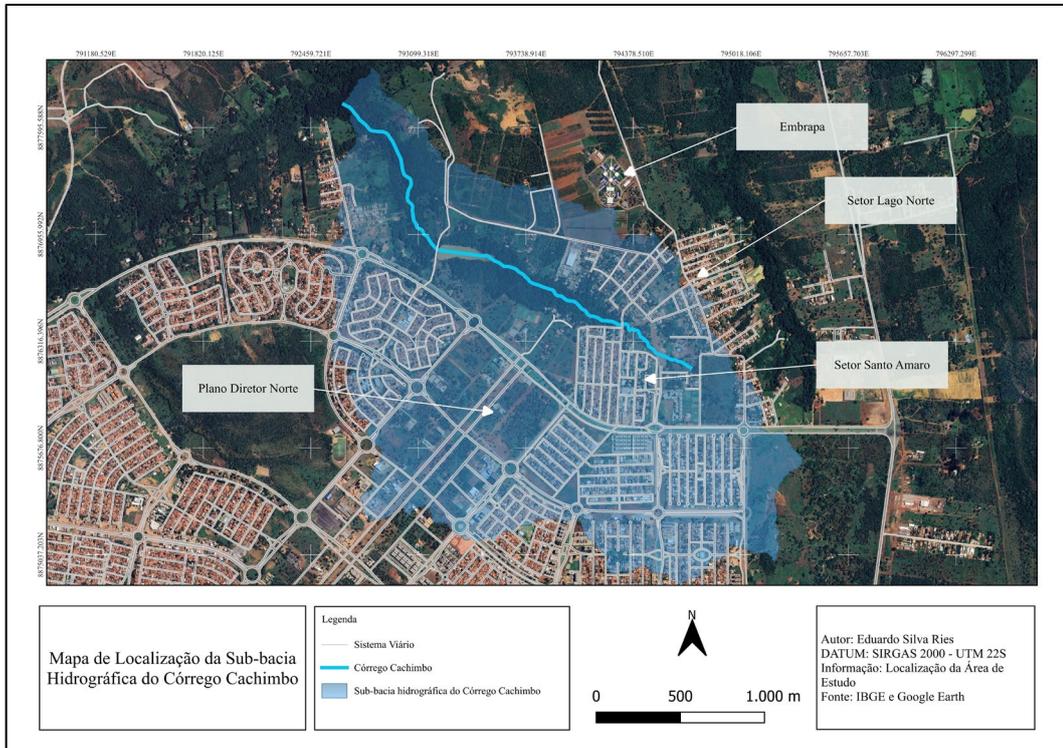
A Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo (SBHCC), contribuinte da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria, está localizada na porção ocidental do município de Palmas, abrangendo uma área de aproximadamente 4,97 km². O curso principal do córrego se estende por cerca de 3,13 km, desde sua nascente perene até o exutório. Esta sub-bacia está inserida na porção norte da mancha urbana do município, classificada como Macrozona de Ordenamento Controlado, conforme definido pelo Plano Diretor, abrangendo os setores Santo Amaro I, Santo Amaro II e Lago Norte.

Figura 2 — Mapa de Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo frente ao município de Palmas e ao Estado do Tocantins.



Fonte: O autor (2025).

Figura 3 — Mapa de Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo



Fonte: O autor (2025).

As características morfométricas da Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo (SBHCC) foram analisadas utilizando ferramentas de geoprocessamento e técnicas de modelagem hidrológica, com o objetivo de compreender sua dinâmica hidrológica e identificar potenciais implicações ambientais. A delimitação da bacia foi realizada por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS PALSAR, com resolução de 12,5 metros, utilizando o software ArcGIS para extração dos dados topográficos e hidrológicos. A área da SBHCC foi calculada como 4,9855 km², representando a capacidade de captação de água de chuva que influencia diretamente o volume de escoamento superficial. O perímetro da bacia, de 12,411 km, foi determinado a partir do contorno gerado no ambiente GIS e fornece informações sobre a forma da bacia, que impacta sua eficiência em escoar água.

A altitude média da bacia foi obtida a partir da análise estatística do MDE no software ArcGIS, resultando em um valor de 250,5645 metros. Esse índice reflete a inclinação geral do terreno, que influencia diretamente a velocidade do escoamento superficial. A amplitude altimétrica, calculada pela diferença entre as altitudes mínima (208,0071 m) e máxima (293 m), é de 84,9929 m, indicando um relevo moderado com potencial erosivo controlado. O eixo axial (L') foi medido como 2,818 km e o comprimento do rio principal (L) como 2,910 km, dados extraídos do MDE e calculados com base no fluxo acumulado gerado no ArcGIS. Esses valores indicam uma bacia levemente alongada, o que implica uma resposta hidrológica mais lenta a chuvas intensas, diminuindo o risco de enchentes repentinas.

A quantidade de rios, representada por um único curso d'água principal, e o comprimento total da rede de drenagem, medido como 2,910 km, foram determinados a partir da rede de drenagem extraída no ambiente GIS. Esses parâmetros sugerem uma rede de drenagem simples, típica de bacias menores e menos complexas. Os coeficientes de forma da bacia foram calculados no Excel, incluindo o coeficiente de compactidade (0,4922), o fator de forma (0,6278) e o índice de circularidade (0,4068), indicando que a bacia possui uma forma alongada. Essa configuração resulta em escoamentos mais lentos e distribuídos, favorecendo a infiltração e reduzindo a propensão a escoamentos superficiais intensos.

A densidade de drenagem foi calculada como 0,5837 km/km², utilizando o comprimento total da rede de drenagem dividido pela área da bacia. Esse valor reflete a permeabilidade do solo, sugerindo menor propensão a escoamentos superficiais intensos e maior capacidade de infiltração. O índice de rugosidade, calculado como 0,0496, evidencia uma topografia regular que favorece um escoamento uniforme. O índice de sinuosidade do rio principal foi

determinado como 1,0326, sugerindo um percurso levemente sinuoso que é adequado para o transporte de sedimentos sem grandes alterações no fluxo.

A extensão média do escoamento superficial foi calculada como 0,4283 km, utilizando a densidade de drenagem como base para estimar a distância média que a água percorre antes de atingir um canal. Esse valor reflete a maior capacidade de infiltração e a menor velocidade de escoamento superficial. A razão de textura foi calculada como 0,0806, evidenciando um relevo pouco inclinado e menos suscetível à erosão intensa.

Esses parâmetros morfométricos revelam que a SBHCC possui características que contribuem para um escoamento superficial moderado, maior infiltração e menor propensão a enchentes repentinas. No entanto, a ocupação urbana desordenada observada nos setores Santo Amaro I, II e Lago Norte apresenta uma ameaça significativa ao equilíbrio hidrológico e ecológico da sub-bacia. Esses resultados reforçam a importância de intervenções voltadas à conservação ambiental e à gestão sustentável dos recursos hídricos locais, incluindo o controle da ocupação urbana e a implementação de medidas de manejo integrado da bacia.

4.2.2 Climatologia

O município de Palmas, localizado na região Norte do Brasil, apresenta um clima tropical de savana (Aw, segundo a classificação climática de Köppen), caracterizado por uma estação chuvosa bem definida no verão e uma estação seca no inverno. Com base nos dados climatológicos normais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1991-2020, foram identificados os padrões mensais de temperatura máxima, mínima e de precipitação acumulada.

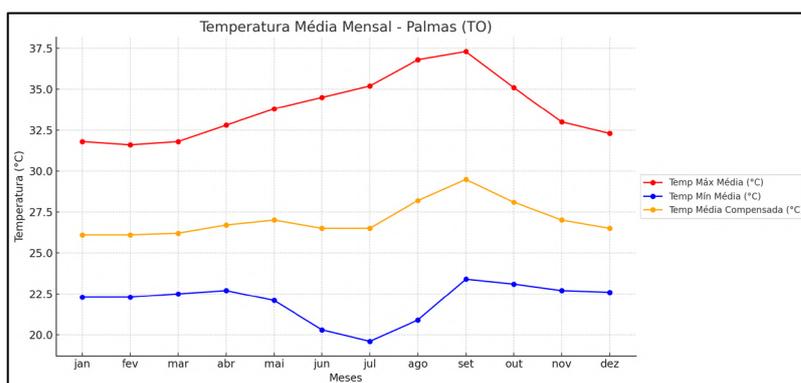
- **Temperatura**

A temperatura máxima média anual é de 33,83 °C, enquanto a temperatura mínima média anual é de 22,04 °C, indicando uma ampla amplitude térmica diária, típica de regiões de clima tropical (Instituto Nacional De Meteorologia - Inmet, 2020).

Os meses mais quentes são setembro e outubro, com temperaturas máximas médias alcançando 37,3 °C e 35,1 °C, respectivamente. Esses valores estão associados à estação seca, quando o solo aquecido pela intensa radiação solar contribui para o aumento das temperaturas (Instituto Nacional De Meteorologia - Inmet, 2020).

Os meses mais frios são junho e julho, com temperaturas mínimas médias de 19,6 °C e 20,9 °C, respectivamente. Esse período coincide com o inverno, quando a radiação solar é menos intensa e o ar mais seco favorece noites mais frias.

Figura 4 — Gráfico de temperaturas médias, máximas e mínimas mensais do município de Palmas - TO.



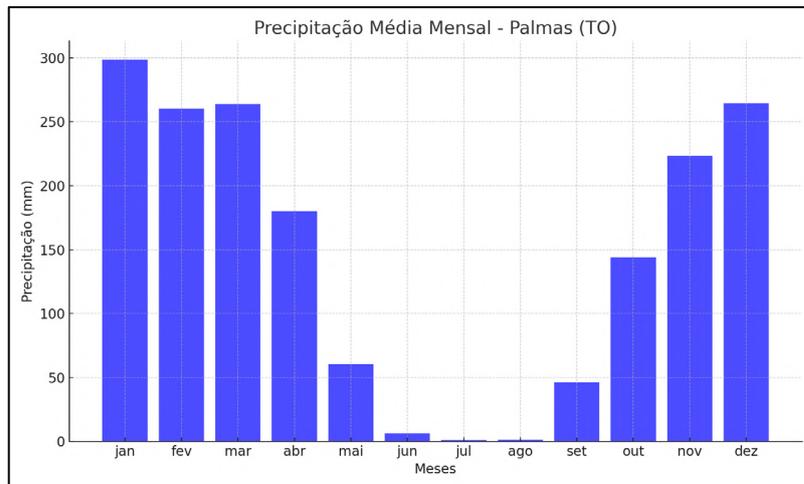
Fonte: O autor (2025).

● Precipitação

A precipitação total anual em Palmas é de 1.749,6 mm, concentrada principalmente entre os meses de novembro a março. O mês mais chuvoso é janeiro, com um acumulado médio de 298,6 mm, seguido por dezembro, com 264,5 mm. Esses valores refletem a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que atua intensamente nesse período (Instituto Nacional De Meteorologia - Inmet, 2020).

Por outro lado, os meses mais secos são junho e julho, com acumulados de apenas 0,9 mm e 1,3 mm, respectivamente. Durante essa época, o município está sob a influência do sistema de alta pressão subtropical do Atlântico Sul, que inibe a formação de nuvens e chuvas (Instituto Nacional De Meteorologia - Inmet, 2020).

Figura 5 — Gráfico de precipitação média mensal do município de Palmas - TO

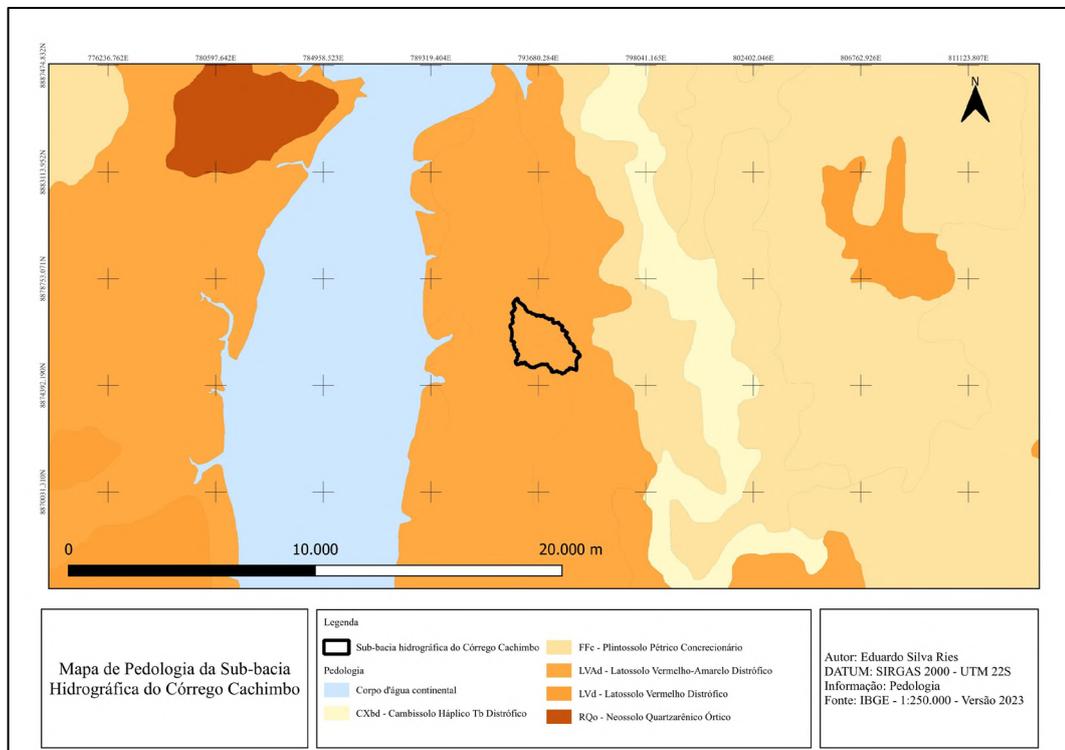


Fonte: O autor (2025).

4.2.3 Pedologia

De acordo com a base de dados espaciais do IBGE, o tipo de solo presente na área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd).

Figura 6 — Mapa de classificação pedológica na área da sub-bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo.



Fonte: O autor (2025).

O Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) é uma classe de solo amplamente distribuída no Brasil, caracterizada por sua coloração que varia do vermelho ao amarelo, indicando a presença de óxidos de ferro e alumínio. Esses solos são profundamente intemperizados, apresentando baixa fertilidade natural e acidez elevada, com pH geralmente entre 4,0 e 5,5 (De Sousa; Lobato, 2021).

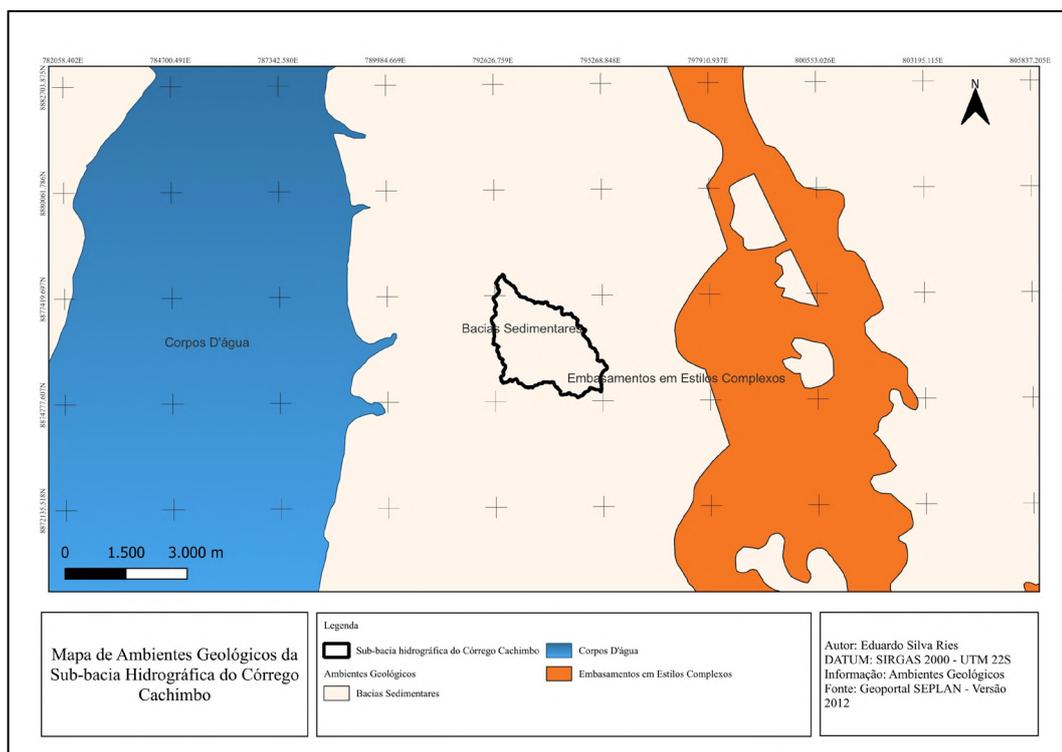
Em áreas urbanas, especialmente em bacias hidrográficas, o LVAd desempenha um papel crucial na infiltração e no escoamento superficial das águas pluviais. Sua textura varia de média a argilosa, influenciando diretamente a capacidade de infiltração de água. Estudos indicam que a compactação do solo, resultante de atividades antrópicas como urbanização e tráfego de máquinas pesadas, pode reduzir significativamente a velocidade de infiltração básica (VIB), aumentando o risco de enchentes urbanas (Silveira *et al.*).

Portanto, o manejo adequado do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico em bacias hidrográficas urbanas é essencial para a manutenção do equilíbrio hidrológico. Práticas que preservem ou aumentem a matéria orgânica, evitem a compactação e mantenham a cobertura vegetal são fundamentais para assegurar a infiltração de água, minimizar o escoamento superficial e prevenir desastres urbanos relacionados à água.

4.2.4 Geologia e Geomorfologia

Conforme levantamento da Secretaria do Planejamento e Orçamento - SEPLAN (2012), a geologia da sub-bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo está totalmente inserida em bacias sedimentares, caracterizadas pela predominância de rochas sedimentares originadas pela deposição de sedimentos ao longo de períodos geológicos. Estas formações geológicas desempenham um papel crucial no armazenamento e no fluxo de água subterrânea, influenciando diretamente a dinâmica hídrica da região. A natureza das rochas sedimentares confere à área uma maior capacidade de infiltração em comparação a outros tipos de formações geológicas, além de condicionar os padrões de uso e ocupação do solo.

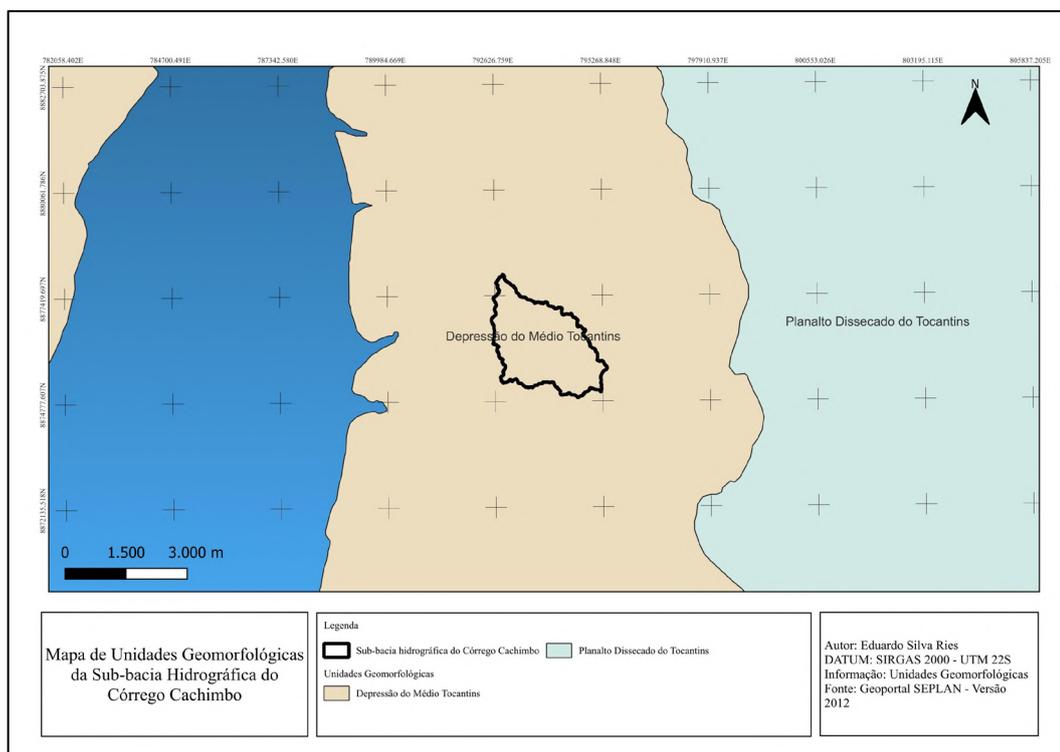
Figura 7 — Mapa de ambientes geológicos presentes na sub-bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo.



Fonte: O autor (2025).

No que tange à geomorfologia, a sub-bacia encontra-se integralmente inserida na Depressão do Médio Tocantins, que se caracteriza por um relevo predominantemente suavemente ondulado. Essa unidade geomorfológica resulta de intensos processos erosivos ao longo do tempo geológico, que removeram camadas superiores menos resistentes, expondo materiais mais estáveis e modelando uma paisagem de baixa declividade. Este tipo de relevo favorece o escoamento superficial de água, especialmente em períodos de maior precipitação, mas também apresenta vulnerabilidades significativas relacionadas à erosão hídrica, especialmente em áreas com cobertura vegetal reduzida ou inexistente (Secretaria Do Planejamento e Orçamento - Seplan, 2012).

Figura 8 — Mapa de unidades geomorfológicas na área da sub-bacia do Córrego Cachimbo.



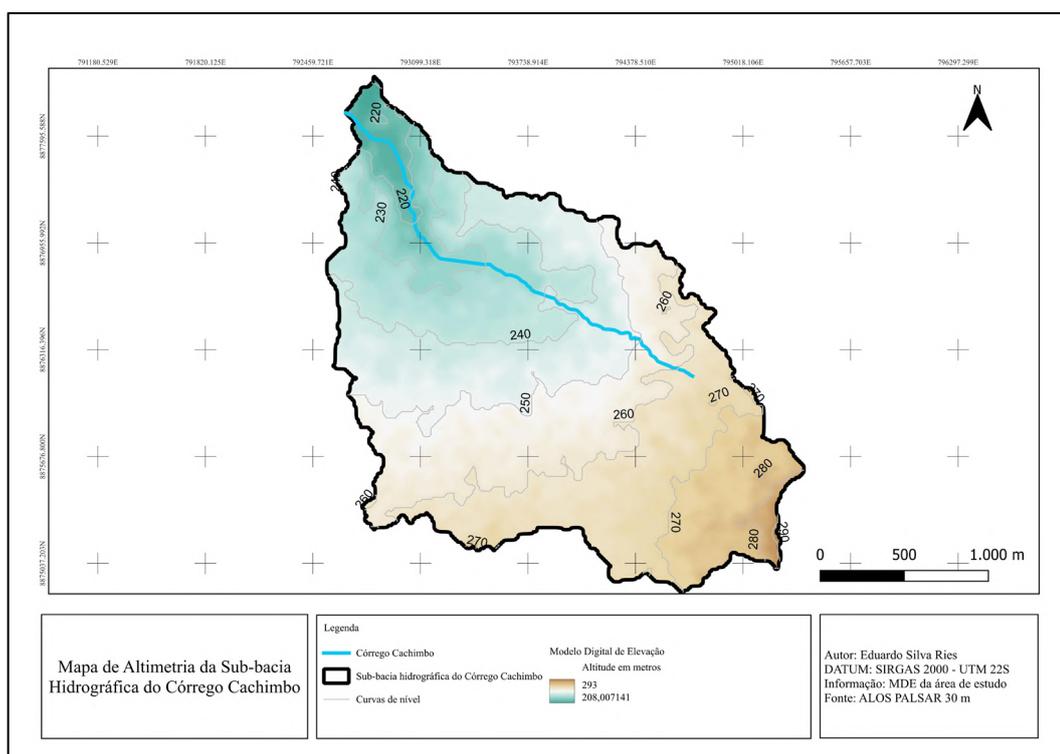
Fonte: O autor (2025).

A interação entre as características das bacias sedimentares e a morfologia suave da Depressão do Médio Tocantins influencia diretamente os processos hidrológicos da sub-bacia hidrográfica, como infiltração, escoamento superficial e armazenamento de água. Tais aspectos tornam-se ainda mais relevantes no contexto de bacias urbanas, onde as alterações antrópicas intensificam os processos de impermeabilização do solo e modificação dos padrões de drenagem. Dessa forma, a compreensão das especificidades geológicas e geomorfológicas da área é essencial para embasar estratégias de manejo sustentável, mitigação de impactos e conservação ambiental.

4.2.5 Altimetria

O mapa de altimetria da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo apresenta a distribuição da elevação do terreno na área de estudo, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir de dados do ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros. A altimetria varia entre 208 metros, no ponto mais baixo, localizado próximo ao exultório da sub-bacia, e 293 metros, no ponto mais alto, próximo à nascente do córrego.

Figura 9 — Mapa de Altimetria da Área de Estudo



Fonte: O autor (2025).

As curvas de nível ilustram a topografia da área, destacando a suavidade do relevo em algumas porções da bacia e maior inclinação em outras, especialmente na parte sudeste, onde se observam as maiores altitudes. A altimetria média da bacia é de aproximadamente 250 metros, indicando um terreno predominantemente plano a suavemente inclinado.

A distribuição altimétrica influencia diretamente os processos hidrológicos da sub-bacia. Áreas de maior elevação, como as próximas à nascente, favorecem o escoamento superficial, enquanto áreas de menor altitude, próximas ao exutório, são mais suscetíveis à deposição de sedimentos e à formação de alagados, dependendo das condições do solo e da cobertura vegetal.

O conhecimento da altimetria é fundamental para a análise da dinâmica hídrica e ambiental da sub-bacia, auxiliando na identificação de áreas propensas à erosão, locais com maior potencial para infiltração de água e zonas críticas para intervenções de conservação ambiental. Essas informações são essenciais para embasar planos de manejo sustentável e medidas de mitigação de impactos ambientais.

5 RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

A análise dos impactos ambientais na bacia do Córrego Cachimbo baseou-se na aplicação de três metodologias principais. O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) permitiu uma caracterização qualitativa dos impactos ambientais, avaliando critérios como estabilidade das margens e conservação da vegetação ripária. A Matriz de Leopold possibilitou a hierarquização dos impactos ambientais, considerando a magnitude e a significância das pressões antrópicas. Por fim, a análise temporal do uso e cobertura do solo, realizada com dados do MapBiomas, permitiu identificar as transformações espaciais da bacia e sua relação com os impactos observados.

5.1 APLICAÇÃO DO PAR NO CÓRREGO CACHIMBO

Foram avaliados 07 pontos em campo para a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), considerando as condições de acesso. A maior concentração de pontos ocorreu no alto curso do Córrego Cachimbo, devido à facilidade de acesso e à proximidade com as áreas urbanizadas dos setores Santo Amaro e Lago Norte, que exercem significativa pressão ambiental sobre o curso d'água. No médio e baixo curso, a menor quantidade de pontos avaliados deve-se à dificuldade de acesso imposta pela densidade da vegetação na região.

O Quadro 2 apresenta as coordenadas geográficas com a localização da aplicação da metodologia PAR.

Quadro 2 — Localização geográfica dos pontos de aplicação da metodologia PAR

Pontos de aplicação da metodologia	Latitude	Longitude
PAR-1	-10,1556	-48,3105
PAR-2	-10,1551	-48,3119
PAR3	-10,1535	-48,3121
PAR-4	-10,1532	-48,3143
PAR-5	-10,1534	-48,3149
PAR-6	-10,1527	-48,3162
PAR-7	-10,1494	-48,3243

Fonte: O autor (2025).

Nos sete pontos avaliados ao longo da bacia do Córrego Cachimbo, foram preenchidas as fichas do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que contemplam critérios como a condição da vegetação ripária, estabilidade das margens, uso do solo adjacente, presença de resíduos sólidos, alterações no canal, estado das nascentes e ocorrência de fontes de poluição. Também foram realizados registros fotográficos das Áreas de Preservação Permanente (APPs), do canal do córrego e de evidências de pressões ambientais em cada local.

A metodologia do PAR, proposta por Campos e Nucci (2021), atribui pontuações específicas a cada critério avaliado, gerando uma pontuação total que permite classificar a condição geral do rio em quatro categorias. Quando o ponto avaliado atinge entre 90 e 100 pontos, a condição é considerada "Ótima"; entre 70 e 89 pontos, a condição é classificada como "Boa"; entre 50 e 69 pontos, como "Regular"; e, por fim, entre 0 e 49 pontos, a condição do trecho é considerada "Ruim". Essa classificação padronizada permite uma análise comparativa entre os diferentes trechos do córrego e orienta a priorização de ações para recuperação ou conservação das áreas degradadas.

Dentre os critérios analisados, destacam-se a estabilidade das margens, a presença e o estado de conservação da mata de galeria, e a ocupação das margens do córrego, avaliados individualmente para cada margem. A nota final de cada critério corresponde à média das pontuações obtidas para as duas margens. O resultado final de cada ponto é calculado pelo somatório das notas atribuídas a todos os critérios, conforme detalhado no Quadro 3.

Quadro 3 — Pontuação obtida em cada ponto de aplicação da metodologia PAR.

Crítérios	PAR-1	PAR-2	PAR-3	PAR-4	PAR-5	PAR-6	PAR-7
Estabilidade das margens	5	0	0	2	2	5	2
Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria	8	0	0	5	5	5	5
Ocupação das margens do rio	8	0	0	2	2	5	5
Resíduos sólidos (lixo)	8	2	0	2	2	5	5
Esgoto doméstico e efluente industrial	10	0	0	5	5	5	10
Alterações antrópicas no canal fluvial	5	0	0	5	2	2	2
Deposição de sedimentos	8	0	0	5	2	2	2
Substratos e/ou habitat disponíveis	5	0	0	8	5	5	2
Soterramento	5	0	0	8	5	5	2
Animais Silvestres	8	0	0	8	10	10	10
Soma	70	2	0	50	40	49	45

Fonte: O autor (2025).

O somatório das pontuações obtidas em cada ponto avaliado permite estimar gradativamente a condição geral do Córrego Cachimbo em cada local, conforme a metodologia proposta por Campos e Nucci (2021). Com base nas notas atribuídas a cada ponto, foi realizada a avaliação apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 — Estimativa do grau de conservação

Pontos de aplicação da metodologia	Condição Observada
PAR-1	Boa
PAR-2	Ruim
PAR-3	Ruim
PAR-4	Regular
PAR-5	Regular
PAR-6	Regular
PAR-7	Regular

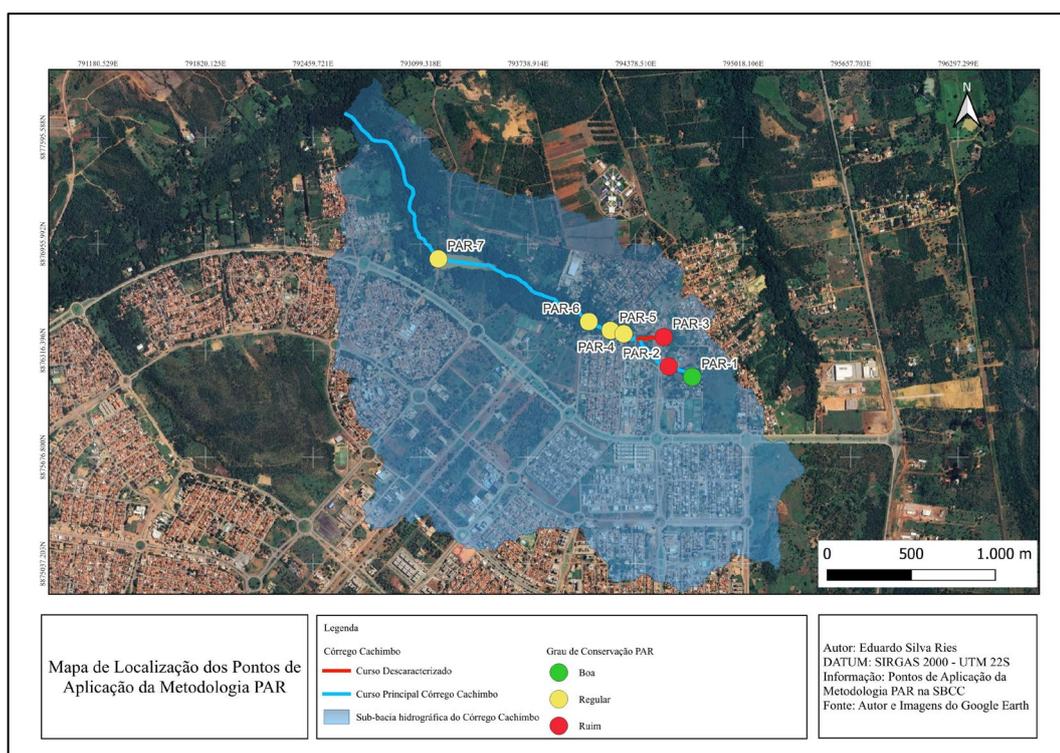
Fonte: O autor (2025).

Nenhum dos pontos avaliados apresentou a condição "Ótima". A condição "Boa" foi identificada no ponto PAR-1, localizado na nascente preservada do Córrego Cachimbo. Os pontos PAR-4, PAR-5, PAR-6 e PAR-7 apresentaram condição "Regular", enquanto o ponto PAR-2 e PAR-3 foram classificados como condição "Ruim".

Conforme a classificação proposta por Campos e Nucci (2021), a condição "Ótima" caracteriza um rio em estado recuperado, enquanto a condição "Boa" indica um rio alterado, mas com qualidade ambiental preservada. A condição "Regular" reflete impactos negativos relevantes, com perda substancial de qualidade, e a condição "Ruim" demonstra uma qualidade altamente comprometida, resultante de impactos negativos severos.

A Figura 10 demonstra a localização dos pontos de aplicação da metodologia PAR categorizado por cores conforme a condição observada.

Figura 10 — Mapa de Localização dos Pontos de Aplicação da Metodologia PAR



Fonte: O autor (2025).

Campos e Nucci (2021) ressaltam que a avaliação da condição geral do rio baseada no somatório das notas dos pontos analisados pode representar uma limitação, pois pode mascarar problemas locais ao não refletir com precisão situações pontuais críticas. Da mesma forma, a utilização da média das notas das margens direita e esquerda em determinados critérios pode reduzir a representatividade de situações extremas. Para mitigar essas limitações, recomenda-

se que as condições críticas sejam descritas detalhadamente para cada ponto avaliado, assegurando maior transparência e precisão na interpretação dos resultados.

A seguir, será apresentada uma avaliação detalhada das condições ambientais observadas em cada ponto analisado.

5.2 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DO PAR SEGMENTADA POR PONTO AVALIADO

5.2.1 Ponto Avaliado PAR-1

O ponto PAR-1 está localizado na nascente preservada do Córrego Cachimbo, o que justifica sua classificação como "Boa", com uma pontuação total de 70. Esse ponto apresenta características ambientais favoráveis, refletindo um estado relativamente equilibrado e com baixa interferência antrópica, sobretudo quando comparado a outros trechos avaliados.

As margens são moderadamente estáveis, com evidências pontuais de erosão leve, mas sem comprometimento estrutural significativo. A presença de vegetação natural desempenha um papel relevante no controle da erosão, embora algumas áreas apresentem exposição moderada do solo. A mata ciliar encontra-se em bom estado de conservação, com predominância de espécies arbóreas e arbustivas que exercem funções essenciais, como a proteção das margens, a redução da sedimentação no canal e a manutenção da qualidade hídrica. No entanto, há indícios de impactos localizados, como a presença de espécies vegetais secundárias.

A ocupação das margens é predominantemente natural, com baixo grau de intervenção humana. Não foram identificadas estruturas de infraestrutura urbana ou agrícola que comprometam a integridade ecológica do local, reforçando a preservação da área. Ainda assim, foi observada a existência de uma pequena travessia para veículos e pedestres, de uso esporádico, que representa uma intervenção antrópica de baixo impacto, sem alterações significativas no canal fluvial.

A presença de resíduos sólidos na área é mínima, limitada a pequenos detritos nas margens que não alcançam o canal fluvial. Isso sugere que o ponto sofre pouca influência de atividades humanas relacionadas ao descarte inadequado de lixo. A deposição de sedimentos

no canal também é baixa e compatível com as condições naturais da nascente, contribuindo para a manutenção da qualidade hídrica e das características do habitat aquático.

O nível de soterramento é insignificante, indicando que o fluxo hídrico permanece desobstruído e que não há sinais relevantes de assoreamento. Essa condição está diretamente associada à presença da vegetação ciliar, que atua como uma barreira natural contra a entrada de sedimentos no canal. Em termos de biodiversidade, foram registrados animais silvestres, como pássaros e insetos, o que evidencia a funcionalidade ecológica do ponto e sua capacidade de suportar uma fauna representativa.

Em síntese, o ponto PAR-1 apresenta uma condição ambiental favorável e destaca-se como um dos trechos mais preservados do Córrego Cachimbo, conforme demonstram as figuras 11 e 12. No entanto, a presença de pequenas intervenções humanas e sinais de impactos localizados reforça a necessidade de monitoramento contínuo, especialmente considerando a proximidade de áreas urbanizadas que podem aumentar a pressão sobre o local.

Figura 11 — Vegetação Ciliar (Vista Norte-Oeste): Detalhe da densa vegetação ciliar presente no ponto PAR-1, composta por espécies arbóreas e arbustivas que protegem as margens do córrego contra erosão e sedimentação.



Fonte: O autor (2024).

Figura 12 — Trilha de Acesso (Vista Nordeste): Registro da trilha de terra que corta a área, utilizada para passagem de veículos e pedestres. Embora de baixo impacto, requer monitoramento para evitar erosão e compactação do solo.



Fonte: O autor (2024).

5.2.2 Ponto Avaliado PAR-2

O ponto PAR-2 está localizado em uma área intermediária do alto curso do Córrego Cachimbo e foi classificado como "Ruim", com uma pontuação de 2, refletindo um estado crítico de degradação ambiental. Essa classificação se deve às severas alterações nas condições naturais do córrego e de suas margens, causadas por intervenções antrópicas intensivas e não planejadas, que comprometeram a funcionalidade ecológica e estrutural do local.

A ocupação não planejada da área é evidente, com construções improvisadas e precárias, nas quais moradores atualmente residem, aumentando os impactos ambientais diretos no entorno do córrego. Essas edificações são mal estruturadas, muitas vezes feitas com materiais reutilizados e sem qualquer consideração por padrões ambientais ou de urbanização (Figura 17). Além disso, foi observado que animais domésticos, como cachorros, se alimentam do lixo descartado no local (Figura 18), o que não só reflete as condições inadequadas de manejo de resíduos como também aumenta os riscos de contaminação para a área e para os próprios animais.

A grande área aberta identificada no local é fruto de uma supressão de vegetação ocorrida entre os anos de 2023 e 2024, conforme verificado em imagens de satélite do Google

Earth (Figuras 20, 21 e 22) e confirmado por moradores durante conversas realizadas durante a vistoria. Os residentes informaram que, naquela área, está prevista a construção de um templo religioso, projeto que foi precedido pela instalação de manilhas para direcionar a passagem da água do córrego. Os próprios moradores declararam estar cientes da existência do córrego no local, indicando que a intervenção foi realizada de maneira consciente, porém sem qualquer planejamento técnico ou licenciamento ambiental.

A intervenção com manilhas e a remoção da vegetação ciliar comprometeram totalmente a estabilidade das margens. A compactação do solo e a ausência de cobertura vegetal natural deixam o trecho altamente vulnerável a processos erosivos e ao transporte de sedimentos. Trechos adjacentes à obra apresentam sinais de instabilidade estrutural, agravando o impacto cumulativo a jusante. A ausência de arbustos e árvores nativas reduz a capacidade do córrego de suportar impactos ambientais, como a retenção de sedimentos e a proteção contra erosão. A substituição da vegetação natural por solo exposto compromete a função ecológica do ambiente e prejudica a biodiversidade local.

Os resíduos sólidos descartados irregularmente no local, incluindo plásticos, restos de construção e outros materiais, representam um problema adicional. Esses resíduos podem ser facilmente carreados para o canal durante chuvas, agravando os impactos a jusante e aumentando os riscos de assoreamento. A ausência de vegetação ciliar agrava a vulnerabilidade do córrego à erosão e ao transporte de sedimentos, enquanto a substituição do curso natural do córrego por manilhas desconfigurou completamente o trecho, eliminando suas funções ecológicas e comprometendo a conectividade com o restante do sistema fluvial.

Além disso, a biodiversidade local foi gravemente afetada. Não foram observados sinais relevantes de animais silvestres no trecho, o que indica a perda do habitat natural e a interrupção das funções ecológicas necessárias para sustentar espécies nativas. A ausência de substratos e habitats adequados, aliada às condições degradadas do leito do córrego, compromete ainda mais a possibilidade de recuperação ecológica do local. A compactação do solo e a ausência de proteção contra erosão aumentam o risco de carreamento de sedimentos para o trecho canalizado e para os trechos a jusante, onde a deposição de sedimentos já é perceptível. Essa situação agrava problemas como o assoreamento e a redução da capacidade hídrica do canal.

O ponto PAR-2 representa um exemplo crítico de degradação ambiental, onde a combinação de ocupação desordenada, canalização artificial, supressão de vegetação recente e descarte irregular de resíduos eliminou quase todas as características naturais do trecho. A pontuação de 2 reflete a completa alteração das funções ecológicas do local e a necessidade

urgente de medidas de restauração e mitigação para evitar danos irreversíveis ao Córrego Cachimbo.

Figura 13 — Vista Geral do Terreno (Sul-Oeste): Área exposta ao redor do córrego, com solo desprovido de vegetação ciliar, indicando a preparação do local para futuras edificações particulares, comprometendo a integridade ambiental do trecho.



Fonte: O autor (2024).

Figura 14 — Trecho Preparado para Construção (Norte-Leste): Registro da área compactada próxima ao córrego, onde intervenções para canalização já foram realizadas, evidenciando a ocupação intensiva das margens.



Fonte: O autor (2024).

Figura 15 — Detalhe da manilha instalada no leito do córrego, substituindo o curso natural para escoamento de água. A ausência de vegetação e a compactação do solo reforçam os impactos causados pela obra.



Fonte: O autor (2024).

Figura 16 — Registro da ocupação não planejada nas proximidades do córrego, com estrutura improvisada, resíduos descartados e solo exposto. A intervenção humana neste trecho compromete a qualidade ambiental e agrava os riscos de erosão e assoreamento do canal fluvial."



Fonte: O autor (2024).

Figura 17 — Condições de moradias precárias com muitos resíduos domésticos espalhados pelo chão.



Fonte: O autor (2024).

Figura 18 — Animal doméstico se alimentando de restos de comida ao lado de moradia irregular onde deveria passar o canal natural do Córrego Cachimbo.



Fonte: O autor (2024).

5.2.3 Ponto Avaliado PAR-3

O ponto PAR-3, localizado em um afluente do Córrego Cachimbo, foi registrado em 2021 como uma nascente relativamente preservada durante uma avaliação ambiental macroscópica conduzida no contexto do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), vide Figura

19. Naquela época, o local apresentava características naturais notáveis, com um olho d'água que aflorava de forma natural, água aparentemente transparente e de baixa turbidez. O ambiente era utilizado pela comunidade local para recreação, com atividades de banho e lazer sendo frequentemente observadas, evidenciando a importância social e ecológica da nascente (Ries, 2022).

Figura 19 — Imagem de uma das nascentes do Córrego Cachimbo preservada em janeiro de 2022.



Fonte: Ries (2022).

A imagem de satélite a seguir obtida através da ferramenta Google Earth mostra a que a nascente localizada no ponto PAR - 3 encontrava-se com cobertura vegetal que formava um dossel sobre o curso hídrico a jusante, demonstrando que se tratava de um afloramento do lençol freático que dava origem a um dos afluentes do Córrego Cachimbo (Figura 20).

Figura 20 — Imagem Google Earth de Abril de 2022 nas proximidades dos pontos PAR-1, PAR-2 e PAR-3.



Fonte: O autor (2025).

Atualmente, o cenário é drasticamente diferente. As evidências obtidas em campo e por meio das imagens revelam que a nascente sofreu uma transformação completa, configurando um quadro crítico de degradação ambiental. A área foi totalmente desmatada, com a vegetação ciliar inteiramente removida e o solo exposto, agravando os processos erosivos e contribuindo para o assoreamento. A nascente, que antes apresentava características de um ambiente natural preservado, agora é apenas um buraco de água escura e turva, com odor fétido e manchas de óleo visíveis na superfície, indicativos claros de contaminação severa (Figura 23). A água tornou-se um depósito de esgoto bruto proveniente das residências ao redor, como confirmado por observações locais.

A área ao redor do ponto também reflete sinais de intensa degradação. O desmatamento recente, ocorrido entre 2023 e 2024, foi confirmado por imagens de satélite (Figuras 21 e 22) e conversas com moradores. A ampla supressão de vegetação teve como objetivo a preparação do terreno para construção, sendo a área destinada à edificação de um templo religioso, de acordo com os relatos dos próprios moradores. Eles também informaram que a instalação de manilhas para conduzir a água da nascente foi realizada por iniciativa própria, o que reforça a falta de planejamento ambiental e a ausência de medidas de mitigação.

Figura 21 — Imagem Google Earth de Abril de 2023 nas proximidades dos pontos PAR-1, PAR-2 e PAR-3.



Fonte: O autor (2025).

Figura 22 — Imagem Google Earth de Dezembro de 2024 nas proximidades dos pontos PAR-1, PAR-2 e PAR-3.



Fonte: O autor (2025).

Além disso, o canal natural do afluente foi completamente soterrado, interrompendo a conectividade hídrica com o restante do sistema fluvial do Córrego Cachimbo. Esse aterramento

eliminou funções ecológicas essenciais, como a drenagem e o suporte à biodiversidade. As imagens capturadas em campo mostram a presença de resíduos sólidos e orgânicos descartados na área, incluindo materiais de construção e lixo doméstico, que contribuem para o aumento da poluição. A ausência de vegetação ciliar agrava a vulnerabilidade do solo, enquanto a exposição ao esgoto bruto e ao descarte inadequado de resíduos intensifica o impacto cumulativo.

Os sinais visíveis de degradação são severos. A água, agora escura e contaminada, é cercada por galhos secos e resíduos orgânicos que indicam a total desconexão do ponto com o ciclo ecológico natural. A fauna local está completamente ausente, destacando a perda do habitat natural e a inviabilidade do ambiente em sustentar espécies nativas. A presença de manchas de óleo na superfície da água é um indicativo adicional de contaminação grave, comprometendo ainda mais a qualidade ambiental da nascente.

O ponto PAR-3 apresenta o quadro mais severo de degradação entre todos os avaliados. A nascente, que outrora tinha relevância ecológica e social, foi transformada em um depósito de esgoto e resíduos. A ausência de planejamento ambiental, somada à ocupação irregular e à supressão da vegetação, resultou na completa perda das funções ecológicas e na descaracterização total do ambiente. A classificação "Ruim", com a pontuação mais baixa registrada, reflete a gravidade da situação.

Figura 23 — Registro do olho d'água no ponto PAR-3, agora convertido em uma área de água escura, poluída e com galhos secos, evidenciando o processo de degradação ambiental da nascente.



Fonte: O autor (2024).

Figura 24 — Visão detalhada do olho d'água no ponto PAR-3, cercado por resíduos de vegetação e solo exposto, com água turva e presença de manchas de óleo na superfície.



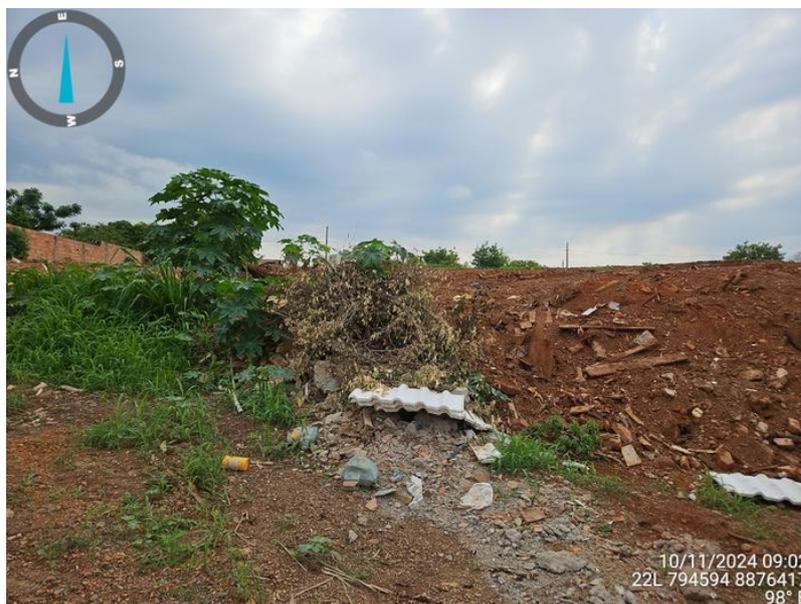
Fonte: O autor (2024).

Figura 25 — Lançamento de efluentes domésticos diretamente no olho d'água do Córrego Cachimbo.



Fonte: O autor (2024).

Figura 26 — Área desmatada próxima ao ponto PAR-3, utilizada como depósito de resíduos sólidos e de construção, agravando a vulnerabilidade ambiental do local.



Fonte: O autor (2024).

5.2.4 Ponto Avaliado PAR-4

O ponto PAR-4 está situado em um trecho intermediário do Córrego Cachimbo, especificamente na alameda que conecta o bairro Santo Amaro ao Lago Norte. A avaliação ambiental deste local revelou um cenário de preservação parcial, mas com sinais evidentes de degradação ambiental decorrentes de ocupação antrópica e manejo inadequado das margens. A vegetação ciliar, como mostram as fotos, mantém-se presente, com predominância de espécies arbóreas e arbustivas. Contudo, sua densidade e continuidade não são suficientes para proporcionar a proteção integral das margens, evidenciando um ecossistema fragilizado. A pontuação final atribuída ao ponto, com base nos critérios estabelecidos, foi de 50, classificando-o como "Regular".

As margens do córrego demonstram uma estabilidade moderada, com alguns sinais de erosão leve em trechos pontuais. A vegetação ciliar, embora presente, encontra-se fragmentada, o que reduz sua eficiência no controle de sedimentos, na proteção das margens e na preservação da fauna e flora locais. A existência de cercas próximas ao córrego, delimitando propriedades adjacentes, reforça o impacto das atividades humanas, restringindo a regeneração da vegetação natural e aumentando a pressão sobre o ambiente.

O entorno imediato do ponto é caracterizado por uma estrada de terra, evidenciada nas fotos, que conecta os bairros vizinhos (Figuras 27 e 28). Este fator contribui para o aumento do transporte de sedimentos para o leito do rio durante períodos de chuva, devido ao solo exposto e à ausência de práticas adequadas de manejo e controle de erosão. O impacto do tráfego de veículos e a falta de infraestrutura de drenagem adequada intensificam os riscos de assoreamento do leito do córrego, comprometendo sua capacidade de fluxo e sua funcionalidade ecológica.

Não foram identificados sinais de canalizações ou lançamentos diretos de esgoto no ponto avaliado, mas resíduos sólidos, como plásticos e detritos orgânicos, foram encontrados próximos ao córrego. Este descarte inadequado reflete a falta de conscientização ambiental e de sistemas eficazes de gestão de resíduos no local. Apesar da presença de vegetação em parte do trecho, o impacto cumulativo das atividades humanas na área é evidente, prejudicando a integridade do ecossistema e aumentando os riscos de degradação progressiva.

Em resumo, o ponto PAR-4 apresenta uma situação ambiental intermediária, onde elementos naturais coexistem com os impactos antrópicos. A localização estratégica na alameda que liga os bairros Santo Amaro e Lago Norte destaca a importância do local tanto para a mobilidade urbana quanto para a preservação ambiental. No entanto, a necessidade de intervenções voltadas para a recuperação e manejo adequado das margens é fundamental para garantir a sustentabilidade do trecho e evitar a progressão dos impactos observados.

Figura 27 — Vista das margens do Córrego Cachimbo no ponto PAR-4, mostrando a vegetação ciliar e residências particulares próximas.



Fonte: O autor (2024).

Figura 28 — Estrada de terra que conecta o bairro Santo Amaro ao Lago Norte, próxima ao ponto PAR-4, evidenciando o solo exposto e a ausência de manejo adequado para controle de sedimentos.



Fonte: O autor (2024).

Figura 29 — Área adjacente ao ponto PAR-4, onde é possível observar vegetação fragmentada e sinais de erosão leve nas margens do córrego.



Fonte: O autor (2024).

5.2.5 Ponto Avaliado PAR-5

O Ponto PAR-5 está localizado em um trecho da bacia do Córrego Cachimbo com vegetação parcialmente preservada, mas apresenta sinais claros de impactos antrópicos. Embora o local ainda mantenha certa cobertura vegetal nas margens, com presença de espécies arbustivas e arbóreas, há um evidente descarte irregular de resíduos sólidos, incluindo móveis descartados, como um sofá, e lixo doméstico, visíveis nas imagens fornecidas (Figura 30). A presença desses materiais evidencia um uso inadequado do espaço, que compromete a qualidade ambiental e pode contribuir para a poluição do curso d'água.

A estabilidade das margens foi avaliada como moderada, com sinais de deslizamento pontual e exposição do solo em alguns trechos. A vegetação ciliar, embora ainda presente, não é suficiente para garantir a proteção total contra processos erosivos, o que eleva o risco de carreamento de sedimentos para o córrego. As imagens mostram um canal parcialmente assoreado, com resíduos orgânicos e artificiais acumulados, prejudicando a dinâmica hídrica (Figura 31).

O córrego apresenta trechos de assoreamento e obstrução por galhos e vegetação caída, o que, aliado à presença de resíduos, compromete o fluxo natural da água. Não foram identificados sinais claros de esgoto doméstico lançado diretamente no ponto avaliado, mas o

uso inadequado da área e o descarte irregular aumentam o risco de contaminação hídrica em períodos de chuvas intensas, quando há maior carreamento de materiais para o leito.

Do ponto de vista da fauna local, não foram observados sinais relevantes de presença de animais silvestres ou aquáticos no momento da análise. Isso pode estar relacionado à degradação ambiental e à presença de resíduos, que alteram as condições do habitat. Embora ainda exista cobertura vegetal, o ambiente não se apresenta adequado para o suporte de uma biodiversidade significativa.

A classificação final para o Ponto PAR-5, com base nos critérios avaliados, foi de 40 pontos, o que o coloca na categoria "Regular (impactado)" segundo a metodologia aplicada. Apesar de apresentar características de áreas menos impactadas, como a manutenção parcial da vegetação e a ausência de canalização, o descarte de resíduos sólidos e os sinais de degradação ambiental demonstram que o local não está em um estado adequado de conservação. É necessária uma intervenção para a remoção de resíduos, fortalecimento da vegetação ciliar e sensibilização da comunidade local quanto ao uso sustentável da área, para evitar a ampliação dos impactos existentes e melhorar as condições ambientais do trecho.

Figura 30 — Vista das margens do córrego no Ponto PAR-5, destacando o descarte irregular de resíduos sólidos, incluindo um sofá, em meio à vegetação ciliar.



Fonte: O autor (2024).

Figura 31 — Trecho do córrego no Ponto PAR-5, com indícios de assoreamento e presença de resíduos orgânicos e artificiais no leito.



Fonte: O autor (2024).

5.2.6 Ponto Avaliado PAR-6

O Ponto PAR-6 está situado na confluência entre a saída de um gabião do sistema de drenagem pluvial e o leito do Córrego Cachimbo, representando um trecho de elevada complexidade ambiental devido às intensas modificações antrópicas. Este ponto evidencia as consequências de intervenções de infraestrutura urbana no regime hidrológico e na integridade ambiental do córrego, destacando-se como um local crítico dentro da sub-bacia.

O gabião foi projetado para estabilizar as margens e controlar a erosão no entorno imediato da saída do sistema de drenagem pluvial (Figura 32). Contudo, as observações de campo e os registros fotográficos demonstram que os efeitos hidrológicos cumulativos provenientes do escoamento pluvial têm agravado os impactos no córrego. A descarga concentrada das águas pluviais aumenta significativamente a força do fluxo, promovendo processos erosivos nas margens adjacentes e alterando a estabilidade do leito. Este cenário é agravado pela presença de barrancos expostos, que indicam falhas no manejo da drenagem e na contenção da erosão (Figuras 33 e 34).

A deposição de sedimentos é intensificada pela ação das águas pluviais, sendo evidente tanto nas margens quanto no leito do córrego. Este processo contribui para o assoreamento e compromete a capacidade do canal de sustentar funções ecológicas essenciais, como o suporte

à fauna e flora locais. A vegetação ciliar, apesar de parcialmente presente, é dominada por espécies herbáceas e arbustos, com ausência de espécies arbóreas nativas de porte significativo, o que reduz sua eficácia na proteção das margens e no controle de processos erosivos. Além disso, a compactação do solo e a exposição de áreas desprotegidas ao redor do gabião agravam a vulnerabilidade do trecho durante períodos de precipitação intensa.

A ausência de sinais visíveis de fauna aquática e terrestre reflete o estado crítico de fragmentação ecológica e a degradação do habitat natural no ponto avaliado. A conectividade ecológica foi profundamente alterada pelas intervenções, com limitações na disponibilidade de substratos e na qualidade da água, fatores essenciais para a manutenção da biodiversidade local. O transporte de resíduos sólidos pelo sistema de drenagem urbana, ainda que em menor escala neste trecho, potencializa os impactos ambientais e compromete ainda mais a integridade do córrego.

Com base nos critérios do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), o Ponto PAR-6 recebeu notas que refletem fielmente o estado ambiental do local. A vegetação ciliar (nota 5) e a disponibilidade de habitats (nota 5) apresentam classificações intermediárias, condizentes com a baixa densidade de cobertura vegetal e a reduzida diversidade estrutural. Já a estabilidade das margens (nota 2) e as alterações antrópicas no canal (nota 2) indicam um alto grau de impacto, diretamente relacionado à descarga concentrada das águas pluviais e à ausência de medidas efetivas para mitigar a erosão e o transporte de sedimentos.

A avaliação do PAR-6 reforça a necessidade de intervenções integradas para minimizar os impactos observados. Recomenda-se a revegetação das margens com espécies nativas de maior porte, a implementação de dispositivos que reduzam a energia do fluxo pluvial na saída do gabião e a adoção de práticas de manejo de sedimentos ao longo do sistema de drenagem urbana.

Figura 32 — Imagem que mostra a saída do gabião utilizado para conter a erosão e organizar o fluxo hídrico, conectando o sistema de drenagem pluvial ao leito do Córrego Cachimbo. Observa-se vegetação esparsa e evidências de transporte de sedimentos no entorno.



Fonte: O autor (2024).

Figura 33 — Registro das margens expostas ao redor da saída do gabião, evidenciando a erosão progressiva causada pela força do fluxo das águas pluviais descarregadas no córrego.



Fonte: O autor (2024).

Figura 34 — Detalhe de uma das margens adjacentes à saída do gabião, mostrando barrancos expostos e indícios de erosão ativa, resultado da força das águas pluviais canalizadas.



Fonte: O autor (2024).

Figura 35 — Trecho do córrego que recebe a descarga de águas pluviais provenientes do gabião. O local apresenta alterações significativas no leito e nas margens, com sinais de instabilidade e processos erosivos em andamento.



Fonte: O autor (2024).

5.2.7 Ponto Avaliado PAR-7

O Ponto PAR-7 está localizado logo após as manilhas de drenagem que escoam o excesso de água de uma represa situada a montante, no trecho jusante do Córrego Cachimbo. Este local sofreu significativas alterações em decorrência do rompimento da represa em 2023, devido à ausência de galerias adequadas para o escoamento de água. Após o evento, a prefeitura implementou ações corretivas, incluindo a reconstrução da rua vicinal e do barranco e a instalação de manilhas para drenagem (Figura 39), que agora direcionam o fluxo hídrico do reservatório para o córrego. A área também é utilizada para pesca recreativa, destacando sua importância social e ambiental (Figura 36).

Apesar das intervenções realizadas, o local ainda apresenta características que refletem os impactos cumulativos das atividades humanas e eventos de ruptura. O trecho avaliado no PAR-7 evidencia um ambiente em processo de recuperação parcial, mas com limitações notáveis. O leito do córrego na área de confluência das manilhas apresenta instabilidade, com margens expostas e processos erosivos visíveis, agravados pela alta carga de sedimentos transportados. A presença de rochas e materiais adicionais, aparentemente utilizados como reforço para contenção, não é suficiente para estabilizar totalmente as margens e mitigar os impactos.

A vegetação marginal, embora presente em alguns trechos, é insuficiente para garantir a proteção ecológica do ambiente. Espécies herbáceas predominam, com limitada cobertura arbórea, o que reduz a capacidade de estabilização das margens e a retenção de sedimentos. A alta turbidez da água no trecho avaliado e na represa a montante é indicativa de processos erosivos intensos e da deposição contínua de sedimentos. A situação é agravada pelo solo exposto em áreas próximas à intervenção, resultando na continuidade do transporte de material particulado para o canal.

O rompimento anterior da represa também impactou a conectividade ecológica do trecho, com alterações significativas na dinâmica hídrica e no fluxo de sedimentos. Os processos erosivos e deposição de materiais alteraram o perfil do canal e o equilíbrio ecológico local. Não foram observadas evidências de fauna aquática ou silvestre no trecho, reforçando a hipótese de que os eventos passados e as condições atuais prejudicaram a biodiversidade e os habitats aquáticos.

A avaliação do PAR-7, com base nos critérios do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), reflete a gravidade das condições ambientais. A pontuação atribuída ao ponto para critérios

como estabilidade das margens (nota 2) e deposição de sedimentos (nota 2) é consistente com as evidências de instabilidade e assoreamento. Por outro lado, a presença parcial de vegetação ciliar (nota 5) e habitats limitados (nota 5) indicam potencial para recuperação mediante intervenções adicionais.

A recente instalação das manilhas e a reconstrução da estrada vicinal demonstram esforços para mitigar os impactos das chuvas intensas e do rompimento da represa. No entanto, medidas adicionais são necessárias para assegurar a estabilidade ecológica do trecho. Recomenda-se a revegetação das margens com espécies nativas, o monitoramento contínuo dos processos erosivos e a implementação de estratégias para minimizar a carga de sedimentos transportados. A represa utilizada para pesca recreativa deve ser integrada a um plano de manejo ambiental que garanta a conservação de suas funções hídricas e ecológicas.

Figura 36 — Vista da represa utilizada para pesca recreativa, a montante do PAR-7. A água apresenta alta turbidez, indicando possíveis processos erosivos e transporte de sedimentos advindos do entorno.



Fonte: O autor (2024).

Figura 37 — Vista geral do trecho avaliado no PAR-7, localizado logo após as manilhas de drenagem que escoam o excesso de água da represa. A vegetação marginal apresenta indícios de recuperação parcial, embora ainda exista solo exposto na margem.



Fonte: O autor (2024).

Figura 38 — Detalhe do leito do córrego na área de influência do PAR-7. Observam-se rochas e sedimentos que reforçam a estrutura local, mas evidenciam também o impacto do rompimento anterior da represa.



Fonte: O autor (2024).

Figura 39 — Estrutura de drenagem recentemente instalada pela prefeitura, com manilhas de escoamento do excesso de água da represa. Apesar da intervenção, a presença de sedimentos e erosão é evidente.



Fonte: O autor (2024).

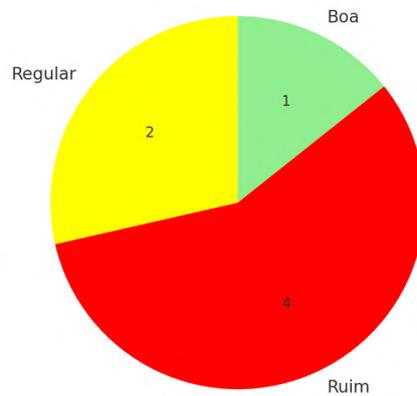
5.3 DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DO PAR SEGMENTADA POR CRITÉRIO AVALIADO

5.3.1 Estabilidade das margens

O critério "Estabilidade das Margens" avalia o grau de conservação das margens de um curso d'água, considerando fatores como a presença de erosão, deslizamentos e intervenções humanas que possam comprometer sua integridade estrutural. Margens estáveis são essenciais para garantir a proteção do leito fluvial, prevenir processos erosivos e promover a conservação da biodiversidade associada ao ecossistema ripário. Este critério observa, especificamente, sinais de erosão, exposição do solo, compactação, presença de vegetação ciliar e possíveis intervenções como canalizações ou aterros.

Gráfico 1 — Critério Avaliado: Estabilidade das margens (Esquerda)

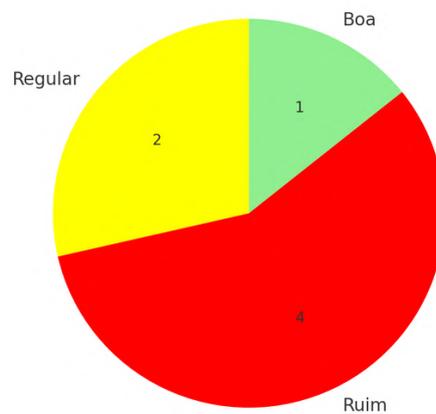
Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Esquerda)



Fonte: O autor (2024).

Gráfico 2 — Critério Avaliado: Estabilidade das margens (Direita)

Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Direita)



Fonte: O autor (2024).

Com base nos gráficos apresentados, os resultados indicam que a maioria dos pontos avaliados apresenta condições "Ruim". Na margem esquerda, seis pontos foram classificados como "Ruim" e apenas um como "Boa", enquanto na margem direita, cinco pontos foram classificados como "Ruim" e dois como "Boa". Isso demonstra uma predominância de instabilidade nas margens avaliadas, com sinais de erosão, ausência de vegetação ciliar adequada e intervenções humanas impactantes.

Esses resultados refletem problemas semelhantes aos encontrados em outros estudos. Por exemplo, o estudo do córrego João Cesário identificou instabilidade nas margens devido à ausência de vegetação ciliar e à ocupação desordenada, fatores que agravaram processos erosivos e comprometeram a integridade do leito fluvial (Dias *et al.*, 2024). Da mesma forma, a aplicação do PARU no Rio Palmital também revelou margens predominantemente instáveis, associadas à compactação do solo, erosão severa e ausência de manejo ambiental adequado, reforçando a similaridade com os dados apresentados aqui (Campos; Nucci, 2021).

Além disso, o estudo da bacia do rio Araranguá demonstrou que margens instáveis estão diretamente relacionadas à perda de vegetação nativa e à intensificação da urbanização desordenada, o que resulta em processos erosivos e assoreamento em trechos significativos dos cursos d'água avaliados (Da Silva *et al.*, 2023).

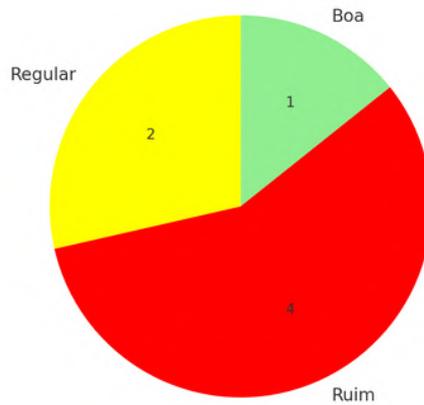
A degradação das margens observada nos pontos avaliados está diretamente relacionada à supressão da vegetação ripária e ao lançamento de resíduos sólidos no curso d'água. Dessa forma, a análise da conservação da mata ciliar permite compreender melhor os impactos associados à estabilidade das margens.

5.3.2 Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria

A análise do parâmetro "Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria" busca avaliar a qualidade e a extensão da vegetação ripária ao longo das margens dos corpos d'água. Este critério é essencial para a manutenção das funções ecológicas dos cursos d'água, como controle de erosão, proteção contra assoreamento e suporte à biodiversidade. A presença de vegetação nativa em bom estado de conservação é um indicativo de estabilidade ambiental, enquanto a ausência ou degradação dessa vegetação pode levar a impactos severos nos ecossistemas aquáticos.

Gráfico 3 — Critério Avaliado: Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria (Esquerda)

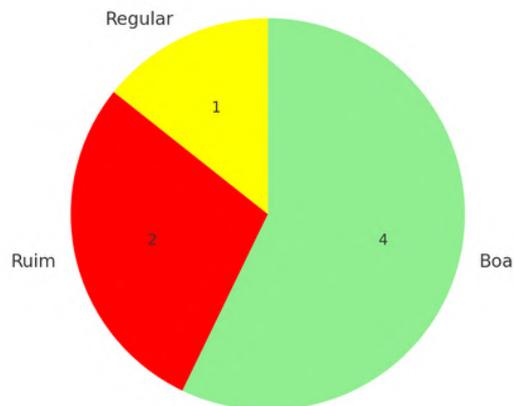
Critério Avaliado: Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria (Esquerda)



Fonte: O autor (2024).

Gráfico 4 — Critério Avaliado: Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria (Direita)

Critério Avaliado: Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria (Direita)



Fonte: O autor (2024).

A análise do parâmetro "Presença e estado de conservação da mata ciliar/galeria" busca avaliar a qualidade e a extensão da vegetação ripária ao longo das margens dos corpos d'água. Este critério é essencial para a manutenção das funções ecológicas dos cursos d'água, como controle de erosão, proteção contra assoreamento e suporte à biodiversidade. A presença de vegetação nativa em bom estado de conservação é um indicativo de estabilidade ambiental,

enquanto a ausência ou degradação dessa vegetação pode levar a impactos severos nos ecossistemas aquáticos.

Os gráficos indicam um cenário preocupante, sobretudo para a margem esquerda, onde quatro dos sete pontos foram classificados como "Ruim", dois como "Regular" e apenas um como "Boa". Já na margem direita, observa-se uma melhor distribuição das condições: quatro pontos foram classificados como "Boa", enquanto dois foram "Ruim" e um "Regular".

Esses resultados refletem as intensas pressões antrópicas sobre as áreas de preservação permanente (APPs) do Córrego Cachimbo. Na margem esquerda, a ausência de vegetação nativa em vários pontos é evidente, sendo substituída por solo exposto e, em alguns casos, por ocupação urbana ou obras não planejadas. Na margem direita, apesar de apresentar maior quantidade de pontos em condições "Boa", ainda há locais com vegetação fragmentada ou degradada.

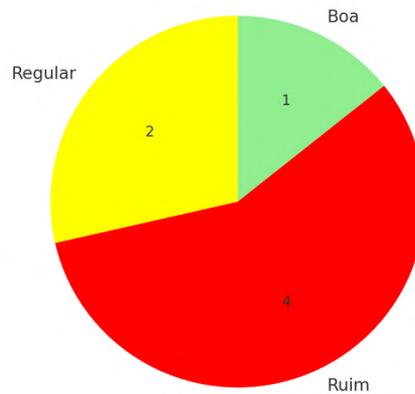
Comparando com os estudos da literatura, os resultados corroboram os achados descritos no trabalho de Campos e Nucci (2021), que apontaram condições semelhantes em áreas urbanas impactadas pela supressão de mata ciliar. Além disso, os resultados se alinham com a pesquisa realizada no Córrego João Cesário (Dias *et al.*, 2024), onde a degradação da vegetação ripária também foi identificada como fator determinante para a diminuição da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico.

5.3.3 Ocupação das margens do rio

O critério “Ocupação das margens do rio” é fundamental para avaliar a influência do uso antrópico nas áreas marginais dos cursos d’água. Ele observa como as margens são ocupadas por estruturas urbanas, industriais, comerciais ou residenciais, e os impactos causados pela supressão da vegetação natural. O córrego Cachimbo, em particular, apresenta uma situação crítica, pois atravessa dois bairros não planejados: Santo Amaro e Lago Norte. Este último, inclusive, é uma área de ocupação irregular, sem regularização fundiária, o que agrava ainda mais a vulnerabilidade ambiental do curso d’água.

Gráfico 5 — Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Esquerda)

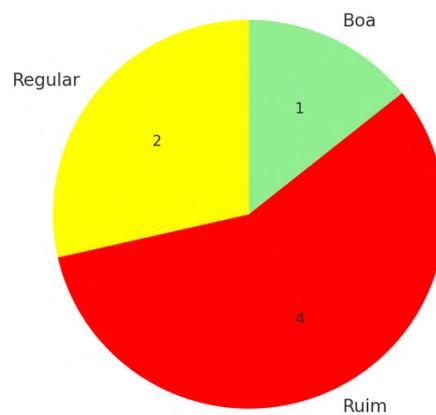
Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Esquerda)



Fonte: O autor (2024).

Gráfico 6 — Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Direita)

Critério Avaliado: Ocupação das margens do rio (Direita)



Fonte: O autor (2024).

Os gráficos indicam que, em ambos os lados (direito e esquerdo) das margens, quatro pontos foram classificados como “Ruim”, evidenciando ocupações intensivas e desordenadas que eliminam praticamente todas as funções ecológicas das margens, como controle de erosão, retenção de sedimentos e suporte à biodiversidade local. Dois pontos foram classificados como “Regular”, indicando que, embora ainda impactados, esses trechos mantêm características mínimas de proteção ambiental. Apenas um ponto foi avaliado como “Boa” condição, onde há menor interferência antrópica e algum nível de preservação da vegetação ciliar.

Os impactos observados são consistentes com estudos realizados em outros cenários urbanos. No trabalho desenvolvido por Do Nascimento *et al.* (2020), que investigou o baixo curso das bacias dos rios Reis Magos e Jacaraípe, no Espírito Santo, observou-se que a ocupação irregular das margens levou a uma degradação acelerada das áreas ripárias. Da mesma forma, o estudo de Jesus *et al.* (2023), realizado no Córrego do Veado, no estado de São Paulo, destacou como a ausência de planejamento urbano e o crescimento desordenado impactam diretamente na qualidade ambiental das margens e dos cursos d'água.

O córrego Cachimbo reflete esse padrão, especialmente no bairro Lago Norte, onde a ocupação irregular tem gerado uma série de impactos cumulativos, incluindo o desmatamento das margens, deposição de resíduos e o comprometimento do leito natural. A proximidade das residências com o curso d'água não apenas elimina as funções ecológicas das margens, mas também aumenta os riscos de poluição hídrica e sedimentação excessiva. No bairro Santo Amaro, a ocupação desordenada também contribui para a degradação ambiental, embora de forma menos intensa.

Essas observações são corroboradas pelo artigo de Da Silva *et al.* (2023), que demonstrou que margens ocupadas de forma desordenada em áreas urbanas comprometem não apenas a integridade ecológica local, mas também a conectividade do curso d'água com áreas adjacentes. Além disso, o artigo enfatiza que a falta de regularização fundiária, como no caso do bairro Lago Norte, impede ações efetivas de manejo e recuperação ambiental.

Portanto, os resultados reforçam a necessidade urgente de ações de manejo sustentável e regularização fundiária no entorno do córrego Cachimbo. A predominância de pontos classificados como “Ruim” nas margens reflete uma realidade preocupante, onde o crescimento desordenado e a ocupação irregular comprometem a integridade do ambiente ripário. A regularização e a implementação de zonas de proteção ambiental podem mitigar esses impactos, promovendo a recuperação das funções ecológicas das margens e a melhoria da qualidade ambiental do córrego.

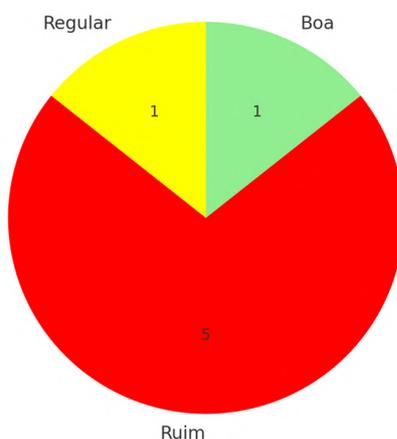
5.3.4 Resíduos Sólidos

O critério “Resíduos sólidos (lixo)” avalia a presença e a dispersão de resíduos sólidos nas margens e no leito dos cursos d'água, considerando o impacto direto dessa poluição na qualidade ambiental e na funcionalidade ecológica do ambiente ripário. Os resíduos sólidos representam um dos principais problemas em áreas urbanas, refletindo tanto a ausência de

infraestrutura adequada de coleta quanto a falta de conscientização ambiental da população local.

Gráfico 7 — Critério Avaliado: Resíduos Sólidos

Critério Avaliado: Resíduos sólidos (lixo)



Fonte: O autor (2024).

No caso do córrego Cachimbo, os resultados indicam que cinco pontos foram classificados como “Ruim”, evidenciando uma alta presença de resíduos sólidos ao longo das margens e no entorno do córrego. Apenas um ponto foi classificado como “Boa” condição, demonstrando ausência ou baixa quantidade de lixo, enquanto um ponto obteve a classificação “Regular”, representando uma presença moderada de resíduos que, embora impactante, não atinge níveis alarmantes.

Esses resultados estão alinhados com os achados apresentados no trabalho de Campos e Nucci (2021) no Rio Palmital, estado do Paraná, que aponta a presença de resíduos sólidos como um dos principais indicadores de degradação em bacias urbanas. De forma similar, o estudo realizado na bacia do rio Araranguá, em Santa Catarina, destacou que resíduos acumulados nas margens comprometem não apenas a qualidade visual, mas também o equilíbrio ecológico dos corpos d’água, aumentando os riscos de assoreamento e poluição química (Da Silva *et al.*, 2023).

A predominância de pontos classificados como “Ruim” no córrego Cachimbo está diretamente associada à ocupação irregular e ao crescimento desordenado nos bairros Santo Amaro e Lago Norte, que margeiam o curso d’água. A ausência de políticas públicas eficientes para o manejo e coleta de resíduos agrava a situação, permitindo o acúmulo de lixo,

especialmente em áreas de ocupação irregular, como o bairro Lago Norte. Este fato foi destacado no estudo de De Alcântara *et al.* (2023), no Riacho das Porteiras, Petrolina, PE, onde ocupações irregulares foram diretamente ligadas ao aumento da poluição por resíduos sólidos.

Além disso, o descarte inadequado de resíduos sólidos não apenas compromete a estética da paisagem, mas também gera impactos ecológicos significativos. A poluição por resíduos contribui para o entupimento de canais naturais, altera a dinâmica hídrica e afeta a fauna local, como observado no estudo de Jesus *et al.* (2023) realizado na Bacia Hidrográfica do Córrego do Veado, que identificou que resíduos em áreas urbanas aumentam a vulnerabilidade dos cursos d'água a eventos extremos, como enchentes e assoreamento.

Portanto, a presença predominante de resíduos sólidos no córrego Cachimbo é um reflexo direto do contexto socioeconômico e ambiental da região. A implementação de programas de coleta seletiva, aliada a campanhas de conscientização e fiscalização ambiental, é essencial para reverter esse quadro e promover uma gestão sustentável dos resíduos sólidos na bacia do córrego Cachimbo.

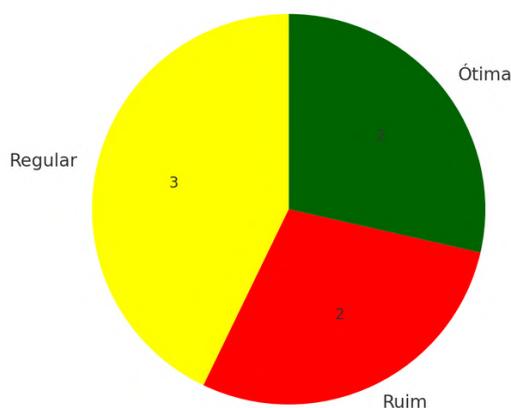
A predominância de resíduos sólidos na bacia do Córrego Cachimbo reflete não apenas a ocupação desordenada, mas também a ausência de políticas públicas eficazes voltadas à gestão de resíduos em comunidades vulneráveis. Estudos apontam que estratégias como a ampliação da coleta seletiva e a instalação de ecopontos em áreas críticas podem minimizar esse impacto, promovendo um manejo mais sustentável dos resíduos urbanos

5.3.5 Esgoto doméstico e efluente industrial

O critério Esgoto doméstico e efluente industrial avalia a presença, evidência visual ou olfativa, e o impacto de despejos de efluentes não tratados, seja doméstico ou industrial, no curso do rio. Esse parâmetro é essencial para compreender a qualidade ambiental e sanitária do corpo d'água, uma vez que os despejos de esgoto e efluentes são responsáveis por grande parte da poluição hídrica em áreas urbanas.

Gráfico 8 — Critério Avaliado: Esgoto doméstico e efluente industrial

Critério Avaliado: Esgoto doméstico e efluente industrial



Fonte: O autor (2024).

A análise dos resultados para o Córrego Cachimbo demonstra um cenário variado, com dois pontos classificados como "ótima", três como "regular" e dois como "ruim". Essa disparidade indica que, enquanto algumas áreas ainda preservam boas condições quanto à ausência de lançamento de efluentes, outras sofrem com a introdução direta de esgoto doméstico, típico de regiões urbanas densamente ocupadas e desprovidas de infraestrutura adequada para coleta e tratamento de esgoto.

De acordo com o estudo desenvolvido por Rodrigues (2022) no município de Palmas, TO, observou-se que o lançamento direto de esgoto é um problema recorrente em microbacias urbanas como a do Córrego Cachimbo. A ausência de saneamento básico adequado nos bairros Santo Amaro e Lago Norte agrava a situação, especialmente no Lago Norte, uma área de ocupação irregular sem regularização fundiária. Este padrão é corroborado por Rodrigues (2022), que destaca a sobrecarga nos sistemas de saneamento e a proliferação de lançamentos clandestinos em áreas de urbanização descontrolada.

Além disso, as condições de "ruim" nos pontos analisados apresentam evidências claras de lançamento direto de esgoto doméstico, como manchas escuras na água, odor característico e presença de espumas, o que é consistente com os resultados relatados por estudos semelhantes realizados em bacias urbanas no Espírito Santo (Do Nascimento *et al.*, 2020) e Santa Catarina (Da Silva *et al.*, 2023). Tais evidências são indicativos de poluição orgânica e de degradação da qualidade da água, limitando os usos múltiplos do recurso hídrico e comprometendo a biodiversidade aquática.

Os pontos classificados como "regular" sugerem a presença intermitente ou parcial de esgoto, ou até mesmo indícios de lançamentos passados. No entanto, esses trechos ainda enfrentam riscos de degradação mais intensa devido à proximidade com áreas de ocupação urbana densa. Já os dois pontos classificados como "ótima" representam trechos preservados, possivelmente localizados em áreas menos urbanizadas ou com menor densidade populacional.

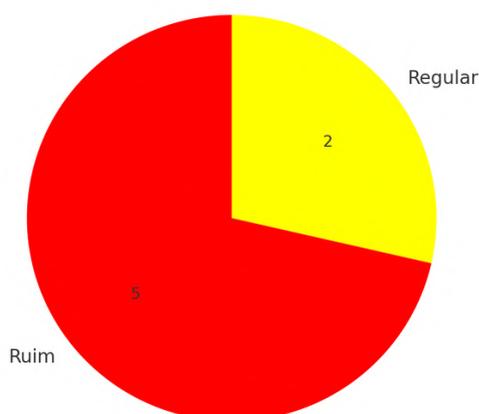
A gestão da qualidade hídrica no Córrego Cachimbo requer intervenções urgentes, como a expansão da cobertura de coleta e tratamento de esgoto nos bairros vizinhos, especialmente em áreas de ocupação irregular. Além disso, ações de fiscalização ambiental e programas de educação ambiental podem mitigar o impacto dos despejos efluentes, contribuindo para a recuperação e preservação da bacia hidrográfica.

5.3.6 Alterações antrópicas no canal fluvial

O critério Alterações antrópicas no canal fluvial avalia as intervenções humanas diretamente no leito e nas margens do curso d'água, como canalizações, retificações, barreiras artificiais ou outras modificações que alterem sua morfologia e dinâmica natural. Este parâmetro é fundamental para medir a extensão do impacto humano no equilíbrio ambiental e ecológico do canal fluvial.

Gráfico 9 — Critério Avaliado: Alterações antrópicas no canal fluvial

Critério Avaliado: Alterações antrópicas no canal fluvial



Fonte: O autor (2024).

A análise dos resultados para o Córrego Cachimbo mostra que a maioria dos pontos avaliados (cinco) foi classificada como "ruim", enquanto dois foram classificados como "regular". Não foram registrados pontos com condições "boas" ou "ótimas", indicando que o canal fluvial em toda a extensão avaliada sofre pressões significativas de intervenções humanas.

Os pontos classificados como "ruim" exibem evidências claras de alterações severas, como canalizações com manilhas, soterramento do leito natural e modificação intensa das margens, muitas vezes associadas à ocupação urbana desordenada. Essas condições corroboram os resultados de estudos realizados em outras bacias urbanas, como no Córrego João Cesário, em Anápolis, Goiás, (Dias *et al.*, 2024) e no Riacho das Porteiras, em Petrolina, Pernambuco (De Alcântara *et al.*, 2023), onde as alterações antrópicas comprometem severamente a integridade ambiental dos canais, alterando sua hidrodinâmica e prejudicando os serviços ecossistêmicos associados.

Os pontos classificados como "regular" apresentam intervenções menos intensas, mas ainda demonstram impactos consideráveis, como trechos com barreiras artificiais e alterações pontuais no leito. Esses resultados são semelhantes aos observados na bacia do Rio Araranguá (Da Silva *et al.*, 2023), onde trechos considerados "regulares" ainda mantêm alguma conectividade ecológica, mas estão em risco devido à expansão urbana.

As canalizações e retificações, identificadas como principais fontes de impacto, são frequentemente motivadas por objetivos de controle de enchentes e urbanização em áreas de ocupação irregular, como observado no bairro Lago Norte, uma invasão sem regularização fundiária, e no bairro Santo Amaro, conforme descrito por Rodrigues (2022). Essas práticas eliminam a dinâmica natural do canal, prejudicam a recarga hídrica e aumentam os processos erosivos e o transporte de sedimentos.

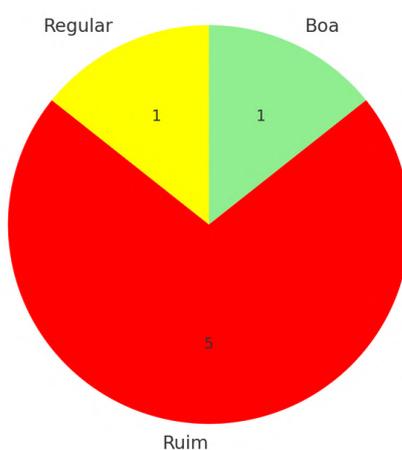
Esses dados destacam a necessidade de estratégias de mitigação, incluindo a renaturalização de trechos canalizados e a criação de áreas de preservação permanente (APPs) nas margens do córrego. Ações de gestão integrada, como as discutidas no trabalho de Dias *et al.* (2024), são essenciais para restaurar a funcionalidade ecológica do canal e minimizar os impactos das alterações antrópicas. A aplicação de técnicas baseadas na natureza, como a implantação de bacias de retenção e bioengenharia nas margens, pode oferecer soluções sustentáveis para a recuperação desses ambientes degradados.

5.3.7 Deposição de sedimentos

O critério de deposição de sedimentos avalia a presença, distribuição e impacto de sedimentos ao longo do curso do rio, identificando áreas de assoreamento e sua relação com atividades antrópicas. Este parâmetro é crucial para compreender as alterações morfológicas e a capacidade de escoamento do canal fluvial, bem como os impactos na biodiversidade aquática e na qualidade da água.

Gráfico 10 — Critério Avaliado: Deposição de sedimentos

Critério Avaliado: Deposição de sedimentos



Fonte: O autor (2024).

As áreas classificadas como "ruim" estão diretamente associadas à ocupação urbana desordenada, principalmente nos bairros Santo Amaro e Lago Norte. A ausência de controle sobre processos erosivos e a falta de manutenção das margens contribuem para o aumento do transporte de sedimentos para o canal fluvial.

O único ponto classificado como "boa" representa um trecho onde há menor interferência antrópica, indicando que a deposição de sedimentos ocorre em níveis naturais, sem comprometer significativamente o fluxo do rio. Esse resultado se assemelha ao observado por autores como Campos e Nucci (2021), que relataram condições similares em microbacias urbanas parcialmente preservadas.

Os impactos da deposição de sedimentos observados no Córrego Cachimbo refletem problemas estruturais na gestão ambiental local. Estudos como o de De Alcântara *et al.* (2023) destacam que a deposição excessiva de sedimentos é um indicador chave de degradação

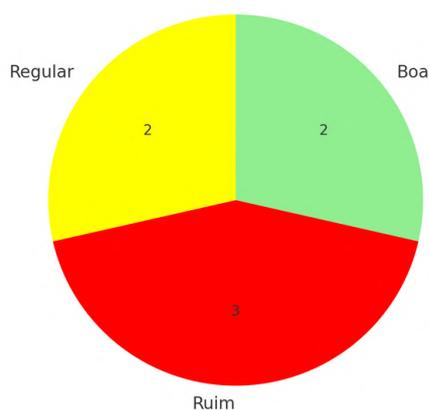
ambiental em bacias urbanas, estando frequentemente associada ao desmatamento das margens, ausência de infraestrutura de drenagem adequada e práticas de manejo do solo ineficientes.

5.3.8 Substratos e/ou habitat disponíveis

O critério de substratos e/ou habitat disponíveis avalia a qualidade e a quantidade de substratos presentes no leito do rio, como pedras, cascalhos, troncos, galhos e vegetação submersa, que possam servir como habitat para organismos aquáticos. Esse parâmetro é essencial para avaliar a capacidade ecológica do ambiente e sua aptidão para sustentar a biodiversidade.

Gráfico 11 — Critério avaliado: Substratos e/ou habitat disponíveis

Critério Avaliado: Substratos e/ou habitat disponíveis



Fonte: O autor (2024).

Os resultados do Córrego Cachimbo demonstram que dois pontos foram classificados como "boa", dois como "regular" e três como "ruim". Os pontos com classificação "boa" possuem substratos diversos e em quantidade suficiente para sustentar comunidades aquáticas saudáveis, geralmente localizados em áreas menos impactadas por atividades humanas. Os trechos "regular" apresentam substratos disponíveis em menor variedade e quantidade, comprometendo parcialmente a qualidade do habitat. Já os trechos classificados como "ruim" apresentam ausência de substratos adequados, com prevalência de fundos lamacentos e depósitos de matéria orgânica, frequentemente associados ao assoreamento e à deposição de resíduos.

Resultados semelhantes são observados no estudo de Dias *et al.* (2024) para o Diagnóstico das Condições Ambientais do Córrego João Cesário e de suas Áreas de Preservação Permanente, que destacam que a falta de substratos adequados está diretamente relacionada ao assoreamento e ao aporte excessivo de sedimentos finos nos cursos d'água, afetando negativamente a biodiversidade aquática. A urbanização desordenada, identificada como um fator de pressão no entorno do Córrego Cachimbo, contribui para esses impactos, especialmente nas áreas de ocupação irregular, como o Lago Norte, onde a ausência de regularização fundiária agrava os problemas ambientais.

A ausência de matas ciliares e a compactação do solo nas margens do Córrego Cachimbo intensificam a vulnerabilidade dos substratos no leito do rio. O artigo de Campos e Nucci (2021) reforça que a degradação das margens reduz a capacidade do ecossistema fluvial de amortecer os impactos gerados pela ocupação urbana desordenada.

5.3.9 Soterramento

O critério de soterramento avalia o nível de deposição de sedimentos que impactam o curso natural do rio e a capacidade do leito em suportar a biodiversidade aquática. Esse parâmetro está diretamente relacionado ao manejo inadequado do solo no entorno do curso d'água, à ausência de vegetação ciliar e às práticas de ocupação desordenada.

Gráfico 12 — Critério avaliado: Soterramento



Fonte: O autor (2024).

Os resultados para o Córrego Cachimbo indicam que três pontos foram classificados como "ruim", três como "regular" e apenas um como "boa". Os pontos classificados como "ruim" refletem áreas com deposição excessiva de sedimentos, onde o leito está quase totalmente obstruído, prejudicando o fluxo natural da água e comprometendo os habitats aquáticos. Essas áreas geralmente coincidem com regiões de ocupação urbana intensa e ausência de medidas de manejo e controle da erosão. Já os pontos classificados como "regular" apresentam deposição moderada, indicando que, embora o fluxo de água ainda ocorra, há sinais de degradação crescente, evidenciada pelo acúmulo de sedimentos finos e material orgânico. O único ponto classificado como "boa" sugere menor interferência humana, possivelmente localizado em trechos menos impactados ou com características naturais preservadas.

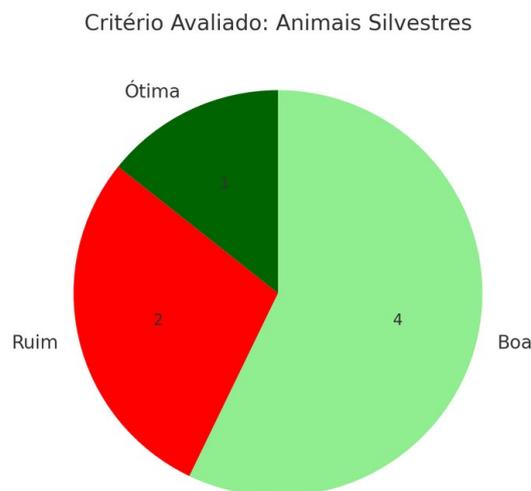
De acordo com o artigo de Campos e Nucci (2021), o soterramento é um dos principais indicadores de impacto ambiental em bacias urbanas, sendo resultado direto da falta de cobertura vegetal e do aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização do solo. A ausência de vegetação nas margens contribui para o transporte de sedimentos para o leito do rio, enquanto o uso inadequado do solo intensifica esse processo, especialmente em áreas como o Lago Norte, que apresenta ocupação irregular.

Estudos realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá em Santa Catarina (Da Silva *et al.*, 2023), indicam que o soterramento é uma característica comum em rios urbanos impactados pela expansão urbana não planejada. O acúmulo de sedimentos nessas áreas compromete não apenas o fluxo de água, mas também os serviços ecossistêmicos, como a purificação da água e o suporte à biodiversidade. A situação observada no Córrego Cachimbo reforça a necessidade de ações para mitigar os impactos, como a revegetação das margens, a implementação de práticas de manejo sustentável do solo e a criação de áreas de retenção para reduzir a carga sedimentar que atinge o leito do rio.

5.3.10 Animais Silvestres

O critério Animais Silvestres avalia a presença e diversidade de fauna ao longo do curso do rio e suas margens, funcionando como um indicador de qualidade ambiental e conservação do ecossistema. A ocorrência de animais silvestres pode revelar condições favoráveis para a manutenção da biodiversidade e a ausência de perturbações significativas.

Figura 40 — Critério avaliado: Animais Silvestres



Fonte: O autor (2024).

No Córrego Cachimbo, o gráfico evidencia que a maioria dos pontos avaliados apresenta condições "boas" (4 pontos), seguidos por "ruim" (2 pontos) e "ótima" (1 ponto). Isso indica que, embora haja trechos que permitem a presença de fauna silvestre, boa parte da área avaliada está comprometida devido a pressões antrópicas, como urbanização desordenada e poluição. A presença de áreas classificadas como "ruim" destaca os impactos significativos de atividades humanas na perda de habitat e biodiversidade.

Durante as observações de campo, foram identificados pássaros como bem-te-vi e sabiá, além de mamíferos como capivaras nas margens próximas à represa, reforçando a importância desses ambientes para a fauna local. Contudo, a ausência de animais em pontos classificados como "ruim" reflete a degradação dos habitats nesses trechos, muitas vezes associada à supressão de vegetação ciliar, descarte de resíduos sólidos e alterações físicas no leito do rio.

Estudos semelhantes apontam resultados alinhados com o observado. A pesquisa sobre o uso de Protocolo de Avaliação Rápida para avaliação da qualidade ambiental de córregos urbanos (Campos; Nucci, 2021) destaca a redução da fauna em áreas urbanizadas devido à perda de vegetação nativa e aumento de poluentes. Outro estudo, realizado na bacia hidrográfica do Rio Jacaraípe (Do Nascimento *et al.*, 2020), reforça que a fragmentação de habitats e a pressão por ocupações irregulares são os principais fatores para a redução de espécies silvestres.

No entanto, a presença de um ponto com classificação "ótima" sugere que ainda existem microhabitats favoráveis para a fauna, possivelmente localizados em áreas com menor interferência antrópica ou vegetação mais preservada. A recuperação desses ambientes pode ser

potencializada com a implementação de ações de reflorestamento e controle de poluição, contribuindo para a preservação da biodiversidade no Córrego Cachimbo.

5.3.11 Principais Impactos Ambientais Identificados no Córrego Cachimbo

A análise dos critérios avaliados revelou que o Córrego Cachimbo enfrenta diversos problemas ambientais significativos. Entre os principais está a ausência de vegetação ciliar adequada, que representa um dos maiores desafios para a estabilidade das margens e a proteção contra a erosão. Essa deficiência compromete a integridade do ecossistema e a capacidade do córrego de exercer suas funções ecológicas. Outro problema crítico é o lançamento de esgoto doméstico diretamente no curso d'água, resultando em poluição hídrica severa que afeta a qualidade da água e apresenta riscos à saúde pública.

O descarte inadequado de resíduos sólidos também se destaca como um fator de degradação ambiental, com lixo acumulado no leito e nas margens, comprometendo os ecossistemas locais e agravando a poluição. A urbanização desordenada, caracterizada pela ocupação irregular e pela falta de planejamento ou regularização fundiária, exerce uma pressão intensa sobre o córrego, intensificando os impactos ambientais e dificultando a gestão adequada da área. Por fim, as alterações no canal do rio, incluindo modificações físicas, soterramento e deposição excessiva de sedimentos, prejudicam o fluxo natural das águas e reduzem a capacidade do córrego de sustentar a biodiversidade.

5.4 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS UTILIZANDO A MATRIZ DE LEOPOLD

A matriz de Leopold, desenvolvida por Leopold (1968), configura-se como uma metodologia sistemática de análise e hierarquização de impactos ambientais, relacionando atividades humanas e componentes ecológicos de maneira estruturada. Por meio da interseção de variáveis, permite avaliar tanto a intensidade quanto a extensão dos impactos, oferecendo uma ferramenta robusta para a tomada de decisões em cenários complexos de gestão ambiental.

A análise dos impactos ambientais na Bacia do Córrego Cachimbo, conduzida por meio da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), revelou uma série de pressões

ecológicas com ampla distribuição geográfica e intensidade significativa, complementadas por registros fotográficos sistemáticos. Tais registros evidenciaram a presença de deposição irregular de resíduos sólidos, áreas extensas de solo exposto, compactação do solo em áreas de alta vulnerabilidade ambiental e fragmentação da vegetação ciliar. Esses elementos, articulados a condições de poluição hídrica e ocupação desordenada das margens, constituem os principais determinantes dos processos de degradação observados.

Figura 41 — Resíduos sólidos urbanos alocados de forma inadequada diretamente no solo - Setor Lago Norte



Fonte: O autor (2025).

Figura 42 — Local de descarte de resíduos sólidos na bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo



Fonte: O autor (2025).

Figura 43 — Lançamento de efluentes domésticos diretamente no solo - Setor Lago Norte - Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo



Fonte: O autor (2025).

A classificação dos impactos divide-se em três categorias principais: impactos físicos, bióticos e antrópicos. No âmbito físico, foram identificados a erosão acelerada das margens do córrego, o assoreamento do leito fluvial e a degradação do substrato, afetando os processos hidrológicos essenciais. No campo biótico, observa-se a perda substancial de biodiversidade, degradação de habitats aquáticos e terrestres, e fragmentação de corredores ecológicos. Por fim,

os impactos antrópicos incluem a deposição de resíduos, a urbanização sem planejamento e a manipulação inadequada do curso d'água por meio de intervenções como canalizações rudimentares.

Ademais, a presença de áreas desmatadas nas proximidades do córrego — frequentemente utilizadas para descarte de resíduos de construção civil — agrava significativamente os processos erosivos e compromete a resiliência ecológica. A poluição hídrica gerada pelo lançamento de esgotos domésticos não tratados, amplamente detectada nos pontos avaliados, reduz a qualidade da água, comprometendo os serviços ecossistêmicos e dificultando a recuperação dos sistemas aquáticos.

Os impactos ambientais mais severos identificados na Matriz de Leopold incluem erosão das margens, assoreamento do leito e poluição hídrica decorrente do lançamento de esgoto doméstico. Esses impactos possuem alta intensidade e longa duração, tornando sua reversibilidade difícil sem intervenções estruturais. Além disso, a fragmentação de habitats e a perda de biodiversidade são impactos significativos, reforçando a necessidade de estratégias de recuperação ambiental na bacia do Córrego Cachimbo.

Quadro 5 — Matriz de Leopold dos Impactos Ambientais registrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo

Impacto Ambiental	Aspectos Causadores	Intensidade	Extensão	Duração	Reversibilidade	Responsável pela Ação
Erosão das margens	Desmatamento, ocupação desordenada	Alta	Localizada	Longo prazo	Difícil	Indivíduos e empresas
Assoreamento do leito	Transporte de sedimentos	Alta	Regional	Longo prazo	Moderada	Indivíduos e empresas
Degradação da vegetação ciliar	Desmatamento, queimadas	Alta	Localizada	Médio prazo	Difícil	Sociedade em geral
Poluição hídrica	Esgoto doméstico	Alta	Regional	Longo prazo	Moderada	Residências
Descarte irregular de resíduos	Falta de gestão de resíduos	Média	Localizada	Médio prazo	Moderada	Indivíduos, empresas e municípios
Instabilidade das margens	Compactação do solo	Média	Localizada	Longo prazo	Difícil	Construções locais
Fragmentação de habitat	Desmatamento e urbanização	Alta	Regional	Longo prazo	Difícil	Sociedade em geral
Perda de biodiversidade	Poluição e desmatamento	Alta	Regional	Longo prazo	Difícil	Sociedade em geral

Fonte: O autor (2025).

Os impactos identificados revelam a degradação sistêmica dos componentes ecológicos da Bacia do Córrego Cachimbo. A erosão das margens e o assoreamento resultam diretamente da manipulação inadequada do solo e do desmatamento, comprometendo a dinâmica hidrológica e ampliando a vulnerabilidade a inundações. A fragmentação de habitats e a poluição hídrica intensificam a perda de biodiversidade, gerando efeitos cumulativos em espécies aquáticas e terrestres.

Uma análise comparativa com os dados relatados por Santos (2015) na Unidade de Conservação Tiúba revela similitudes estruturais nos desafios enfrentados pelas duas áreas, especialmente no que diz respeito à ocupação desordenada e à remoção da vegetação ciliar.

Enquanto Santos (2015) sublinha a perda sistemática de cobertura vegetal como fator determinante da degradação, no Córrego Cachimbo, a deposição de resíduos sólidos e o manejo inadequado do solo emergem como contribuintes predominantes. A poluição hídrica figura como um denominador comum, embora a magnitude dos impactos varie em função da densidade populacional e do grau de urbanização de cada área.

5.5 USO E COBERTURA DO SOLO

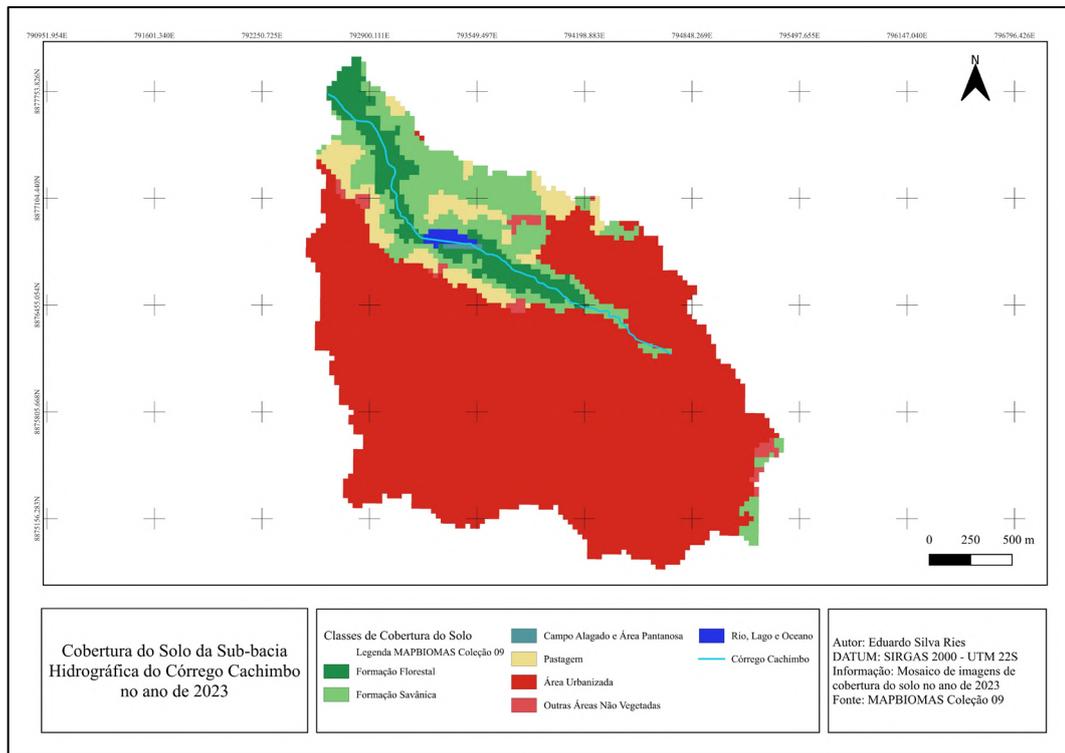
A análise do uso e cobertura do solo na Bacia do Córrego Cachimbo, baseada nos dados do MapBiomas Coleção 09, revela mudanças significativas entre 1990 e 2023. Essas mudanças foram marcadas pela urbanização acelerada e a redução contínua das áreas de vegetação natural, refletindo a pressão antrópica sobre os ecossistemas locais e trazendo implicações diretas para a biodiversidade e os processos ecológicos da região.

5.5.1 Tendências de Urbanização e Redução da Vegetação Natural

A categoria de Infraestrutura Urbana apresentou uma taxa de crescimento anual de 0,027 km², consolidando-se como o uso predominante em 2023, com 75,8% da área total (Figura 44). Esse aumento contínuo está associado à expansão de residências, comércio e vias de transporte. Por outro lado, as Formações Naturais de Vegetação, como a Savana e a Floresta, mostraram declínio acentuado (Figura 45).

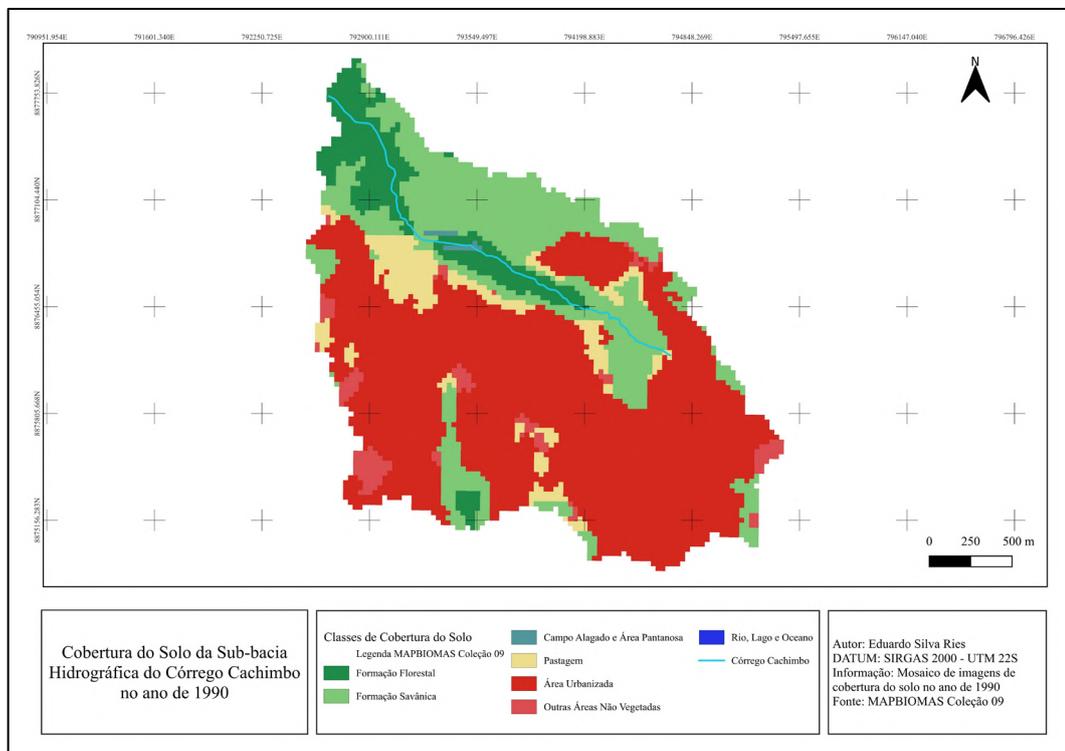
Entre 1990 e 2023, a Formação Savana registrou uma taxa de declínio de 0,021 km² por ano, enquanto a Formação Florestal apresentou uma redução de 0,0018 km² anuais. Essas perdas foram especialmente notáveis nos períodos de 1990-1995 e 1995-2000, indicando momentos críticos de conversão do solo para usos urbanos.

Figura 44 — Mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Córrego Cachimbo no ano de 2023.



Fonte: O autor (2025).

Figura 45 — Mapa de cobertura do solo da sub-bacia do Córrego Cachimbo no ano de 1990.

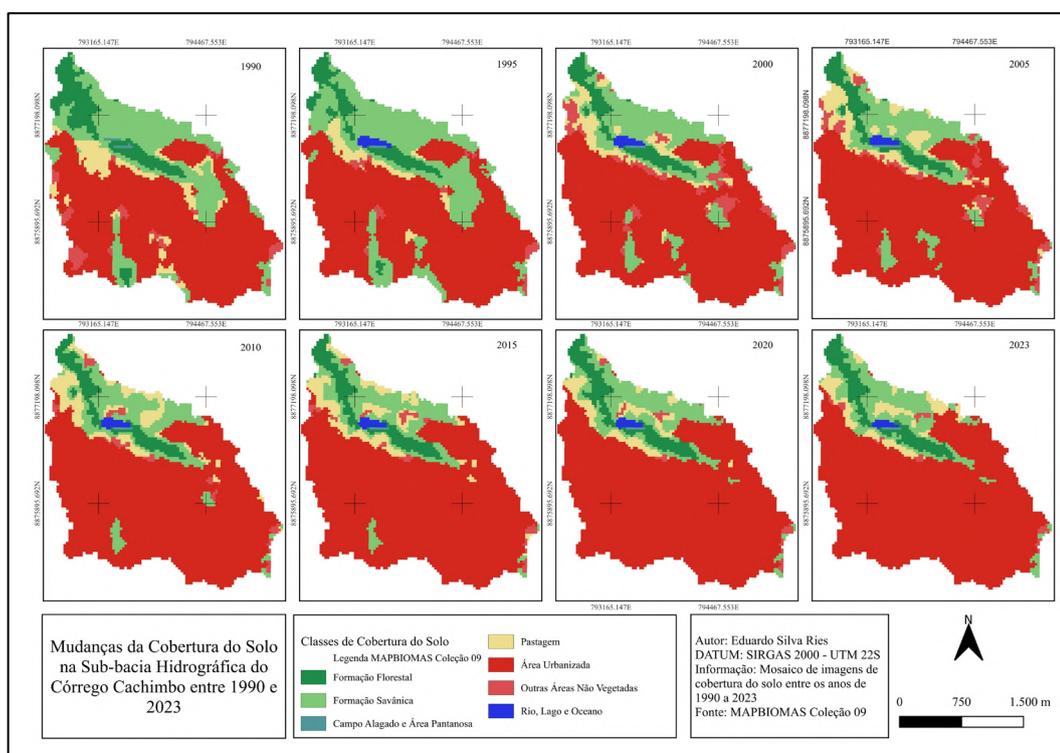


Fonte: O autor (2025).

5.5.2 Comparação Temporal e Impactos

A análise comparativa das mudanças ao longo do período estudado (Figura 46) demonstra uma redução absoluta de 0,69 km² da cobertura vegetal, representando 44,28% da área inicial em 1990. Essa transformação compromete diretamente a biodiversidade local e a qualidade dos serviços ecossistêmicos. A diminuição das áreas de vegetação impacta o ciclo hidrológico, reduz a infiltração de água no solo, aumenta a suscetibilidade à erosão e intensifica o risco de inundações.

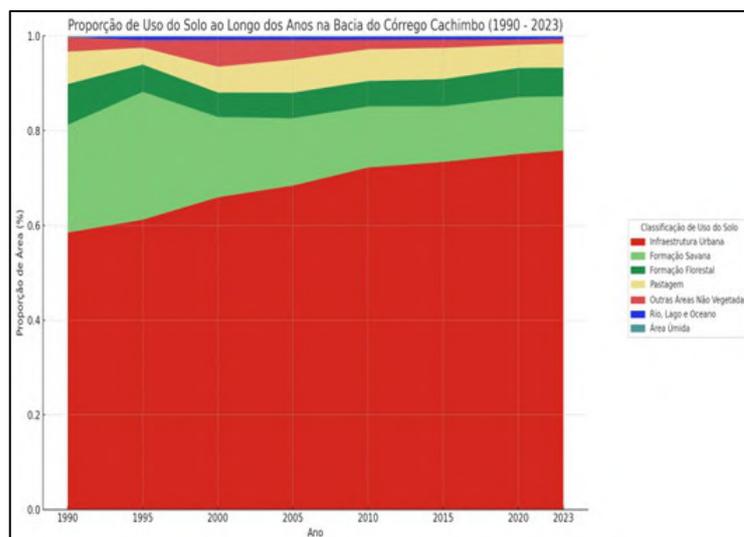
Figura 46 — Mudanças no uso e cobertura do solo na sub-bacia do Córrego Cachimbo entre 1990 e 2023.



Fonte: O autor (2025).

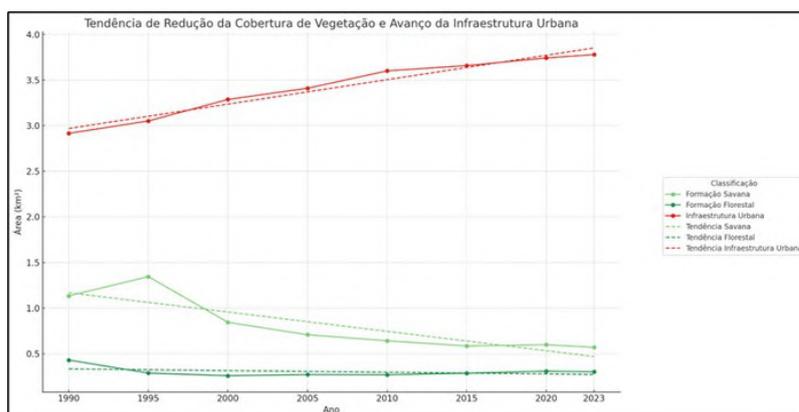
Além disso, o gráfico de proporção de uso do solo ao longo dos anos (Figura 47) ilustra claramente a predominância crescente da Infraestrutura Urbana e a redução das formações naturais. A tendência de declínio das áreas de vegetação e expansão da urbanização é evidenciada no gráfico de tendências de redução da vegetação (Figura 48), que destaca a aceleração do processo de urbanização e sua correlação com a perda de cobertura vegetal.

Figura 47 — Proporção de uso do solo ao longo dos anos na sub-bacia do Córrego Cachimbo (1990-2023).



Fonte: O autor (2025).

Figura 48 — Gráfico de tendência de redução da cobertura vegetal e avanço da infraestrutura urbana na sub-bacia do Córrego Cachimbo.



Fonte: O autor (2025).

A redução de 44,28% da vegetação ripária entre 1990 e 2023, identificada na análise do uso e cobertura do solo, está diretamente associada ao aumento dos processos erosivos e da deposição de sedimentos no leito do córrego, conforme evidenciado nos resultados do PAR. Além disso, a conversão de áreas naturais em infraestrutura urbana intensificou o escoamento superficial e a poluição hídrica, reforçando os impactos diagnosticados na Matriz de Leopold. Esses dados demonstram como a urbanização desordenada influencia diretamente a qualidade ambiental da bacia do Córrego Cachimbo.

O avanço da urbanização sem planejamento adequado representa um desafio para a conservação dos recursos naturais na bacia do Córrego Cachimbo. A alta proporção de áreas

urbanizadas evidencia a necessidade urgente de estratégias de manejo sustentável, que priorizem a proteção das áreas remanescentes de vegetação e a implementação de medidas para mitigar os impactos das atividades urbanas. A análise do uso e cobertura do solo confirmou o avanço da urbanização na bacia do Córrego Cachimbo e a consequente redução da vegetação ripária. Essa perda vegetal intensificou processos erosivos e aumentou a deposição de sedimentos no leito do córrego, conforme indicado pelo PAR. A Matriz de Leopold reforça essa relação, evidenciando que a impermeabilização do solo agravou o escoamento superficial pode contribuir para o aumento da carga de poluentes no curso d'água.

6 PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NO CÓRREGO CACHIMBO

A bacia hidrográfica do Córrego Cachimbo, localizada em Palmas, Tocantins, no bioma Cerrado, apresenta um quadro significativo de degradação ambiental devido à urbanização desordenada, deposição inadequada de resíduos sólidos, supressão da vegetação ciliar, processos erosivos e lançamento de efluentes domésticos sem tratamento adequado. Diante desse cenário, a adoção de medidas estruturantes e integradas é essencial para restaurar a funcionalidade ecológica da bacia e mitigar os impactos ambientais decorrentes do crescimento urbano. As ações propostas a seguir foram elaboradas com base em estudos recentes e experiências bem-sucedidas em outras bacias urbanas, contemplando estratégias de curto, médio e longo prazo (Freitas, 2020; Gomes Júnior *et al.*, 2024; Alvim; Kato; Rosin, 2015).

6.1 ESTRATÉGIAS DE CURTO PRAZO: RESPOSTA IMEDIATA E MONITORAMENTO INICIAL

As intervenções de curto prazo visam conter os processos degradantes mais críticos e estabelecer as bases para a recuperação ecológica da bacia. Essas ações imediatas devem focar na mitigação dos impactos ambientais mais severos, garantindo uma resposta rápida e eficaz para evitar que o quadro de degradação se intensifique.

6.2 REMOÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CONTENÇÃO DO ASSOREAMENTO

A deposição inadequada de resíduos sólidos ao longo das margens e no leito do Córrego Cachimbo contribui para o assoreamento e o comprometimento da qualidade da água. Recomenda-se a remoção emergencial dos resíduos acumulados, aliada à instalação de barreiras físicas, como boias captoras, para interceptação de materiais flutuantes. Essa ação deve ser complementada com a implantação de ecopontos estratégicos e campanhas educativas voltadas para a conscientização da população (Neto; Ribeiro; Rodrigues, 2024). Além disso, devem ser realizadas coletas periódicas de amostras de sedimentos para monitorar a composição dos resíduos e avaliar sua origem e impactos ambientais específicos.

6.3 REFLORESTAMENTO IMEDIATO DAS ÁREAS CILIARES

A revegetação das áreas ciliares deve ser iniciada com o plantio de espécies nativas de crescimento rápido e elevada adaptabilidade ao ecossistema ripário do Cerrado, tais como jatobá (*Hymenaea courbaril*), ingá (*Inga edulis*), buriti (*Mauritia flexuosa*) e ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*). Além disso, técnicas de nucleação, como bancos de sementes e transposição de solo de áreas preservadas, podem ser utilizadas para acelerar o processo de regeneração natural (Morsch; Mascaró; Pandolfo, 2017). A introdução de espécies vegetais específicas pode favorecer a recuperação dos processos ecológicos, promovendo a reintegração de espécies da fauna local, o que contribui para um equilíbrio ecológico mais eficiente.

6.4 IMPLANTAÇÃO INICIAL DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

A instalação de sensores para medição de parâmetros como turbidez, pH, oxigênio dissolvido e níveis de sedimentos permitirá a identificação precoce de alterações na qualidade da água, facilitando intervenções rápidas. Essa rede inicial de monitoramento pode ser expandida gradativamente, incorporando tecnologias avançadas de sensoriamento remoto e geoprocessamento (Piroli, 2022). O monitoramento contínuo permite a criação de um banco de dados robusto, fundamental para o embasamento de futuras decisões e medidas corretivas mais eficazes.

6.5 ESTRATÉGIAS DE MÉDIO PRAZO: RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL E INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA

Após a estabilização inicial das áreas críticas, a recuperação estrutural da bacia deve ser conduzida de forma sistemática e baseada em dados ambientais coletados. Esse período de médio prazo deve incluir ações de infraestrutura e melhoria dos processos de governança ambiental.

6.5.1 Reestruturação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

A delimitação e regularização das APPs ao longo do Córrego Cachimbo são fundamentais para a proteção dos recursos hídricos. A recomposição da vegetação ripária deve ser complementada com técnicas de bioengenharia, como a instalação de paliçadas e mantas de fibra natural, visando à estabilização das margens e à contenção da erosão (Campos; Nucci, 2021; De Alcântara *et al.*, 2023). Essas medidas devem ser acompanhadas por uma política de compensação ambiental, incentivando proprietários de terrenos impactados a adotarem práticas sustentáveis de manejo do solo.

6.5.2 Ampliação e Integração do Sistema de Monitoramento

A expansão da rede de monitoramento deve incluir o uso de imagens de satélite e drones para avaliar a evolução da regeneração das APPs e os processos erosivos. A modelagem hidrológica e geoespacial pode ser utilizada para prever cenários futuros e orientar ajustes nas estratégias de manejo ambiental (Vassiliki, 2021). O uso de softwares de simulação hidrológica pode proporcionar uma análise mais precisa dos impactos ambientais ao longo do tempo, otimizando as ações preventivas e corretivas.

6.5.3 Expansão da Infraestrutura de Saneamento e Tratamento de Efluentes

A ausência de saneamento adequado na bacia do Córrego Cachimbo requer soluções descentralizadas para mitigação dos impactos. A ampliação da rede de esgoto sanitário é essencial para conter o lançamento de efluentes líquidos diretamente no solo da bacia hidrográfica ou diretamente no córrego. A implementação de wetlands construídos pode contribuir para a remoção eficiente de nutrientes e patógenos, reduzindo a carga poluente lançada nos corpos d'água e promovendo a qualidade ambiental (Alvim; Kato; Rosin, 2015). Além disso, políticas de incentivos fiscais para moradores e empresas que adotarem soluções sustentáveis de tratamento de efluentes podem contribuir significativamente para a recuperação da bacia, caso a ampliação da rede de esgoto demonstre-se inviável economicamente a curto prazo.

6.6 ESTRATÉGIAS DE LONGO PRAZO: PLANEJAMENTO INTEGRADO E FORTALECIMENTO INSTITUCIONAL

Para garantir a sustentabilidade das ações implementadas, é necessário um planejamento estratégico que envolva participação social, fortalecimento institucional e integração tecnológica. Esse planejamento deve incluir a revisão periódica das ações implementadas, com a incorporação de novas tecnologias e metodologias de monitoramento ambiental.

6.6.1 **Elaboração de um Plano Integrado de Recursos Hídricos**

A formulação de um plano específico para a bacia do Córrego Cachimbo é essencial para orientar o uso sustentável dos recursos hídricos. Esse plano deve abranger diretrizes para ordenamento territorial, recuperação ambiental e regulamentação de atividades antrópicas na região (Comitê Da Bacia Do Rio Urussanga, 2020). A criação de um marco regulatório para a proteção da bacia pode reforçar a governança ambiental e garantir a efetividade das ações propostas.

6.6.2 **Implantação de um Sistema Avançado de Monitoramento Digital**

Inspirados por iniciativas internacionais de digitalização do ciclo hídrico – como os projetos implementados em diversas regiões para aprimorar o monitoramento ambiental –, recomenda-se a implantação de um sistema avançado de monitoramento digital para a bacia do Córrego Cachimbo. Esse sistema utilizará tecnologias de inteligência artificial e análise de big data para processar e integrar os dados coletados pelos sensores instalados ao longo da bacia. A ideia é que esses dados sejam centralizados em uma única plataforma, permitindo a análise contínua dos parâmetros ambientais (como turbidez, pH, oxigênio dissolvido e níveis de sedimentos).

A partir dessa integração, o sistema poderá gerar simulações e previsões que orientem intervenções preventivas e corretivas, facilitando a tomada de decisões pelos gestores. Essa abordagem visa aumentar a capacidade de resposta aos eventos críticos e promover uma gestão proativa dos recursos hídricos. (Vassiliki, 2021).

6.6.3 Fortalecimento Institucional e Ampliação da Participação Social

A sustentabilidade dos projetos de recuperação ambiental depende, em grande medida, do fortalecimento institucional e da participação ativa da sociedade. Para isso, recomenda-se a criação de conselhos e comitês de bacia que reúnam representantes dos órgãos públicos, usuários de água, comunidades locais e instituições de pesquisa. Esses órgãos devem atuar na fiscalização, no acompanhamento das ações implementadas e na educação ambiental, promovendo a conscientização e o engajamento da população na preservação dos recursos hídricos. A experiência de municípios que adotaram modelos colaborativos de gestão demonstrou que a participação social efetiva é crucial para o sucesso das ações de mitigação e recuperação (Dias *et al.*, 2024; Jesus *et al.*, 2023).

6.7 CONTRIBUIÇÕES DAS AÇÕES PROPOSTAS PARA OS IMPACTOS DETECTADOS

Os impactos ambientais identificados na bacia do Córrego Cachimbo – tais como a perda da vegetação ciliar, a erosão acelerada, o acúmulo de sedimentos e a degradação da qualidade da água – podem ser mitigados por meio das ações aqui propostas de diversas maneiras:

A remoção de resíduos sólidos e o reflorestamento imediato atuam na redução do assoreamento e na proteção dos corpos d'água, diminuindo o transporte de sedimentos e a compactação do solo. Isso contribui para a recuperação da função ecológica das margens e para a melhoria da qualidade da água.

A implantação de uma rede de monitoramento, inicialmente básica e posteriormente ampliada com tecnologias avançadas, fornece dados precisos sobre a dinâmica do fluxo e da erosão. Esses dados permitem intervenções tempestivas, evitando que eventos extremos agravem os impactos ambientais e facilitando a gestão adaptativa da bacia.

A reestruturação das APPs e a implementação de medidas de bioengenharia promovem a estabilização das margens e a regeneração dos corredores ecológicos, restaurando a conectividade dos habitats e favorecendo o retorno de espécies nativas.

A elaboração de um Plano Integrado de Recursos Hídricos, com participação interinstitucional e social, cria um marco regulatório e operacional que orienta as ações de

manejo, reduz conflitos de uso e assegura o uso sustentável da água na bacia. Essa abordagem integrada garante que as intervenções não sejam pontuais, mas parte de um processo contínuo de recuperação e conservação.

O fortalecimento institucional, por meio de conselhos e comitês de bacia, além de fomentar a fiscalização e a educação ambiental, contribui para a criação de uma cultura de gestão sustentável dos recursos hídricos, essencial para a manutenção dos ganhos a longo prazo.

A recuperação da bacia do Córrego Cachimbo exige um conjunto de ações integradas, combinando intervenções emergenciais, recuperação estrutural e planejamento estratégico. A articulação entre técnicas de bioengenharia, tecnologias avançadas de monitoramento e participação comunitária possibilita a mitigação dos impactos ambientais e o fortalecimento da resiliência hídrica da bacia. A implementação dessas estratégias não apenas contribuirá para a melhoria da qualidade da água e a conservação da biodiversidade, mas também servirá como modelo para a recuperação de outras bacias hidrográficas urbanas (Segnor; Spinelli, 2020).

7 CONCLUSÃO

O diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo revelou um cenário de intensa degradação, evidenciando os impactos cumulativos da urbanização desordenada e da ocupação irregular em áreas marginais. A aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) demonstrou a severidade das pressões antrópicas, refletidas na ausência de vegetação ciliar adequada, deposição excessiva de sedimentos, descarte irregular de resíduos sólidos e lançamento direto de efluentes domésticos. A análise de uso e cobertura do solo indicou uma redução de aproximadamente 44% da vegetação natural entre 1990 e 2023, refletindo o avanço da infraestrutura urbana e seus impactos sobre o ciclo hidrológico, a biodiversidade e a estabilidade ecológica da bacia.

Os pontos mais críticos, como PAR-2 e PAR-3, apresentaram condições ambientais extremamente degradadas, com supressão total da vegetação ripária, presença significativa de resíduos e contaminação hídrica. Em contrapartida, os pontos PAR-1 e PAR-6 preservam características naturais relevantes, podendo ser utilizados como referência para estratégias de conservação. A urbanização acelerada nos bairros Santo Amaro e Lago Norte intensificou os impactos ambientais ao longo do córrego, devido à ausência de regularização fundiária, infraestrutura precária de saneamento e expansão desordenada das ocupações. A compactação do solo, canalizações inadequadas e a falta de controle sobre o escoamento pluvial reforçam a necessidade urgente de intervenções integradas para mitigar os impactos diagnosticados.

Nesse contexto, este estudo oferece uma contribuição prática significativa para a gestão da bacia, fornecendo subsídios técnicos que podem orientar a formulação de políticas públicas e estratégias de manejo sustentável. As principais recomendações incluem a revegetação das margens com espécies nativas para estabilização do solo e restauração ecológica, a criação e fiscalização efetiva de Áreas de Preservação Permanente (APPs), a ampliação da cobertura de saneamento básico com coleta e tratamento de esgoto nos bairros adjacentes, programas de educação ambiental para conscientização da comunidade sobre o descarte adequado de resíduos sólidos e a reabilitação de trechos canalizados, com ênfase em soluções baseadas na natureza. Essas ações, aliadas a um monitoramento contínuo da qualidade ambiental da bacia, podem contribuir para a redução da vulnerabilidade ecológica do córrego e para a melhoria da qualidade de vida das populações locais.

Ao apresentar um diagnóstico detalhado e propor medidas de mitigação fundamentadas em metodologias científicas, este estudo não apenas expõe a situação ambiental da Bacia do

Córrego Cachimbo, mas também oferece diretrizes para ações concretas de recuperação e planejamento sustentável. Além disso, abre caminho para pesquisas futuras que possam consolidar a base científica necessária para intervenções de longo prazo, promovendo a resiliência ecológica e a sustentabilidade hídrica em um contexto urbano em expansão.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante das lacunas de conhecimento ainda existentes, sugere-se que estudos futuros aprofundem a compreensão dos processos hidrológicos e ecológicos da bacia, explorando metodologias mais avançadas para modelagem ambiental e avaliação de impactos. Uma abordagem metodológica promissora envolve a modelagem hidrológica quantitativa, permitindo prever cenários futuros de urbanização e seus efeitos na disponibilidade hídrica e no risco de enchentes. Além disso, a implementação de redes de monitoramento automatizado da qualidade da água, com sensores para análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, poderia fornecer dados em tempo real para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

Outra frente importante para pesquisas futuras seria o levantamento detalhado da biodiversidade aquática e terrestre, com o uso de bioindicadores para avaliar a qualidade ambiental e a conectividade ecológica do córrego. Inventários da fauna e flora local poderiam revelar o grau de fragmentação dos habitats e auxiliar na definição de estratégias para conservação da biodiversidade. Adicionalmente, estudos sobre a viabilidade econômica das intervenções propostas são fundamentais para garantir sua implementação, analisando os custos e benefícios das ações de manejo em relação ao impacto ambiental e ao bem-estar social.

A integração entre gestão ambiental e planejamento urbano sustentável é um aspecto que merece aprofundamento, especialmente no contexto das políticas públicas voltadas para bacias hidrográficas urbanas. Recomenda-se que novas pesquisas investiguem mecanismos para fortalecer a governança ambiental da bacia, identificando instrumentos legais e administrativos que viabilizem sua recuperação e conservação. Por fim, o desenvolvimento de ferramentas de geoprocessamento para análise espacial e tomada de decisão pode aprimorar a gestão integrada do território, possibilitando a identificação de áreas prioritárias para intervenção e o acompanhamento contínuo das ações implementadas.

REFERÊNCIAS

ALVIM, Angélica Tanus Benatti; KATO, Volia Regina Costa; ROSIN, Jeane Rombi de Godoy. A urgência das águas: intervenções urbanas em áreas de mananciais. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, 2015. ISSN: 1517-2422. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402839574005>. Acesso em: 2 fev. 2025.

ARAÚJO, João Pedro Marinho; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. EXPANSÃO URBANA E SEUS IMPACTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA NOS RESIDENCIAIS TORQUATO NETO II, III E IV EM TERESINA, PIAUÍ. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro (SP), v. 20, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i1.16312>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ARAÚJO, JOÃO PEDRO MARINHO; ALBUQUERQUE, EMANUEL LINDEMBERG SILVA. EXPANSÃO URBANA E SEUS IMPACTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA NOS RESIDENCIAIS TORQUATO NETO II, III E IV EM TERESINA, PIAUÍ. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro (SP), v. 20, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i1.16312>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BARBOUR, M.T *et al.* Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. **Washington: Environmental Protection Agency; Office of Water**, 1999. Disponível em: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/index-14.html>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BORGES, Vinícius Silva; DE OLIVEIRA, Wellington Nunes. ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 17, n. 1, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/68192/37681>. Acesso em: 2 fev. 2025.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/residuos-solidos>. Acesso em: 2 fev. 2025.

BRASIL. Casa Civil. Lei Federal nº 12.651, de 24 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, ano 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 2 fev. 2025.

BRASIL. Casa Civil. Lei Federal nº 12.651, de 24 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 2 fev. 2025.

CAMPOS, JANAINA CASSIA; NUCCI, JOÃO CARLOS. Protocolo de Avaliação Rápida de Rios Urbanos (PARU) como ferramenta de monitoramento ambiental. – **Revista de Geografia**

e Ordenamento do Território, v. 21, p. 121-138, Jun 2021. ISSN: 2182-1267. Disponível em: <https://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/view/2021.21.005>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CARVALHO, Mariana Barros ; LEÃO, Vicente de Paula ; LADEIRA, Francisco Fernandes . A cidade como referência para o ensino de Geografia: os impactos ambientais urbanos e sua relação com as inundações em Santa Cruz de Minas – MG. **Cuadernos De Educación Y Desarrollo**, v. 16, n. 8, p. 01-16, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv16n8-054>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Comitê da Bacia do Rio Urussanga. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Urussanga: ETAPA E ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO URUSSANGA. UNISUL, 2020. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20da%20Bacia%20Hidrografica%20do%20Rio%20Urussanga/Etapa_E_PlanoBacia.pdf. Acesso em: 8 fev. 2025.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Portal de Periódicos CAPES**. 2024. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 7 fev. 2025.

CORIOLANO, G. P. **Plano Diretor Participativo de Palmas: análise da aplicação de instrumentos urbanísticos para a redução das desigualdades socioterritoriais**. 2011. 167 p Dissertação (PMDR/UFT) - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), 2011.

DA SILVA, José Gustavo Santos *et al.* APLICAÇÃO DE PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DA INTEGRIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ, SC. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 109, jan-jun 2023. ISSN: 2447-0945. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/2974>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DE ALCÂNTARA, Raylane Silva *et al.* Qualidade ambiental do Riacho das Porteiras, Petrolina, PE - utilizando Protocolo de Avaliação Rápida. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 2, n. 5, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rtgs/article/view/3714/3609>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DE CARVALHO FILHO, José Adson Andrade de Carvalho *et al.* EFEITO DA URBANIZAÇÃO E DO REVESTIMENTO DA ZONA HIPORREICA NA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIACHOS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DO RECIFE – PE. **Geoconexões**, Natal (RN), v. 2, n. 19, p. 455-481, 2024. ISSN: 2359-6007. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/geoconexes.2024.17276>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DE MORAIS, Paula Benevides *et al.* O USO DE PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR) PARA AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE AMBIENTAL DE UM TRECHO URBANO DO CÓRREGO SUSSUAPARA, TOCANTINS, BRASIL. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã (SE), v. 6, n. 2, Jun,Set, Out, Nov 2015. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/SPC2179-6858.2015.002.0014/589>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DE SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson. **Latossolos**. Embrapa. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 12 jan. 2025.

DE SOUZA, Genilson Oliveira *et al.* Análise técnica dos problemas de drenagem urbana na rua Rio Grande do Norte de Açailândia – Maranhão considerando a declividade da via e seu impacto na drenagem da água em períodos chuvosos. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, 2023. ISSN 2525-3409. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i2.40010>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DIAS, Ricardo Ribeiro *et al.* UTILIZAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DE RIO (PAR) E DE AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA DE FLORA (AER) PARA O DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO CÓRREGO JOÃO CESÁRIO E DE SUAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE - CIDADE DE ANÁPOLIS (GO). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia (MG), v. 25, n. 10, p. 232-253, Ago 2024. ISSN 1678-6343. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/71083>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DO NASCIMENTO, Fabricio Holanda *et al.* AVALIAÇÃO VISUAL RÁPIDA DE RIOS URBANOS: O CASO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO REIS MAGOS E DO RIO JACARAÍPE, ESPÍRITO SANTO. **REVISTA CAMINHOS DE GEOGRAFIA**, Uberlândia (MG), v. 21, n. 73, p. 492-505, 2020. ISSN 1678-6343. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/49673/28428>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DOS SANTOS, Marina Gontijo. **Zoneamento ambiental da área da unidade de conservação Tiúba em Palmas-TO para embasar a sua implantação como parque linear**. 2015 Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA) - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/89>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FREITAS, Andreza Rocha de . Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Sudeste do Paraná:: análise quantitativa e qualitativa mediante a utilização da metodologia do IDA. **Geografias**, v. 28, n. 1, 2020. Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/download/21485/version/19506/30136/125499>. Acesso em: 2 fev. 2025.

GOMES JÚNIOR, Marcus Nóbrega *et al.* Real-time Regulation of Detention Ponds via Feedback Control.: Balancing Flood Mitigation and Water QualityBalancing Flood Mitigation and Water Quality. **arXiv**, ago. 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2403.04675>. Acesso em: 2 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados do Brasil**. IBGE Cidades. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: 7 fev. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normal Climatológica - 1991 - 2020**. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 25 jan. 2025.

JESUS, Laura Rubim do Monte *et al.* Análise das Condições Ambientais em Córregos Urbanos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Veado, em Presidente Prudente (São Paulo, Brasil). **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 16, n. 40, 2023. ISSN 1984-3240. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/4599. Acesso em: 20 nov. 2024.

LEOPOLD, Luna Bergere. Hydrology for urban land planning - A guidebook on the hydrologic effects of urban land use. **U.S. Geological Survey**, Reston (VA), n. 554, 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/cir554>. Acesso em: 20 nov. 2024.

LIMA, Arlete Leite *et al.* DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E PROPOSTA DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DA APP DO CÓRREGO SUSSUAPARA, PALMAS - TO. **Revista Nucleus**, v. 14, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.2149>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MACHADO, Anderson *et al.* Geografia e segurança hídrica: estudo do avanço de ocupação irregular em área de bacia hidrográfica de captação no município de Caxias do Sul, RS. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo (SP), v. 42, 2022. ISSN 2236-2878. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.188152>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MAPBIOMAS. **MapBiomas Coleção 9: Cobertura e Uso da Terra**. 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>. Acesso em: 2 fev. 2025.

MARCIONILIO, Suzana Maria Loures de Oliveira *et al.* Avaliação da integridade ambiental de rio em área de zoneamento urbano: uso do par e análise laboratorial. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. ISSN 2525-3409. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5482>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MARCOLINI, FLAVIA CAETANO. **A INFLUÊNCIA DAS CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS CONSIDERADAS INSIGNIFICANTES NA VAZÃO DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA, PALMAS - TO**. Palmas-TO, 2016. 100 p Dissertação (PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO, 2016. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/266>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MONTEIRO, Cristiane Barbosa; DA SILVA, Carlos Ernando ; BEZERRA, Alessandro de Araújo . Estimativa do volume do reservatório de detenção por sub-bacia hidrográfica – Teresina, Piauí. **Revista DAE**, São Paulo (SP), v. 70, n. 237, p. 141-153, jul - set 2022. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/site/artigo/2071-Estimativa-do-volume-do-reservatorio-de-detencao-por-sub-bacia-hidrografica-%E2%80%93-Teresina,-Piaui->. Acesso em: 20 nov. 2024.

MORSCH, Maiara Roberta Santos; MASCARÓ, Juan José ; PANDOLFO, Adalberto. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, 2017. DOI: 10.1590/s1678-86212017000400199. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400199>. Acesso em: 2 fev. 2025.

NETO, Antonio Rodrigues da Silva; RIBEIRO, Ana Claudia Gomes; RODRIGUES, Rafael de Ávila. Preservação ambiental em bacias hidrográficas: legislações, mapeamento e recuperação. **Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 9, p. 01-20, 2024. 10.55905/revconv.17n.9-204. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/download/10650/6382/31434>. Acesso em: 2 fev. 2025.

NOGUEIRA, Maria Jozeane. **O processo de regularização fundiária na periferia de Palmas - TO: o caso dos setores Santo Amaro I, II e Lago Norte**: Nogueira. 2017 Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG) - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/595>. Acesso em: 20 nov. 2024.

OLIVEIRA, Lucas Duarte *et al.* Estimativa da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica no estado de Goiás (Brasil) por meio de modelagem e inteligência geoespacial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 1, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/254805/46765>. Acesso em: 8 fev. 2025.

PALMAS (Cidade). Prefeitura Municipal de Palmas. Lei Complementar N° 155, de 27 de novembro de 2007. **Diário Oficial**, ano 2007. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=176542>. Acesso em: 2 fev. 2025.

PALMAS (Cidade). Prefeitura Municipal de Palmas. Lei Complementar N° 400, de 01 de abril de 2018. **Diário Oficial**, ano 2018. Disponível em: <https://legislativo.palmas.to.gov.br/media/leis/lei-complementar-400-2018-04-02-16-8-2022-15-2-5.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2025.

PEREIRA, Patricia Barbosa; ROCHA, Glairton Cardoso; DE AQUINO, Cláudia Maria Sabóia. NÁLISE DOS ESTUDOS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NA IDENTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS, A PARTIR DE ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA. **Revista de Geografia**, Recife, v. 40, n. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.253370>. Acesso em: 2 fev. 2025.

PIROLI, Edson Luís . **Água e bacias hidrográficas**: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas. São Paulo: UNESP, 2022. 141 p. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786557142981>. Acesso em: 8 fev. 2025.

REZENDE, Jozrael Henriques; TOGNETTI, Érica Rodrigues . DRENAGEM SUSTENTÁVEL E REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS NO ÂMBITO DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ. **Engurbdebate**, v. 2, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.59550/engurbdebate.v2i1.6>. Acesso em: 2 fev. 2025.

RIES, Eduardo Silva. **Avaliação ambiental macroscópica das nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego cachimbo em Palmas-TO**. 2022 Trabalho de Conclusão de Curso - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/3794>. Acesso em: 25 jan. 2025.

RODRIGUES, JÉSSICA PAULA DE OLIVEIRA. **MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS CÓRREGOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE PALMAS - TO**. Palmas - TO, 2022. 66 p Dissertação (CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL) - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/5265>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SANTO, Sandra Medeiros *et al.* Recuperação e preservação de recursos hídricos urbanos: parceria entre Universidade e Prefeitura para criação e manutenção de áreas de lazer nas lagoas de Feira de Santana/BA. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais (PR), v. 6, n. 12, Dez 2020. ISSN 2525-8761. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/22428>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SANTOS, JULIANA DA COSTA. **ANÁLISE DA COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA, NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO, COM ENFÂSE NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES MARGINAIS**. Palmas - TO, 2016. 78 p Dissertação (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA AMBIENTAL) - Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/267>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SANTOS, Roneide dos Santos; ROCHA, Glairton Cardoso. ERODIBILIDADE DO SOLO(K)E USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMURUPIM, PIAUÍ, BRASIL. **Geoconexões**, v. 3, n. 17, 2023. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/14996/4015>. Acesso em: 2 fev. 2025.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO - SEPLAN. **Base Temática do Estado do Tocantins**. 2012. Disponível em: <https://geoportal.to.gov.br/gvsigonline/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SEGNOR, Cássia Regina; SPINELLI, Juçara. A Hidrologia de Chapecó/SC: alterações nas bacias hidrográficas urbanas a partir do processo de urbanização do município. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 24, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/47957/html>. Acesso em: 2 fev. 2025.

SILVA, MÔNICA RODRIGUES DA. Desafios para a implantação da unidade de conservação do machado no município de Palmas - TO. 2014. 92 F. Dissertação (mestrado profissional em engenharia ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.

SILVEIRA, André Ribeiro *et al.* Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos do solo e floresta nativa. **Scientia Forestalis**, v. 51. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.24>. Acesso em: 12 jan. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo (SP), v. 55, n. 4, out-dez 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/249523>. Acesso em: 20 nov. 2024.

VASSILIKI, Terezinha Galvão Boulomytis. **GESTÃO SUSTENTÁVEL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: CENÁRIOS DO BRASIL E DA AUSTRÁLIA**. 1 ed. São Paulo: EDIFSP, 2021.

XAVIER, Renata Lucon ; MENEZES, Denise Balestrero; DA SILVA, Fábio Leandro. Mapeamento de uso e ocupação do solo utilizando dados do MapBiomass: uma abordagem manual para aumento de precisão aplicada em Meridiano, São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 3, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259409/46821>. Acesso em: 2 fev. 2025.