

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ÂNDRIA CAROLINA LEITE DE SOUZA

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
DA MICROBACIA DO CÓRREGO LARANJA AZEDA, COM ÊNFASE NA ÁREA
DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) NO MUNICÍPIO DE
PEREIRA BARRETO - SP**

Ilha Solteira - SP
2024





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ÂNDRIA CAROLINA LEITE DE SOUZA

ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
DA MICROBACIA DO CÓRREGO LARANJA AZEDA, COM ÊNFASE NA ÁREA
DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) NO MUNICÍPIO DE
PEREIRA BARRETO - SP

Orientador(a): Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ilha Solteira –
UNESP como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenharia Civil.

Ilha Solteira - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

L533a Souza, Ândria Carolina Leite de.
Análise morfométrica e do uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Laranja Azeda, com ênfase na área de preservação permanente (APP) no município de Pereira Barreto - SP / Ândria Carolina Leite de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
60 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: César Gustavo da Rocha Lima

Inclui bibliografia

1. Áreas de preservação permanente (APPs). 2. Enchentes. 3. Microbacia hidrográfica. 4. Sistemas de informações geográficas. 5. Urbanização.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: ÂNDRIA CAROLINA LEITE DE SOUZA

Título: **“ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO CÓRREGO LARANJA AZEDA, COM ÊNFASE NA ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) NO MUNICÍPIO DE PEREIRA BARRETO – SP”**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Prof. Dr. Breno Padovezi Rocha

UNESP – Campus de Ilha Solteira



M.a. Amanda de Moraes Ricardi

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC-FEIS/UNESP)

Ilha Solteira

09/12/2024

Dedico este trabalho aos meus pais Ataíde e Maria, e ao meu tio Jorge, pelo amor e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida, por ouvirem minhas preces e me darem força nos momentos de dúvida, não permitindo que eu desistisse quando pensava que não conseguiria ingressar no curso dos meus sonhos na UNESP/FEIS.

Aos meus pais, Sr. Ataíde Ferreira de Souza e Sra. Maria Felizardo Leite de Souza, e ao meu tio, Jorge Felizardo Leite, por acreditarem em mim e me apoiarem, mesmo quando as condições não eram favoráveis. Por me darem tudo, mesmo quando tinham tão pouco. À minha irmã, Adrielle Cristina Leite de Souza, pela motivação constante, pelo incentivo incansável e por nunca permitir que eu desistisse.

Ao Patrício, meu namorado e melhor amigo, por sua compreensão, apoio e por estar sempre ao meu lado, ajudando-me a chegar até aqui. Com seu amor, trouxe paz e equilíbrio à minha vida.

Ao meu professor e orientador, César Gustavo da Rocha Lima, por me introduzir ao universo de geoprocessamento, pelo incentivo, disponibilidade, colaboração e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Geometrisa, por ampliar meu interesse em temas relacionados a este trabalho e por incentivar o desenvolvimento de novos conhecimentos.

Aos amigos que a faculdade me proporcionou, por terem sido minha família em Ilha Solteira, oferecendo apoio, carinho e tornando os momentos de estudo e lazer inesquecíveis.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil e aos funcionários da Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho', campus de Ilha Solteira, pela dedicação, pelos ensinamentos transmitidos e pelo suporte ao longo do curso de graduação.

RESUMO

O crescimento urbano exacerbado é um dos fatores responsáveis por alterar as características das bacias hidrográficas, afetando o ciclo hidrológico e prejudicando os ecossistemas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise morfométrica e do uso e ocupação do solo da microbacia do Córrego Laranja Azeda, no município de Pereira Barreto – SP. O estudo faz ênfase na Área de Preservação Permanente (APP) e na avaliação da suscetibilidade da microbacia a enchentes, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A análise morfométrica foi realizada por meio do *software* ArcGIS 10.7.1 mediante imagens de modelo digital de elevação (MDE). Já a análise do uso e ocupação do solo foi realizada por meio do *software* SPRING 5.5.6, a partir de imagens dos satélites Landsat-5, Landsat 8 e Landsat 9, entre os anos de 1984 e 2024, e gerando mapas com intervalos de 10 em 10 anos através do método de classificação por regiões. Os resultados obtidos pela análise morfométrica indicaram que a bacia possui forma levemente arredondada, com moderada a alta suscetibilidade a enchentes. Na análise do uso e ocupação solo verificou-se um aumento de 290,38% na área urbanizada entre 1994 e 2024, acompanhado de um decréscimo na área dos cursos hídricos. A análise da APP revelou que, apesar de conter áreas de vegetação robusta, as regiões de acesso público contínuo, como as margens das rodovias, apresentam sinais de degradação devido a queimadas e ao acúmulo de resíduos domésticos. Dessa forma, os resultados obtidos no estudo reforçam a necessidade de ações de monitoramento contínuo e recuperação de áreas degradadas. Além disso, é essencial que o Plano Diretor do município contemple medidas eficazes para proteger as APPs em regiões próximas à expansão urbana.

Palavras-chave: Áreas de Preservação Permanente (APPs); enchentes; microbacia hidrográfica; Sistemas de Informações Geográficas; urbanização.

ABSTRACT

Excessive urbanization is a critical factor driving changes in watershed characteristics, affecting the hydrological cycle and compromising ecosystem functionality. Hence, this study aimed to conduct a morphometric analysis and assess land use and occupation in the Laranja Azeda Creek micro-watershed, located in Pereira Barreto – SP. The study emphasizes the Permanent Preservation Area (PPA) and the assessment of the micro-watershed's flood susceptibility using remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS). The morphometric analysis was performed using ArcGIS 10.7.1 *software*, based on digital elevation model (DEM) images. On the other hand, land use and occupation analysis was performed using SPRING 5.5.6 *software* by utilizing satellite images from Landsat-5, Landsat 8, and Landsat 9, covering the period from 1984 to 2024. Maps were generated at 10-year intervals using the region-based classification method. The results obtained by the morphometric analysis indicated that the watershed has a slightly rounded shape, with moderate to high flood susceptibility. The land use and cover evaluation identified a 290,38% increase in urbanized areas from 1994 to 2024, along with a reduction in watercourse areas. The analysis of the PPA revealed that, despite containing areas of robust vegetation, the regions of continuous public access, such as the sides of the highways, show signs of degradation due to fires and the accumulation of domestic waste. Thus, the results obtained in the study reinforce the need for continuous monitoring and recovery actions of degraded areas. Furthermore, it is essential that the municipality's Master Plan includes effective measures to protect PPAs, particularly in areas susceptible to urban expansion.

Keywords: floods; Geographic Information Systems; hydrographic microbasin; Permanent Preservation Areas (PPA); urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de microbacia hidrográfica	16
Figura 2 – Classificação dos rios segundo Strahler (1952)	24
Figura 3 – Desenho esquemático sobre sensoriamento remoto	25
Figura 4 - Estrutura dos Sistemas de Informações Geográficas - SIGs	27
Figura 5 – Localização da área de estudo	29
Figura 6 – Antiga nascente nas margens da Rod. Feliciano Salles da Cunha.....	31
Figura 7 – Córrego nas margens da Via de Acesso Ver. Dorival da Silva Lousada..	32
Figura 8 – Córrego nas margens da Via de Acesso Ver. Dorival da Silva Lousada..	32
Figura 9 – Ponto de exutório do Córrego Laranja Azeda	33
Figura 10 – Mapa de elevação do terreno do Córrego Laranja Azeda	40
Figura 11 – Declividade da microbacia do Córrego Laranja Azeda.....	41
Figura 12 – Perfil longitudinal do canal principal do Córrego Laranja Azeda	43
Figura 13 – Mapas de uso e ocupação do solo entre os anos de 1984 e 2024	46
Figura 14 – Mapa de delimitação da APP do Córrego Laranja Azeda de acordo com a Lei Federal nº 12.651/2012	48
Figura 15 – Mapa de uso e ocupação do solo de 1994 e delimitação da APP traçada de acordo a Lei Federal nº 12.651/2012	48
Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2024, com ênfase na área de APP traçada de acordo a Lei Federal nº 12.651/2012	49
Figura 17 – Vegetação densa inserida na APP	50
Figura 18 – Curso hídrico e vegetação densa no seu entorno	51
Figura 19 – Vegetação densa queimada na APP.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente	17
Quadro 2 – Classes de propensão a enchentes	19
Quadro 3 – Classes de densidade de drenagem Dd	21
Quadro 4 – Classes do fator forma Kf	22
Quadro 5 – Classes do índice de circularidade Ic	22
Quadro 6 – Classes do índice de sinuosidade Is	23
Quadro 7 – População em Pereira Barreto entre os anos de 1980 e 2022.....	30
Quadro 8 – Classes de declividade Embrapa	35
Quadro 9 – Características das bandas utilizadas do satélite Landsat 5 de sensor TM	37
Quadro 10 - Características das bandas espectrais utilizadas do satélite Landsat 8 e 9 de sensor OLI.....	37
Quadro 11 – Chave de interpretação adotada	38
Quadro 12 – Classe de declividade da área de estudo.....	42
Quadro 13 – Dados físicos da área de estudo	43
Quadro 14 – Estimativa do uso e ocupação do solo durante o período analisado....	46
Quadro 15 - Estimativa do uso e ocupação do solo em 1994 e 2024 dentro da APP	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA	15
2.1.1	Microbacias.....	15
2.2	AÇÃO ANTRÓPICA	16
2.3	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)	17
2.4	ANÁLISE MORFOMÉTRICA	18
2.4.1	Área de drenagem (<i>A</i>)	18
2.4.2	Coeficiente de Compacidade (<i>K_c</i>).....	19
2.4.3	Declividade média do canal principal (m/m)	19
2.4.4	Densidade de Drenagem (<i>D_d</i>)	20
2.4.5	Fator Forma (<i>K_f</i>)	21
2.4.6	Índice de Circularidade (<i>I_c</i>)	22
2.4.7	Índice de Sinuosidade (<i>I_s</i>).....	23
2.4.8	Ordem dos cursos d'águas	23
2.5	ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	24
2.6	SENSORIAMENTO REMOTO	25
2.7	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGs).....	26
2.8	ESTUDOS SEMELHANTES	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2	ANÁLISE MORFOMÉTRICA	33
3.2.1	Delimitação da microbacia	33
3.2.2	Declividade da microbacia	35
3.2.3	Perfil longitudinal	36
3.2.4	Parâmetros morfométricos.....	36
3.3	ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	36
3.4	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	ANÁLISE MORFOMÉTRICA	40
4.1.1	Elevação do terreno	40
4.1.2	Declividade da microbacia	41

4.1.3	Perfil longitudinal	42
4.1.4	Parâmetros morfométricos.....	43
4.2	ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	45
4.3	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)	47
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

As primeiras civilizações se estabeleceram nas margens dos cursos d'água devido à fertilidade dos solos, disponibilidade de água para consumo, irrigação e facilidade de transporte. Essas condições favoreceram o crescimento populacional e o surgimento de cidades, o que teve um grande impacto na hidrografia dessas regiões.

O crescimento urbano exacerbado é um dos principais fatores responsáveis por mudar as características das bacias hidrográficas, afetando o ciclo hidrológico e prejudicando o ecossistema (Li *et al.*, 2023). A substituição da vegetação por superfícies impermeáveis intensifica o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e o armazenamento de água no solo. Essa mudança altera os padrões de escoamento, modifica a morfologia dos canais e aumenta a suscetibilidade à erosão e a inundações dessas áreas (Silva *et al.*, 2019).

Outro fator contribuinte para as mudanças nas características das bacias hidrográficas é a supressão das Áreas de Preservação Permanente (APPs), igualmente conhecidas como mata ciliar. As APPs são responsáveis pela proteção dos cursos d'água, prevenindo a ocorrência de erosão, assoreamento das margens, perda de nutrientes e redução da produtividade do solo, além disso, desempenham um papel crucial na preservação do ciclo hidrológico (Moura *et al.*, 2017).

Diante disso, a utilização de novas tecnologias, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto, tem se mostrado cada vez mais eficazes na identificação e resolução de problemas relacionados ao meio ambiente, à urbanização e às bacias hidrográficas. Essas ferramentas possibilitam a análise morfométrica e do uso e ocupação do solo das áreas de interesse (Grecco; Lima; Lollo, 2021).

A caracterização morfométrica fornece indicadores físicos específicos que ajudam a avaliar a vulnerabilidade ambiental (Oliveira; Acorsi; Smaniotto, 2018). Ademais, ela é responsável por descrever a formação da paisagem e sua variação topográfica, sendo crucial para compreender as respostas à erosão hídrica após chuvas intensas. Dessa forma, através de parâmetros quantitativos é possível analisar a morfologia de uma bacia hidrográfica (Christofolletti, 1980).

Por sua vez, a análise temporal do uso e ocupação do solo em uma área de interesse, possibilita identificar e compreender as principais mudanças da ocupação do meio ambiente e seus impactos ambientais. Assim, torna-se possível uma

avaliação minuciosa das consequências da apropriação antrópica no meio e seus efeitos (Rademann; Trentin; Robaina, 2019).

Sob essa abordagem, o presente estudo utilizou ferramentas de geoprocessamento para analisar a microbacia hidrográfica do Córrego Laranja Azeda, situada no município de Pereira Barreto – SP. A escolha dessa área baseou-se no crescimento habitacional em sua proximidade, o que evidenciou a necessidade de avaliação dos impactos gerados. Foram examinados os parâmetros morfométricos da microbacia, bem como as mudanças no uso e ocupação do solo ao longo do período selecionado, com o objetivo de identificar os efeitos da urbanização sobre as APPs. Além disso, buscou-se compreender como a expansão urbana contribui para a impermeabilização do solo e para o aumento da suscetibilidade a enchentes. Assim, espera-se que os resultados gerados contribuam para o planejamento urbano do município.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma área geográfica delimitada por divisores topográficos naturais, que conectam os pontos de maiores altitudes da região que forma a bacia. Toda água proveniente das precipitações é coletada e escoada por um sistema de drenagem que converge para um único ponto de saída, denominado exutório, esse ponto representa a região mais baixa de toda a bacia hidrográfica (Villela; Mattos, 1975).

Como unidade físico-geográfica, a bacia hidrográfica possui características particulares resultantes das interações entre as atividades humanas e seus elementos naturais, como relevo, vegetação, hidrografia, solos, geologia, fauna e clima. Essas particularidades possibilitam a avaliação dos impactos causados pelas atividades antrópicas, especialmente por meio da análise multitemporal do uso e cobertura do solo (Silva *et al.*, 2022).

A bacia hidrográfica é uma unidade essencial para a gestão dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental, pois sua análise permite compreender o comportamento dos cursos d'água, realizar simulações hidrológicas e desenvolver projetos de engenharia (Collischonn; Dornelles, 2013). No entanto, as bacias hidrográficas frequentemente se estendem por diferentes regiões, ultrapassando fronteiras políticas e administrativas, o que torna fundamental uma gestão integrada e eficiente desses territórios (Brears, 2021).

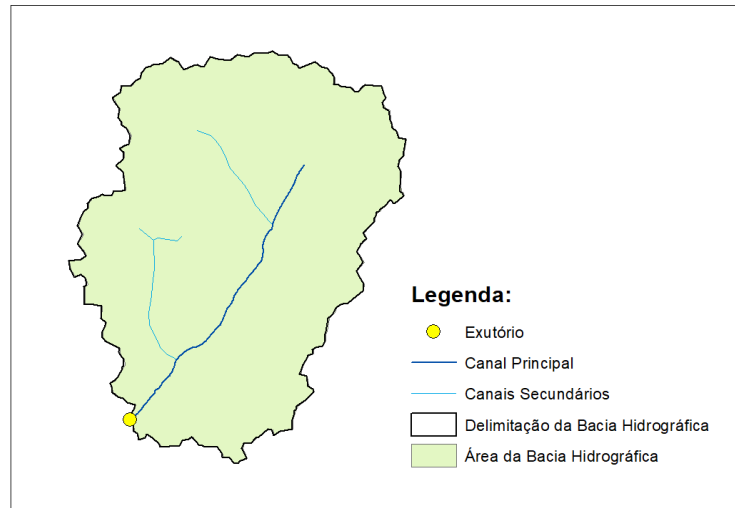
2.1.1 Microbacias

Ao longo dos anos foram criadas diversas definições para bacia hidrográfica e como consequência surgiram algumas subdivisões, como sub-bacias e microbacias, envolvendo diferentes abordagens que vão desde aspectos físicos até fatores ecológicos (Teodoro *et al.*, 2007).

Segundo Cecílio e Reis (2006), a microbacia é caracterizada como uma sub-bacia hidrográfica de menor extensão, no qual não foi definido tamanho máximo. Já para Faustino (1996), a microbacia é uma área geralmente inferior a 100 km² cuja drenagem flui diretamente para o curso principal de uma sub-bacia. Assim, a junção

de microbacias forma uma sub-bacia. A Figura 1 ilustra uma microbacia hidrográfica e seus elementos.

Figura 1 – Representação de microbacia hidrográfica



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

2.2 AÇÃO ANTRÓPICA

Nas últimas décadas, a transformação do espaço natural provocada pelas ações humanas tem se tornado mais evidente. O modelo de desenvolvimento implementado, principalmente após a revolução industrial, tem se revelado prejudicial à paisagem natural, causando danos socioambientais que afetam tanto as espécies silvestres, quanto a saúde das populações humanas (Sousa, 2016).

A ação antrópica e o crescimento urbano exacerbado têm transformado as características físicas das bacias hidrográficas, gerando impactos diretos no ciclo da água e prejudicando o ecossistema de maneira abrangente, colocando em risco a sustentabilidade das áreas urbanas. Essas mudanças são causadas principalmente pela substituição da vegetação por superfícies impermeáveis, o que aumenta o volume e a velocidade da água que escoam na superfície, reduzindo a infiltração no solo e a evapotranspiração. Além disso, a alteração nas características físicas das bacias faz com que a água, em vez de ser absorvida pelo solo, reabastecendo o lençol freático e mantendo os rios em períodos de seca, escoam rapidamente pelas redes de drenagem, modificando os tempos de pico e concentração das bacias (Silva *et al.*, 2019).

No processo de urbanização, as mudanças no uso e ocupação do solo têm sido o principal fator que desencadeia eventos como enchentes e inundações em bacias hidrográficas urbanas no Brasil (Barros *et al.*, 2016).

Segundo Christofolletti (1999), para reduzir os efeitos da degradação ambiental, é fundamental adotar políticas de gestão voltadas para o planejamento territorial e ambiental das regiões afetadas. Essas medidas devem considerar a organização adequada do uso do solo e a preservação das áreas naturais, garantindo a proteção de zonas frágeis, como superfícies inclinadas de terrenos e áreas de recarga de aquíferos, para promover um desenvolvimento equilibrado e sustentável, que leve em conta tanto as demandas sociais quanto a integridade dos ecossistemas.

2.3 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

As APPs são definidas pela Lei 12.651/2012 (Brasil, 2012) do Código Florestal Brasileiro como áreas protegidas, com ou sem cobertura de vegetação natural, com a finalidade ambiental de preservar a fauna e flora, o solo, a estabilidade geológica e as fontes hídricas, garantindo a biodiversidade ecológica e a qualidade de vida dos seres humanos (Azevedo-Santos *et al.*, 2023).

Para delimitar as APPs, a Lei 12.651/2012 (Brasil, 2012) estabelece critérios que devem ser atendidos de acordo com as características dos cursos d'água. Para as áreas no entorno das nascentes, o raio mínimo da faixa de vegetação é de 50 metros, enquanto as faixas de vegetação ao longo de toda a extensão longitudinal dos corpos d'água dependem de sua largura, conforme o Quadro 1 (Brasil, 2012).

Quadro 1 – Faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente

Largura do curso d'Água (m)	Área mínima de APP (m)
$L < 10$	30
$10 \leq L < 50$	50
$50 \leq L < 200$	100
$200 \leq L < 600$	200
$L > 600$	500

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

As APPs atuam como agente regulador da vazão fluvial e conseqüentemente das cheias, proporcionando condições sanitárias adequadas para o meio urbano. Sua

supressão provoca processos erosivos e assoreamentos dos corpos d'água devido ao contato direto das chuvas intensas com o solo exposto (Brandão; Lima, 2002). Além disso, a degradação das APPs, para sua utilização como áreas agrícolas ou de urbanização, compromete a recarga de aquíferos e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas (Borges *et al.*, 2011).

2.4 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Segundo Pissarra *et al.* (2010), a análise morfométrica é substancial para a caracterização de bacias hidrográficas, pois contribui para a identificação das modificações ocorridas no meio, seja de forma natural ou em decorrência da intervenção humana. Esse estudo permite a adoção de medidas de mitigação para futuros impactos ambientais, possibilitando a tomada de decisões de forma antecipada (Santos; Lima; Lollo, 2021).

Por meio da análise das particularidades físicas de uma bacia hidrográfica, é possível definir sua suscetibilidade a processos erosivos, enchentes e inundações, além da perda de matéria orgânica, nutrientes e fauna microbiana que, por sua vez, podem ocasionar assoreamento e eutrofização dos corpos hídricos. A área da bacia, a forma, a declividade e o relevo, correlacionados com o tipo de vegetação, geologia, pedologia, uso e cobertura do solo são alguns exemplos dessas características (Salis *et al.*, 2020).

As características físicas das áreas de interesses são avaliadas através dos parâmetros morfométricos, com base em medidas quantitativas, como comprimento de cursos d'água, declividade, densidade de drenagem, índice de circularidade, coeficiente de rugosidade e coeficiente de compacidade (Valle Junior *et al.*, 2013).

Dentre inúmeros parâmetros morfométricos existentes, nesse estudo foram utilizados os parâmetros morfométricos expostos a seguir.

2.4.1 Área de drenagem (A)

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), a característica considerada mais importante de uma bacia hidrográfica é a área de drenagem, pois é essencial para determinar o seu potencial hídrico, por se tratar de uma região de captação da água da chuva. De acordo com Villela e Matos (1975), a área de drenagem é definida como

uma área plana inserida entre seus divisores topográficos. Este dado é fundamental para o cálculo de outras características físicas.

2.4.2 Coeficiente de Compacidade (K_c)

O coeficiente de compacidade (K_c) é um parâmetro que compara o perímetro de uma bacia hidrográfica com a circunferência de um círculo que possui a mesma área que a bacia em análise. Com base nessa definição, conclui-se que, quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de compacidade, mais a forma da bacia se aproxima de um formato circular. Esse coeficiente adimensional é utilizado para indicar a suscetibilidade da bacia a enchentes (Garcez; Alvarez, 1988).

O K_c pode ser calculado através da equação (1), e o Quadro 2 indica as classes de propensão a enchentes de uma bacia, de acordo com o valor obtido para o coeficiente de compacidade.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Em que:

K_c – Coeficiente de Compacidade, adimensional;

A – Área da bacia km²;

P – Perímetro da bacia em km.

Quadro 2 – Classes de propensão a enchentes

Propensão a enchentes	Coeficiente de Compacidade (adimensional)
Aponta que a bacia possui alta propensão a enchentes	$1,00 \leq K_c \leq 1,25$
Aponta tendência mediana da bacia a enchentes	$1,25 < K_c \leq 1,50$
Aponta que a bacia não é sujeita a esse fenômeno	$K_c > 1,50$

Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2013).

2.4.3 Declividade média do canal principal (m/m)

A declividade afeta diretamente o tempo que a água necessita para percorrer toda a extensão da bacia hidrográfica até seu ponto de exutório. Quanto maior a declividade, maior é a velocidade de escoamento da água, resultando em um menor

tempo de concentração. A velocidade do escoamento superficial define a magnitude dos picos de enchente e a suscetibilidade dos solos à erosão (Barbosa Júnior, 2022; Collischonn; Dornelles, 2013).

O curso hídrico que drena a maior área da bacia é considerado o principal. Sua declividade apresenta a inclinação do leito do canal principal ao longo de sua extensão e reflete o relevo onde o rio se encontra, contribuindo para a caracterização da morfologia da bacia (Barbosa Júnior, 2022).

A declividade média do canal principal, conforme apresentado pela equação (2), é obtida através da diferença entre a cota da nascente e o ponto do exutório, pelo comprimento do canal principal.

$$S_1 = \frac{Z_{nascente} - Z_{exutório}}{L} \quad (2)$$

Em que:

S_1 – Declividade média do canal principal, m/m;

$Z_{nascente}$ – Cota da nascente do canal principal;

$Z_{exutório}$ – Cota do ponto de exutório do canal principal;

L – Comprimento do canal principal em m.

2.4.4 Densidade de Drenagem (D_d)

A densidade de drenagem (D_d) é uma característica determinante na eficiência de escoamento, ela é diretamente influenciada pela precipitação média, e aspectos como o relevo, geologia, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo e ação antrópica (Stevaux; Latrubesse, 2017).

O parâmetro é definido pela relação entre o comprimento total dos cursos hídricos e a área bacia hidrográfica. Tal relação indica que a densidade de drenagem é inversamente proporcional a área da bacia, portanto, bacias com alta densidade de drenagem tendem a ter menos escoamento superficial, resultando em uma maior eficiência em direcionar a água para os canais (Villela; Mattos, 1975).

A expressão de densidade de drenagem é dada pela equação (3), e o Quadro 3 apresenta a classificação para esse parâmetro.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

Em que:

D_d – Densidade de Drenagem, km/km²;

L_t – Comprimento total dos cursos hídricos de uma bacia em km;

A – Área da bacia em km².

Quadro 3 – Classes de densidade de drenagem D_d

Classificação	Densidade de drenagem (km/km²)
Muito Baixa	$0,58 \leq D_d \leq 0,98$
Baixa	$0,99 \leq D_d \leq 1,36$
Média	$1,37 \leq D_d \leq 1,75$
Alta	$1,76 \leq D_d \leq 2,14$
Muito Alta	$2,15 \leq D_d \leq 2,53$

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

2.4.5 Fator Forma (K_f)

O fator forma (K_f) é a razão adimensional entre a área da bacia e o quadrado do seu comprimento do canal principal, utilizada frequentemente para descrever diferentes formatos de bacias. Esse fator classifica a bacia como arredondada, quando apresentar um valor próximo a 1, ou alongadas, quando resultar em um valor baixo ou igual a 0. Diante disso, quanto mais próximo de 1, maior a suscetibilidade a enchente (Raja Shekar; Mathew, 2024). A expressão de fator forma é dada pela equação (4), e o Quadro 4 apresenta uma classificação desse parâmetro.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

Em que:

K_f – Fator forma, adimensional;

A – Área da bacia em km²;

L – Comprimento do canal principal da bacia em km.

Quadro 4 – Classes do fator forma K_f

Classificação	Fator forma (adimensional)
Forma alongada	$0,02 \leq D_d \leq 0,50$
Forma intermediária	$0,51 \leq D_d \leq 0,75$
Forma circular	$0,76 \leq D_d \leq 1,00$

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

2.4.6 Índice de Circularidade (I_c)

O índice de circularidade (I_c) é um parâmetro morfométrico utilizado para avaliar o formato de uma bacia hidrográfica e sua interferência no escoamento superficial. Uma bacia pode ser definida como circular quando o valor de I_c se aproxima de 1, ou bacia alongada quando se aproxima de 0. Com isso, em uma bacia alongada o risco de enchentes é menor, devido à demora da chegada da água em seu exutório (Knierin; Trentin, 2015).

O índice de circularidade é definido pela relação entre as áreas de uma bacia e de um círculo de igual perímetro ao da bacia, e pode ser determinado pela equação (5). O Quadro 5 apresenta o comportamento hidrológico da bacia de acordo com o valor do índice de circularidade (Alves; Castro, 2003).

$$I_c = 12,57 \cdot \frac{A}{P^2} \quad (5)$$

Em que:

I_c – Índice de circularidade, adimensional;

A – Área da bacia em km^2 ;

P – Perímetro da bacia em km.

Quadro 5 – Classes do índice de circularidade I_c

Classificação	Índice de circularidade (adimensional)
Escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas	$I_c = 0,51$
Bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas)	$I_c > 0,51$
Bacias mais alongadas favorecendo o escoamento	$I_c < 0,51$

Fonte: Adaptado de Alves e Castro (2003).

2.4.7 Índice de Sinuosidade (I_s)

O índice de sinuosidade (I_s) é definido como a razão entre o comprimento verdadeiro do canal principal e o comprimento vetorial do canal principal. O valor resultante dessa relação evidencia a velocidade de escoamento do canal. Em canais cujo índice de sinuosidade é maior, o percurso que a água necessita percorrer para alcançar o ponto de saída da bacia também é maior, resultando em uma velocidade de escoamento baixa. Em contrapartida, em canais com baixa sinuosidade, o escoamento acontece de forma mais rápida desde a nascente até o exutório, resultando em maiores picos de vazão e ocorrência de enchentes (Santos *et al.*, 2012).

O índice de sinuosidade (I_s) é determinado através da equação (6). Além disso, Freitas (1952) propôs uma classificação de acordo com o valor do I_s obtido, conforme apresentado no Quadro 6.

$$I_s = \frac{L}{L_v} \quad (6)$$

Em que:

I_s – Índice de sinuosidade, adimensional;

L – Comprimento do canal principal em km;

L_v – Comprimento vetorial do canal principal em km.

Quadro 6 – Classes do índice de sinuosidade I_s

Classificação	Índice de sinuosidade (adimensional)
Canais retilíneos	$I_s < 1,00$
Canais sinuosos	$I_s > 2,00$
Canais com formas transicionais	$1,00 \leq I_s \leq 2,00$

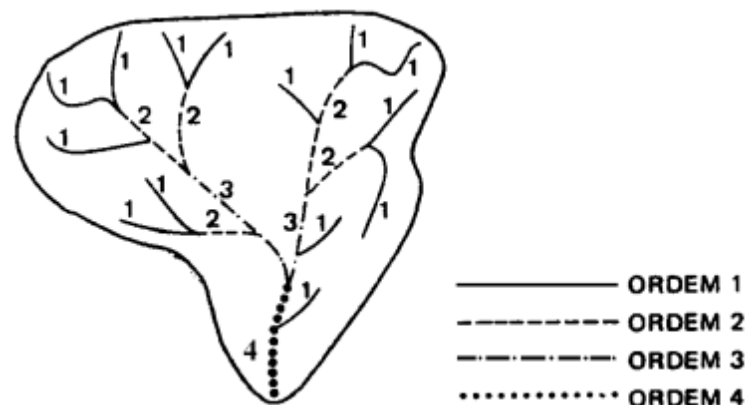
Fonte: Adaptado de Freitas (1952).

2.4.8 Ordem dos cursos d'água

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), o hidrólogo Robert Horton apresentou, no início do século XX, um método para hierarquizar os cursos d'água (Horton, 1945). Posteriormente, Strahler (1952) modificou esse método, que passou a ser amplamente conhecido como ordem do curso d'água. Esse método classifica o rio como exposto a seguir e conforme ilustrado na Figura 2.

- Cursos hídricos primários são considerados de ordem 1;
- A união de dois cursos de mesma ordem dá origem a um curso de ordem superior. Por exemplo, o encontro de dois cursos d'água de ordem 1 forma um curso de ordem 2; quando esse curso de ordem 2 se encontra com outro de ordem 2, forma um curso de ordem 3, e assim por diante;
- A junção de dois cursos hídricos de ordem diferentes garante a predominância da maior ordem. Por exemplo, o encontro de um curso de ordem 2 com um de ordem 3 forma um curso de ordem 3 (Palaretti, 2013).

Figura 2 – Classificação dos rios segundo Strahler (1952)



Fonte: Villela e Mattos (1975).

2.5 ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O termo “ocupação do solo” retrata propriedades da superfície e do subsolo, como relevo, solo, águas superficiais e subterrâneas, além das estruturas executadas pelo homem. Já a expressão “uso do solo” é referente as finalidades para as quais o solo é destinado, como agricultura, pecuária e urbanização (Américo-Pinheiro; Benini, 2018).

A caracterização e quantificação dos usos e ocupações dos solos presentes na bacia hidrográfica é de extrema importância, pois esse fator é capaz de alterar significativamente os processos biológicos, físicos e químicos das paisagens naturais (Lambin; Geist; Lepers, 2003).

As alterações no uso do solo realizadas pelos seres humanos são um dos principais agentes de mudanças na paisagem natural. Essas modificações, geralmente motivadas pela busca de benefícios econômicos, incluem mudanças nos padrões de produção e consumo de alimentos, expansão de áreas habitacionais,

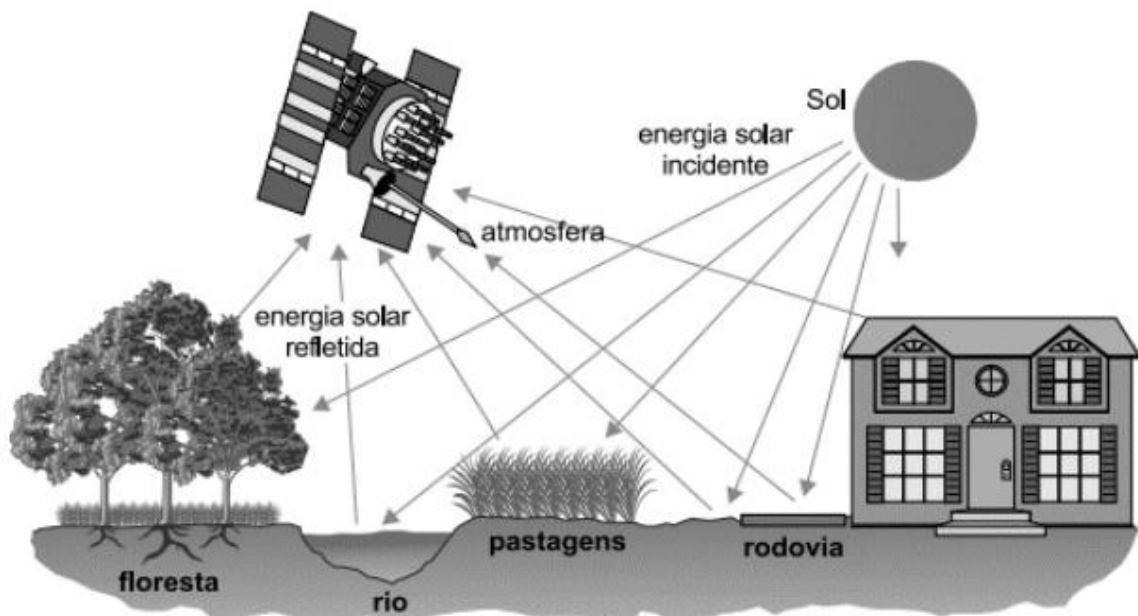
intensificação da agricultura e exploração desordenada dos recursos naturais (Roy *et al.*, 2022).

O mapeamento do uso e cobertura do solo possibilita analisar as alterações ocorridas em um local ao longo dos anos, permitindo identificar usos inadequados dos solos e suas consequências (Mota *et al.*, 2013). Nesse contexto, a utilização de geotecnologias é conhecida como uma ferramenta crucial para caracterizar o uso das terras. Através da combinação entre o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica, é possível analisar o uso e ocupação do solo de maneira breve e econômica (Santos, 2012).

2.6 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma técnica capaz de coletar informações sobre objetos, áreas ou fenômenos à distância, através da utilização de sensores instalados em dispositivos que não está em contato físico com o objeto de estudo, como em satélites, drones e aeronaves. Após a coleta de informações, os dados são analisados e interpretados (Lillesand; Kiefer; Chipman, 2015). A Figura 3 exibe um desenho esquemático sobre o sensoriamento remoto.

Figura 3 – Desenho esquemático sobre sensoriamento remoto



Fonte: Atlas Geográfico Escolar - IBGE (2000).

Os dados adquiridos por meio dessa metodologia são apresentados como imagens digitais. Através da análise multitemporal das imagens, é possível localizar e

qualificar as mudanças que ocorreram na cobertura e no uso da terra em momentos e lugares específicos, por meio das respostas espectrais capturadas nos pares de pixels correspondentes (Kiel, 2008).

2.7 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGs)

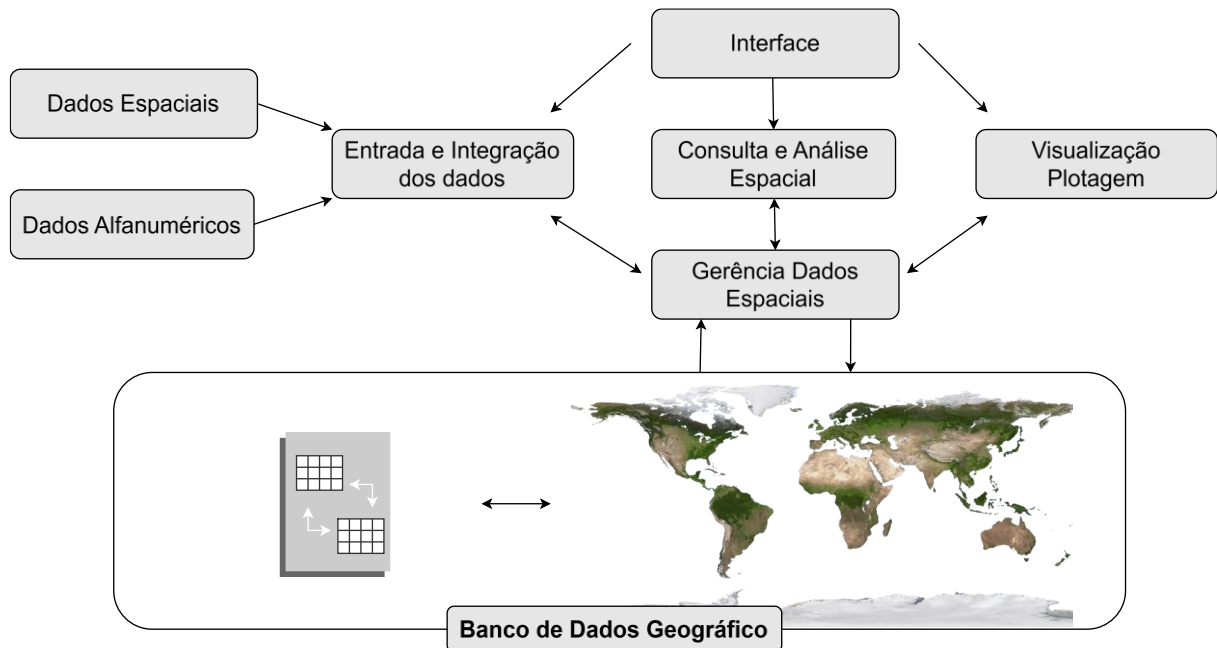
Os sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são ferramentas computacionais de geoprocessamento que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), com foco em análises espaciais e modelagens de superfícies. Os SIGs possuem ampla utilização em diversas áreas, como o urbanismo, agricultura e gestão ambiental (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2006).

Burrough (1986) considera que o SIG se trata de um conjunto poderoso de ferramentas voltadas para a coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados relacionados ao mundo real. Já Smith *et al.* (1987) descrevem o SIG como um banco de dados indexado espacialmente, operado por um conjunto de procedimentos que possibilitam responder a consultas sobre elementos espaciais.

Os SIGs são compostos por quatro elementos principais: *hardware*, *software*, dados e recursos humanos. O *hardware* inclui os computadores e dispositivos de armazenamento de dados, enquanto o *software* abrange programas especializados, como SPRING, ArcGIS e QGIS (Longley *et al.*, 2015). A Figura 4 ilustra a estrutura geral do SIG.

Dentre as diversas aplicações dos SIGs, destaca-se a análise de uso e ocupação do solo. Essa análise envolve a classificação das áreas em relação ao seu uso e sua cobertura, permitindo a identificação de mudanças ao longo do tempo. Os SIGs facilitam a integração de imagens de satélite com outras bases de dados espaciais, oferecendo uma visão detalhada de como o uso do solo está sendo alterado pela urbanização ou desmatamento, por exemplo (Meyer; Turner, 1994).

Figura 4 - Estrutura dos Sistemas de Informações Geográficas - SIGs



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

2.8 ESTUDOS SEMELHANTES

As alterações no uso e ocupação do solo causadas por atividades antrópicas, impactam negativamente os ambientes e contribuem para enchentes e inundações. Em respostas a esses desafios, estão sendo realizados diversos estudos para mapear e mitigar os impactos nas bacias hidrográficas, através de planejamentos assertivos e elaboração de estratégias de gestão eficazes (Coelho *et al.*, 2014).

Outro estudo relevante foi executado por Reis, Dias e Vieira (2020), onde analisou-se a microbacia do Córrego Santa Maria, localizado em Conceição de Ipanema-MG. Através da análise dos parâmetros morfométricos, concluiu-se que a microbacia possui média capacidade de drenagem, alta permeabilidade e baixa propensão a cheias. Por outro lado, através da análise do uso e ocupação do solo concluiu que há a necessidade de recomposição vegetal para preservar a qualidade da água e proteger espécies nativas.

A pesquisa conduzida por Lago, Souza e Pisani (2021), analisou o uso e cobertura do solo e os conflitos identificados nas APPs na sub-bacia do Córrego Campestre, no município de Campestre-MG. O trabalho apontou a ocorrência de vários conflitos nas APPs, devido à falta de planejamento urbano, desmatamento da

vegetação nativa, descarte inadequado de resíduos e lançamento de efluentes nos corpos d'água.

No estudo de Mercado, Lima e Lollo (2023), foi analisada a microbacia do Ribeirão Campestre na cidade de Lins-SP, constatando-se que sua forma circular e seus corpos hídricos retos contribuem para uma média a alta suscetibilidade a enchentes. Além disso, observou-se que entre os anos de 1990 e 2021, houve um aumento de 13% das áreas construídas, intensificando o risco de inundações devido à redução de áreas permeáveis.

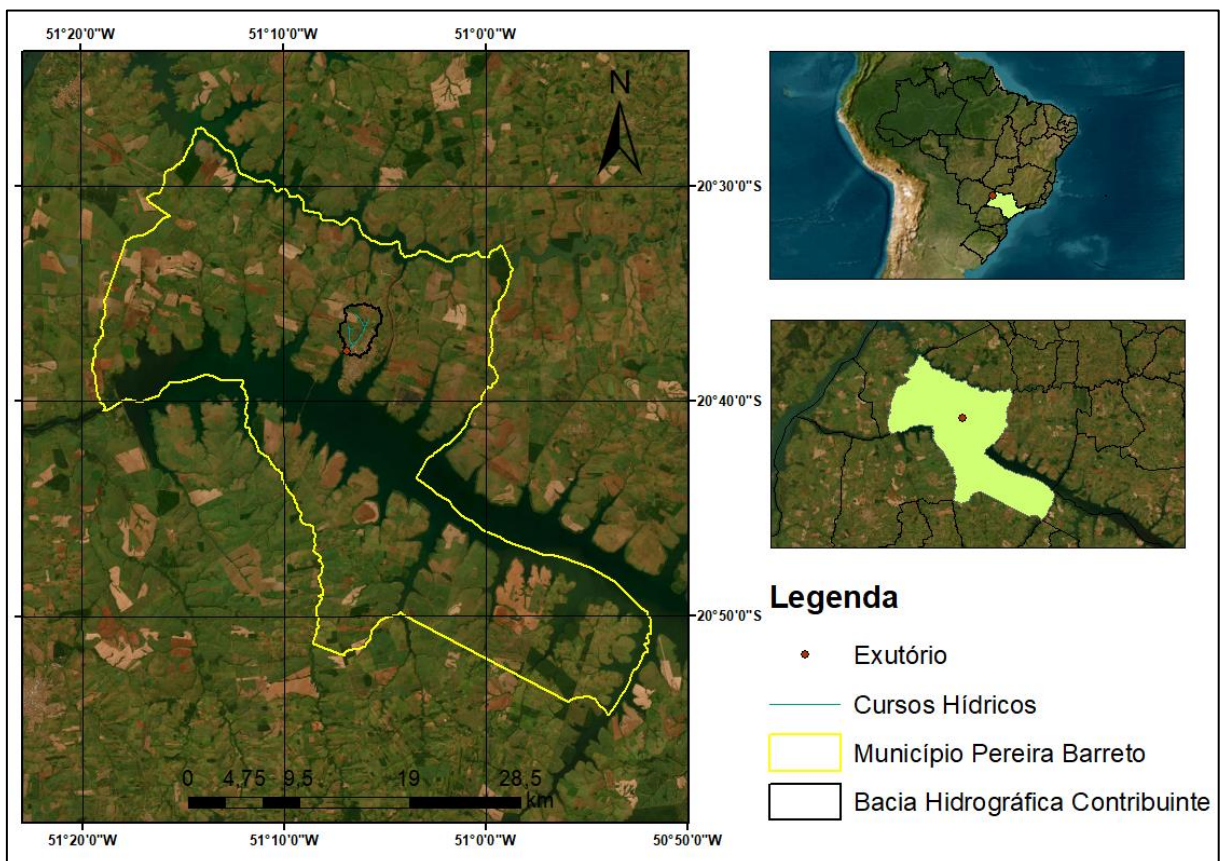
Por fim, Siqueira e Lima (2023), estudaram a microbacia do Córrego do Aranha em Itapeva-SP, destacando que entre os anos de 1991 e 2020, houve um crescimento de aproximadamente 88% da zona urbana, enfatizando que uma grande parcela dessa expansão ocorreu dentro de uma área com histórico de enchentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à microbacia do Córrego Laranja Azeda, localizada no município de Pereira Barreto, no estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 5. A microbacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 11,381 km², e está limitada pelo quadrante de coordenadas geográficas: 20°35'27" e 20°38'06" de latitude sul (S), e 51°04'58" e 51°07'26" de longitude oeste (W).

Figura 5 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora

O município de Pereira Barreto foi fundado oficialmente em 1928, com o nome de Novo Oriente, e foi elevada a município no ano de 1938. Está inserido entre as coordenadas 20°38'28" de latitude S e 51°06'26" de longitude O, possui 347 metros de altitude (Bertão; Ricardi; Lima, 2019), e tem aproximadamente 974,247 km² de área territorial (IBGE, 2022).

A área de estudo está inserida no bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2019). De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, desenvolvida pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, o clima predominante é Aw, onde há duas estações bem definidas, uma estação chuvosa que geralmente ocorre durante a primavera e verão, e uma estação seca, que ocorre no inverno (Rolim *et al.*, 2007). A temperatura média anual do município de Pereira Barreto é de aproximadamente 25,5°C (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2024).

O número total de habitantes, conforme último censo, era de cerca de 24.095, com densidade demográfica igual a 24,73 habitantes por quilômetro quadrado, enquanto para o ano de 2024 estimava-se 24.389 pessoas IBGE (2022). O Quadro 7 apresenta o número de habitantes no município de Pereira Barreto entre os anos de 1980 e 2022.

Quadro 7 – População em Pereira Barreto entre os anos de 1980 e 2022

Ano	População (hab.)
1980	25.603
1991	25.250
2000	25.028
2010	24.962
2022	24.095

Fonte: IBGE (2010, 2022).

Entre 1980 e 2000, o município registrou uma diminuição significativa da população. Esse declínio ocorreu principalmente em razão das grandes obras realizadas entre as décadas de 1980 e 1990, como a construção do canal artificial de Pereira Barreto, "Deoclécio Bispo Santos", considerado o segundo maior canal de água doce artificial do mundo, e da Usina Hidrelétrica (UHE) Três Irmãos (Guia de Serviços de Pereira Barreto, 2011). Essas obras atraíram uma grande quantidade de trabalhadores para a região, mas, ao serem concluídas, muitos deles e suas famílias deixaram o município.

A construção da UHE Três Irmãos no rio Tietê, executada em meados dos anos 90, impactou diretamente na paisagem do município, alterando expressivamente a microbacia hidrográfica do Córrego Laranja Azeda por meio da inundação de uma extensa área.

Além disso, o processo de urbanização nas proximidades do córrego, incluindo o Conjunto Habitacional Kogenta Shimizu, entregue pela CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, em 2018 (Pereira Barreto, 2018), afeta diretamente as características da microbacia do córrego, visto que a impermeabilização do solo, combinado a eventos climáticos extremos, podem desencadear enchentes. Ademais, uma ocupação desordenada pode levar à supressão da APP e ao depósito irregular de resíduos, afetando negativamente o curso do córrego, a fauna e a flora local.

Para compreender as condições reais da área de estudo, foi realizada uma visita de campo em diferentes locais de livre acesso no Córrego Laranja Azeda. Selecionaram-se pontos específicos que representam as características mais relevantes da microbacia para a análise morfométrica e do uso e ocupação do solo.

Inicialmente, visitou-se a nascente do canal principal, localizada próxima às coordenadas 20°36'12" de latitude S e 51°05'49" de longitude O, indicada pelo círculo amarelo no mapa no canto inferior esquerdo da Figura 6. A foto foi tirada a partir da Rodovia Feliciano Salles da Cunha e durante a visita, observou-se que a região estava seca, sem a presença de água, e o açude próximo a nascente também se encontrava sem água. O acesso à continuidade do curso do córrego não foi possível, pois pertence a uma propriedade privada.

Figura 6 – Antiga nascente nas margens da Rod. Feliciano Salles da Cunha



Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente, foram realizadas visitas a dois pontos distintos nas margens da Via de Acesso Dorival da Silva Lousada, conforme indicado nas Figuras 7 e 8.

Nessa região, foi possível observar o curso hídrico com pontos onde foram identificados resíduos descartados de forma inadequada.

Figura 7 – Córrego nas margens da Via de Acesso Ver. Dorival da Silva Lousada



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8 – Córrego nas margens da Via de Acesso Ver. Dorival da Silva Lousada



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, foi visitado o ponto de exutório onde o córrego deságua no reservatório do rio Tietê, formado pela barragem da UHE Três Irmãos, localizado nas coordenadas 20°37'40,8" de latitude S e 51°06'54" de longitude O, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Ponto de exutório do Córrego Laranja Azeda



Fonte: Elaborado pela autora.

Sobre as características socioeconômicas de Pereira Barreto, destacam os seguintes pontos a respeito da educação, economia e meio ambiente, respectivamente:

- De acordo com a pesquisa realizada em 2010 pelo IBGE, a taxa de escolarização na faixa etária de 6 a 14 anos de idade era de 98,1%. Quanto ao IDEB - Índice de Desenvolvimento da Educação Básica, utilizado para medir a qualidade do ensino nas escolas públicas, no ano de 2023 obteve-se um valor de 7,2 para os anos iniciais do ensino fundamental e 6,0 para os anos finais (IBGE, 2024).
- Em 2022, o rendimento médio mensal era equivalente a 2,5 vezes o salário-mínimo e o Produto Interno Bruto (PIB) per capita foi de R\$ 42.339,32;
- Por fim, cerca de 94,9% da população do município possui esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2010).

3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

3.2.1 Delimitação da microbacia

Para a análise dos parâmetros morfométricos da microbacia do Córrego Laranja Azeda, foi realizada a delimitação automática da área de estudo através de

um SIG, utilizando um Modelo Digital de Terreno (MDT), capaz de representar digitalmente a superfície do terreno.

O MDT utilizado foi obtido por meio de dados altimétricos do ALOS PALSAR, satélite desenvolvido pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão ou *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), com pré-processamento realizado pela *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2024), fornecendo imagens com resolução espacial de 12,5 metros no formato GeoTIFF. Para o estudo, foi escolhida uma imagem que abrange toda a área de interesse.

O SIG utilizado para delimitar a área de estudo foi o ArcGIS 10.7 (ESRI, 2019), escolhido por sua ampla disponibilidade de materiais de suporte, que facilitam o manuseio e operação. O sistema de coordenadas adotado foi o WGS 1984 (World Geodetic System 1984), com a projeção UTM (Universal Transverse Mercator) na zona 22S.

No início do geoprocessamento, as seguintes ferramentas foram utilizadas: *Fill* (preenchimento de falhas), *Flow Direction* (direção do fluxo), *Flow Accumulation* (fluxo acumulado), *Stream Order, Con* (condição), *Stream to Feature* e *Watershed* (delimitação da bacia).

I. Preenchimento de falhas

A ferramenta de preenchimento de falhas “*Fill*”, no ArcGIS, é usada para preencher depressões (célula sem direção de drenagem definida), e picos em superfícies *raster*, corrigindo áreas onde o radar pode ter mal interpretado o relevo terrestre, dessa forma, essa ferramenta ajuda a criar uma superfície contínua para que seja possível a análise da elevação (ESRI, 2019).

II. Direção do fluxo

A ferramenta de direção de fluxo ou “*Flow Direction*” no ArcGIS, é aplicada no *raster* obtido no passo anterior para calcular a direção do fluxo da água de cada pixel, como resultado, é gerado um *raster* com valores de relevo alterados para códigos de direção de fluxo, possibilitando observar a inclinação do relevo e a tendência de escoamento (ESRI, 2019).

III. Fluxo acumulado

Posteriormente, a ferramenta “*Flow Accumulation*” calcula e gera um *raster* que mostra o fluxo de água acumulado em cada célula com base nos pixels que drenam para ela. Através do fluxo acumulado é possível identificar áreas de captação e confluência da rede de drenagem (ESRI, 2019).

IV. Ordem dos Rios

Em seguida, é aplicada a ferramenta “*Stream Order*” para determinar o fluxo dos cursos hídricos e a ordem dos rios (ESRI, 2019).

Nesse estudo, os resultados obtidos pela ferramenta “*Stream Order*” foram desconsiderados devido ao pequeno tamanho do curso hídrico, o que gerou fluxos que não correspondiam com a realidade. Por ser uma microbacia muito pequena, o erro poderia comprometer a análise dos parâmetros morfométricos. Portanto, primeiramente, foi criado um shapefile denominado “hidrografia”, e a modelagem dos corpos d’água foi realizada manualmente. Em seguida, os rios foram classificados segundo o método de Strahler (1952) onde os fluxos são ordenados com base no número de tributários.

V. Delimitação da Bacia

Para a delimitação da bacia do Córrego Laranja Azeda utilizou-se a ferramenta “*Watershed*”, que processa um fatiamento dos vetores das feições de drenagem e relevo a partir dos *rasters* gerados nos processos anteriores. Essa ferramenta é aplicada após a definição do ponto de exutório da rede de drenagem estudada (ESRI, 2019). Por fim, torna-se necessário poligonizar a bacia através do comando “*Raster to Features*”.

3.2.2 Declividade da microbacia

O mapa de declividade representa a variação da inclinação do terreno na microbacia. Para sua criação, utilizou-se a ferramenta “*Slope*” no ArcGIS, a partir dos dados necessário para a delimitação da bacia, como a imagem em formato *tiff* e os limites da bacia. Posteriormente, o mapa foi classificado de acordo com as classes de declividade Embrapa (2018), apresentado no Quadro 8, por meio da ferramenta “*Reclassify*”.

Quadro 8 – Classes de declividade Embrapa

Classificação	Intervalo
Plano	0% a 3%
Suave ondulado	3% a 8%
Ondulado	8% a 20%
Forte ondulado	20% a 45%
Montanhoso	45% a 75%
Escarpa	Superiores a 75%

Fonte: Embrapa (2018).

3.2.3 Perfil longitudinal

Em seguida, foi extraído o perfil longitudinal do canal principal do Córrego Laranja Azeda, representando a variação de elevação ao longo do seu trajeto, desde a nascente até o ponto de exutório, onde o córrego deságua no reservatório da UHE Três Irmãos. De acordo com Zhou *et al.*, (2021), a análise do perfil longitudinal do curso hídrico é uma ferramenta indispensável para estudar a evolução da paisagem.

A extração do perfil e a criação do gráfico foram realizadas utilizando o SIG ArcGIS 10.7 (ESRI, 2019), por meio das ferramentas “*Interpolate Shape*” e “*Profile Graph*”, respectivamente.

3.2.4 Parâmetros morfométricos

Por fim, foi possível obter informações da microbacia, como seu perímetro (P), área (A), comprimento total dos cursos hídricos (L_t) e comprimento do canal principal (L). Esses dados possibilitam o cálculo dos parâmetros morfométricos, incluindo: Coeficiente de compactidade (K_c); declividade da bacia e declividade média do canal principal; densidade de drenagem (D_d); fator forma (K_f); índice de circularidade (I_c); índice de Sinuosidade (I_s) e; ordem dos cursos d'água, conforme as metodologias descritas anteriormente.

3.3 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Com o objetivo de investigar o histórico de uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego Laranja Azeda, foi elaborada uma análise temporal com intervalos de 10 anos, cobrindo o período de 1984 a 2024. A escolha desse período se deu ao fato da mudança da paisagem ocasionada pelo enchimento do reservatório da UHE Três Irmãos, no rio Tietê, na década de 1990.

Para o trabalho, foram utilizadas imagens de satélites extraídas da plataforma online denominada *USGS EarthExplorer*, disponibilizada pelo *United States Geological Survey (USGS)* (2024), onde é possível pesquisar, visualizar e obter dados geoespaciais.

As imagens escolhidas para os anos de 1984, 1994 e 2004, foram dados do satélite Landsat 5, utilizando-se as bandas espectrais verde, vermelho e infravermelho

próximo (B2, B3 e B4), na composição de cores RGB, respectivamente. Ademais foi aplicado o contraste para melhor visualização.

As características das bandas utilizadas do satélite Landsat 5 estão apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Características das bandas utilizadas do satélite Landsat 5 de sensor TM

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
TM (Thematic Mapper)	(B2) Verde	0,52 – 0,60	30
	(B3) Vermelho	0,63 – 0,69	
	(B4) Infravermelho próximo	0,76 – 0,90	

Fonte: Adaptado de Embrapa (2018).

Enquanto para os anos de 2014 e 2024, foram utilizados dados do satélite Landsat 8 e 9, cujas bandas utilizadas foram B3, B4 e B5, na composição de cores RGB, respectivamente. Ademais foram aplicados o contraste para melhor visualização. As características gerais do satélite Landsat 8 e 9 estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 - Características das bandas espectrais utilizadas do satélite Landsat 8 e 9 de sensor OLI

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)		Resolução Espacial (m)
		Landsat 8	Landsat 9	
OLI (Operational Land Imager)	(B3) Verde	0,525 – 0,600	0,530 – 0,590	30
	(B4) Vermelho	0,630 – 0,680	0,640 – 0,670	
	(B5) Infravermelho próximo	0,845 – 0,885	0,850 – 0,880	

Fonte: Adaptado de Embrapa (2018) e GeoOne (2024).

As imagens foram selecionadas com base em alguns critérios, visando garantir precisão nas análises de uso e ocupação do solo. Primeiramente, optou-se por imagens de períodos próximos, pois ao longo do ano, o solo utilizado para atividades agrícolas varia em função das etapas de preparo, plantio e colheita, podendo causar erros nos resultados obtidos. Além disso, verificou-se a ausência de nuvens nas imagens selecionadas para garantir clareza nas interpretações visuais.

Portanto, a data de aquisição das imagens de cada satélite selecionados foram:

















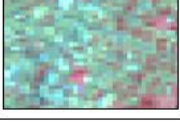

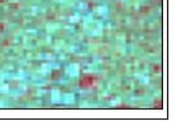
- Agosto de 1984 (Landsat 5);
- Agosto de 1994 (Landsat 5);
- Julho de 2004 (Landsat 5);

- Agosto de 2014 (Landsat 8);
- Agosto de 2024 (Landsat 9).

Para a classificação das imagens, foi utilizado o *software* Spring 5.5.6 (INPE, 2019). Para o ano de 1984, a microbacia foi delimitada manualmente, enquanto para os períodos subsequentes foi utilizada a delimitação gerada pelo *software* ArcGIS 10.7. As imagens foram importadas e segmentadas com base em valores de similaridade, sendo 1 para as imagens de Landsat 5, e 10 para as imagens de Landsat 8 e 9. Esses valores foram definidos após análises comparativas de diferentes valores de similaridades, selecionando-se aquelas que melhor atendiam às características das imagens. O tamanho do pixel foi ajustado para 30 metros, conforme a resolução espacial das imagens.

Após a segmentação, as classificações das imagens foram realizadas por meio do método supervisionado de Bhattacharya, adotando-se um limiar de aceitação de 99%. O treinamento foi realizado com base nas classes estabelecidas, que incluem cursos hídricos, solo exposto, urbanização, vegetação densa e vegetação rasteira, conforme representado na chave de interpretação apresentada no Quadro 11.

Quadro 11 – Chave de interpretação adotada

Classe	Descrição do uso	Chave de interpretação			
		Imagem Google Earth	Imagem Landsat 5	Imagem Landsat 8	Imagem Landsat 9
Corpos hídricos	Açudes, córregos, lagos e rios				
Vegetação densa	Vegetação de grande porte agrupadas				
Vegetação rasteira	Área de agricultura e pastagem				
Solo exposto	Áreas que não possuem cobertura de vegetação				
Área urbana	Áreas impermeabilizadas, construções, rodovias e telhados				

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

As APPs são regiões ao redor das nascentes e das margens dos corpos d'água, com funções essenciais, como a preservação dos cursos hídricos, da biodiversidade local e a garantia da estabilidade geológica. Com o objetivo de analisar o uso e ocupação do solo nessas áreas do Córrego Laranja Azeda, foi empregada a ferramenta “*Mapa de Distâncias*”, pertencente ao modelo de dados “*Temático*” no software Spring 5.5.6 (INPE, 2019).

Para delimitar as áreas ao longo da calha do rio, foram configuradas as opções “elemento” e “linha” nos itens de seleção e entidade, respectivamente. Em seguida, com as linhas do curso hídrico selecionado, foi aplicada a opção “*Definição de Fatias*”, utilizando um intervalo de 30 metros a partir das margens do córrego, em conformidade com a Lei Federal nº12.651 de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012). Esta legislação estabelece que para cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura, as APPs, tanto em zonas rurais quanto urbanas, devem se estender em 30 (trinta) metros em cada margem da calha do curso d'água (Brasil, 2012). Dessa forma, foi gerado um *buffer* delimitando as APPs nas margens do córrego.

O mesmo procedimento foi realizado para as áreas ao redor das nascentes, ajustando-se a opção entidade para “ponto” e definindo um intervalo de 50 metros, conforme a mesma legislação, que determina um raio mínimo de proteção de 50 metros em torno das nascentes (Brasil, 2012).

Por fim, o *buffer* das áreas das nascentes foi exportado e integrado ao *buffer* contendo as delimitações para a calha do córrego e, por meio da edição vetorial, foi possível transformar a delimitação final em polígono e classificá-lo como APP, tornando possível o cálculo do perímetro e da área total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

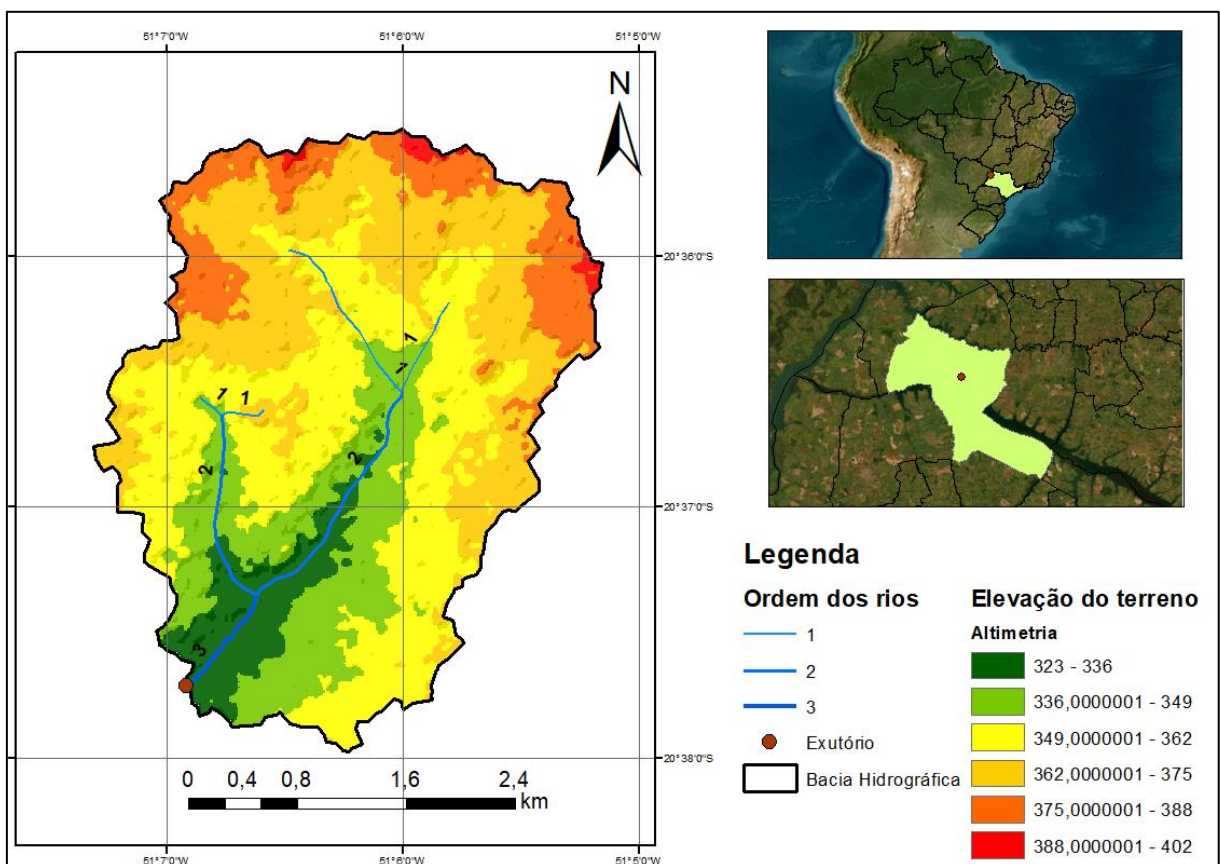
4.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

4.1.1 Elevação do terreno

A análise da elevação do terreno na microbacia do Córrego Laranja Azeda é um elemento fundamental para compreender a dinâmica ambiental, pois a variação altimétrica desempenha um papel essencial na determinação das condições hidrológicas e dos processos erosivos.

A Figura 10 apresenta a elevação altimétrica do terreno do Córrego Laranja Azeda, bem como seus cursos hídricos.

Figura 10 – Mapa de elevação do terreno do Córrego Laranja Azeda



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A elevação do terreno variou entre 323 e 402 metros acima do mar, com a cota mais baixa localizada na região do ponto de exutório, onde o Córrego Laranja Azeda deságua no rio Tietê. Para a análise, foram considerados intervalos de

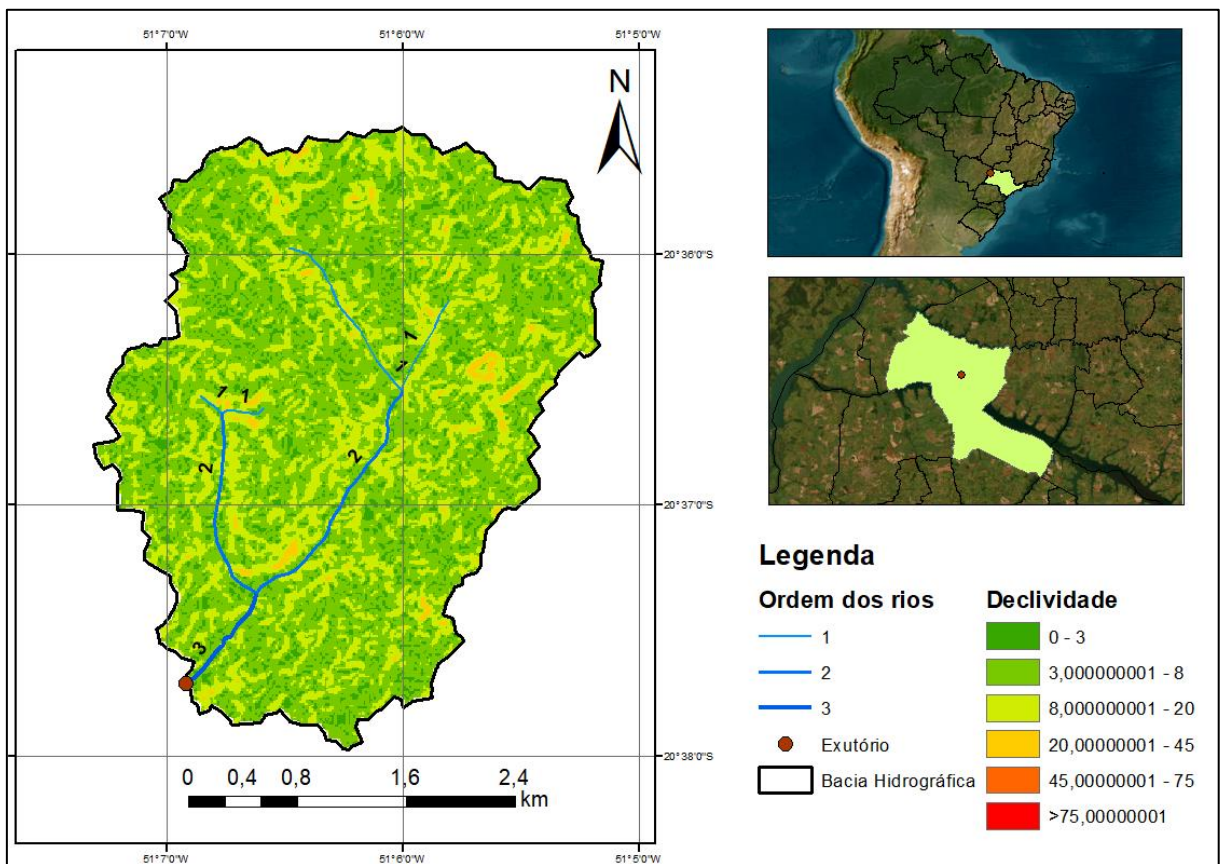
aproximadamente 13 metros, permitindo uma representação detalhada das variações altimétricas da microbacia.

Através da interpretação gráfica, nota-se que as regiões de menor altitude, em verde-escuro e verde-claro, acompanham grande parte do curso hídrico. Em contraste, as áreas em laranja escuro e vermelho estão concentradas na porção norte e nordeste, especialmente nas extremidades do mapa, indicando uma topografia mais elevada.

4.1.2 Declividade da microbacia

O mapa de declividade da microbacia do Córrego Laranja Azeda, gerado conforme a classificação da Embrapa (2021), está exposto na Figura 11.

Figura 11 – Declividade da microbacia do Córrego Laranja Azeda



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ao analisar o mapa de declividade apresentado anteriormente, observa-se que o terreno é predominantemente plano a suavemente ondulado, com declividades que se intensificam levemente nas proximidades dos cursos d'água. Essas áreas de maior

declividade próximas ao córrego coincidem, em sua maioria, com as regiões que deveriam ser cobertas pela vegetação das APPs, conforme a legislação ambiental.

Essa análise é corroborada pelos dados estatísticos fornecidos pelo próprio *software*, que indica uma declividade média de 7,01% na área de estudo e, de acordo com a classificação da Embrapa (2021), essa inclinação caracteriza o terreno como suave-ondulado. Além disso, foi possível calcular extensão da área correspondente a cada intervalo de classificação, conforme exposto no Quadro 12, proporcionando uma visão detalhada das características topográficas do local avaliado.

Quadro 12 – Classe de declividade da área de estudo

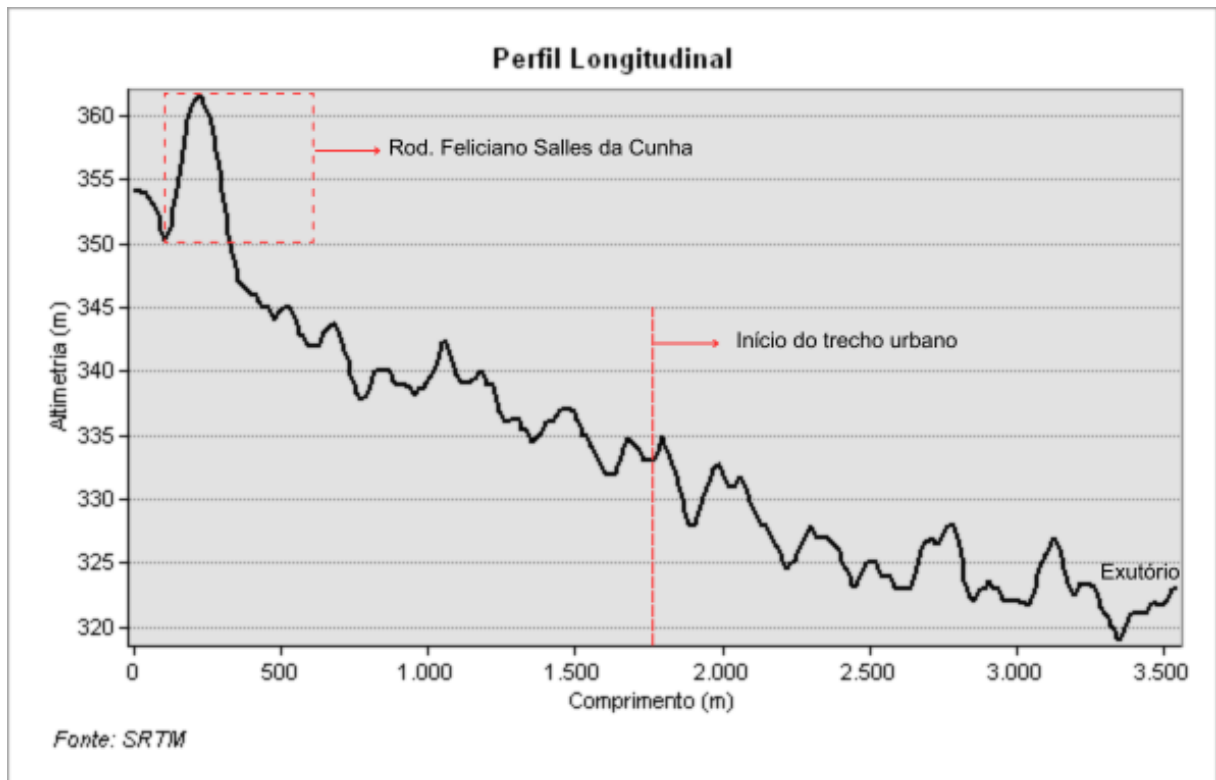
Classificação	Intervalo	Área (km²)	Área (%)
Plano	0% a 3%	1,01	9,01
Suave ondulado	3% a 8%	6,68	59,63
Ondulado	8% a 20%	3,39	30,26
Forte ondulado	20% a 45%	0,12	1,10
Montanhoso	45% a 75%	0,00	0,00
Escarpado	Superiores a 75%	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.1.3 Perfil longitudinal

O perfil longitudinal do canal principal do Córrego Laranja Azeda está representado na Figura 12. O perfil inicia-se na nascente, situada em uma altitude de 355 metros. Logo após, observa-se um aumento na elevação do terreno devido à presença da rodovia estadual Feliciano Salles da Cunha. A partir desse ponto, o canal apresenta uma diminuição gradual na altitude ao longo do percurso, até alcançar o exutório da bacia, onde deságua no rio Tietê, a uma cota de 323 metros.

Figura 12 – Perfil longitudinal do canal principal do Córrego Laranja Azeda



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ademais, a análise gráfica do perfil indica que o canal possui um comprimento total de aproximadamente de 3,54 km e apresenta um comportamento relativamente uniforme ao longo de quase toda a sua extensão, incluindo as áreas com urbanização que corresponde à segunda metade do seu percurso.

4.1.4 Parâmetros morfométricos

Por meio da delimitação da bacia foi possível extrair algumas informações das feições físicas, como o perímetro, área e comprimento dos cursos hídricos, além dos parâmetros morfométricos, como indicado no Quadro 13.

Quadro 13 – Dados físicos da área de estudo

Dados	Resultados	Unidade	Suscetibilidade a enchentes
Altitude máxima	402	m	-
Altitude mínima	323	m	-
Amplitude altimétrica	79	m	-
Área da bacia (A)	11,381	km ²	-

Dados	Resultados	Unidade	Suscetibilidade a enchentes
Comprimento do talvegue principal (L)	3,541	km	-
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	6,915	km	-
Cota da nascente	355	m	-
Cota do exutório	323	m	-
Declividade média do canal principal	0,009	m/m	-
Declividade média da bacia	7,015	%	-
Desnível do talvegue principal	32	m	-
Distância vetorial do talvegue principal	3,425	km	-
Ordem dos rios	3 ^a	ordem	-
Perímetro da bacia (P)	16,399	km	-
Coefficiente de compacidade (K_c)	1,361	adimensional	Média
Densidade de drenagem (D_d)	0,608	km/km ² ;	Alta
Fator Forma (K_f)	0,908	adimensional	Alta
Índice de Circularidade (I_c)	0,532	adimensional	Alta
Índice de Sinuosidade (I_s)	1,034	adimensional	Média

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme apresentado no quadro anterior, os resultados da análise da microbacia do Laranja Azeda revelam que a área estudada possui cerca de 11,381 km² e um perímetro de 16,399 km. O curso principal do córrego se estende por 3,541 km e foi classificado como de 3^a ordem (Strahler, 1952).

Com base no valor obtido do coeficiente de compacidade (1,361), pode-se analisar a propensão da área a enchentes, com o auxílio do Quadro 2, que apresenta as classes de propensão proposta por Lima *et al.* (2013). Esse valor encontra-se na faixa de $1,25 < K_c \leq 1,5$, indicando que a microbacia possui uma tendência mediana a enchentes. Esse coeficiente adimensional aponta que a forma da bacia não é totalmente circular, mas também não se afasta significativamente dessa geometria, o que pode influenciar a capacidade de drenagem e a velocidade com que a água escoar

pela microbacia. Portanto, embora a bacia não apresente uma alta propensão a enchentes, em eventos de chuvas intensas pode ocorrer o acúmulo de água em áreas com baixa permeabilidade do solo ou elevada declividade (Garcez; Alvarez, 1988).

Segundo a classificação de Silva (2012) apresentada no Quadro 3, a densidade de drenagem (D_d) da microbacia, igual a 0,608 km/km², é considerada muito baixa. Isso indica que a área de estudo possui menor capacidade de escoamento superficial aumentando sua propensão a enchentes em caso de chuvas intensas.

Quanto ao fator forma (K_f), obteve-se um valor de 0,908, indicando que a bacia possui uma forma próxima a arredondada, segundo a classificação de Raja Shekar e Mathew (2024). Ademais, de acordo com a classificação de Silva (2012), apresentada no Quadro 4, um fator entre 0,76 e 1,00 indica uma forma circular, o que sugere que a microbacia está sujeita a enchentes, pois a convergência do escoamento superficial ocorre em menor tempo.

O índice de circularidade (I_c) encontrado foi de 0,532, indicando que a microbacia possui um formato circular, o que favorece processos de inundação com cheias mais rápidas, conforme classificação de Alves e Castro (2003) apresentada no Quadro 5.

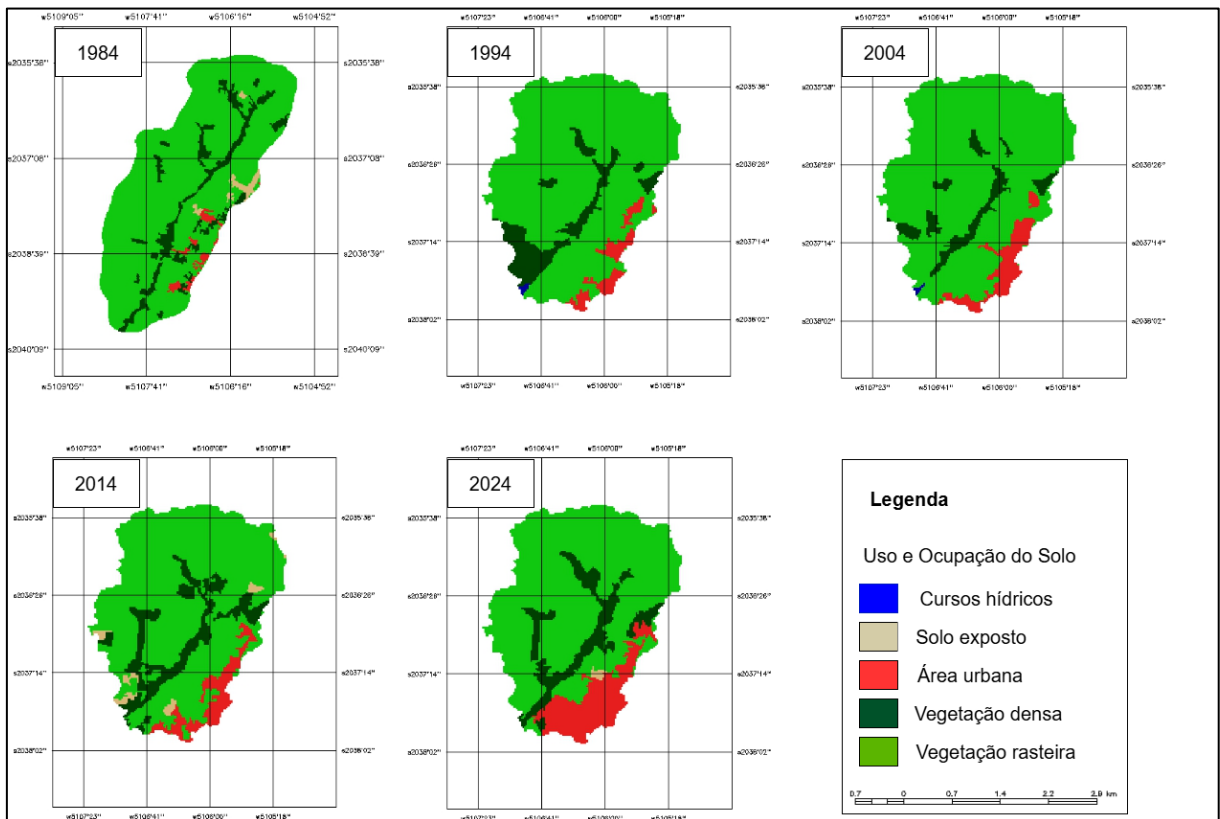
Por fim, o índice de sinuosidade (I_s) calculado foi de 1,034. Assim, segundo a classificação de Freitas (1952) apresentado no Quadro 6, o canal principal possui um trajeto de forma transacional. Entretanto, esse valor está muito próximo de 1, indicando que o canal é ligeiramente retilíneo, apresentando baixa sinuosidade. Essa característica implica em um escoamento mais rápido ao longo do canal, desde a nascente até o exutório, resultando em maiores picos de vazão e aumentando a suscetibilidade a enchentes (Embrapa, 2021).

De modo geral, os resultados obtidos para os parâmetros morfométricos indicam que a microbacia do Córrego Laranja Azeda possui média a alta suscetibilidade a enchentes.

4.2 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A Figura 13 apresenta os mapas elaborados para a análise do uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego Laranja Azeda ao longo dos anos de 1984 a 2024. O Quadro 14 exhibe as áreas quantificadas de acordo com as classes definidas.

Figura 13 – Mapas de uso e ocupação do solo entre os anos de 1984 e 2024



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 14 – Estimativa do uso e ocupação do solo durante o período analisado

Classe	1984		1994		2004		2014		2024	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Cursos hídricos	0,00	0,00	0,02	0,18	0,02	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
Solo exposto	0,36	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,93	0,04	0,35
Área Urbana	0,46	1,85	0,52	4,56	0,74	6,50	0,74	6,50	1,51	13,26
Vegetação densa	2,72	10,92	1,26	11,06	0,85	7,46	1,50	13,17	1,39	12,20
Vegetação Rasteira	21,37	85,79	9,59	84,20	9,78	85,86	8,93	78,40	8,45	74,19

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em 1984, a área de estudo era maior, totalizando 24,91 km², pois esse período antecede o enchimento do reservatório da UHE Três Irmãos. Devido a essa diferença de área, não foi realizado um comparativo direto entre os resultados desse ano e dos demais. Na época, a maior parte da microbacia era coberta por vegetação rasteira, totalizando 21,37 km², enquanto a vegetação densa ocupava a segunda maior extensão, com 2,72 km². Apesar da área total ser maior em 1984, em comparação aos anos subsequentes, a superfície urbanizada (impermeável) era relativamente

pequena, totalizando apenas 0,46 km², uma quantidade significativamente menor em relação aos anos seguintes.

Ao longo dos anos, observou-se um aumento de aproximadamente 290,38% na urbanização entre 1994 e 2024, resultando em uma expansão da área impermeabilizada na microbacia. Além disso, percebe-se que essa urbanização vem se aproximando cada vez mais do curso hídrico. Em paralelo ao crescimento da área urbana, houve também um leve aumento nas áreas de vegetação densa (110,32%). Observa-se que as APPs ao longo do curso d'água estão mais robustas em comparação aos primeiros anos analisados. Em contrapartida, a vegetação rasteira teve uma redução de 88,11% ao longo desse período.

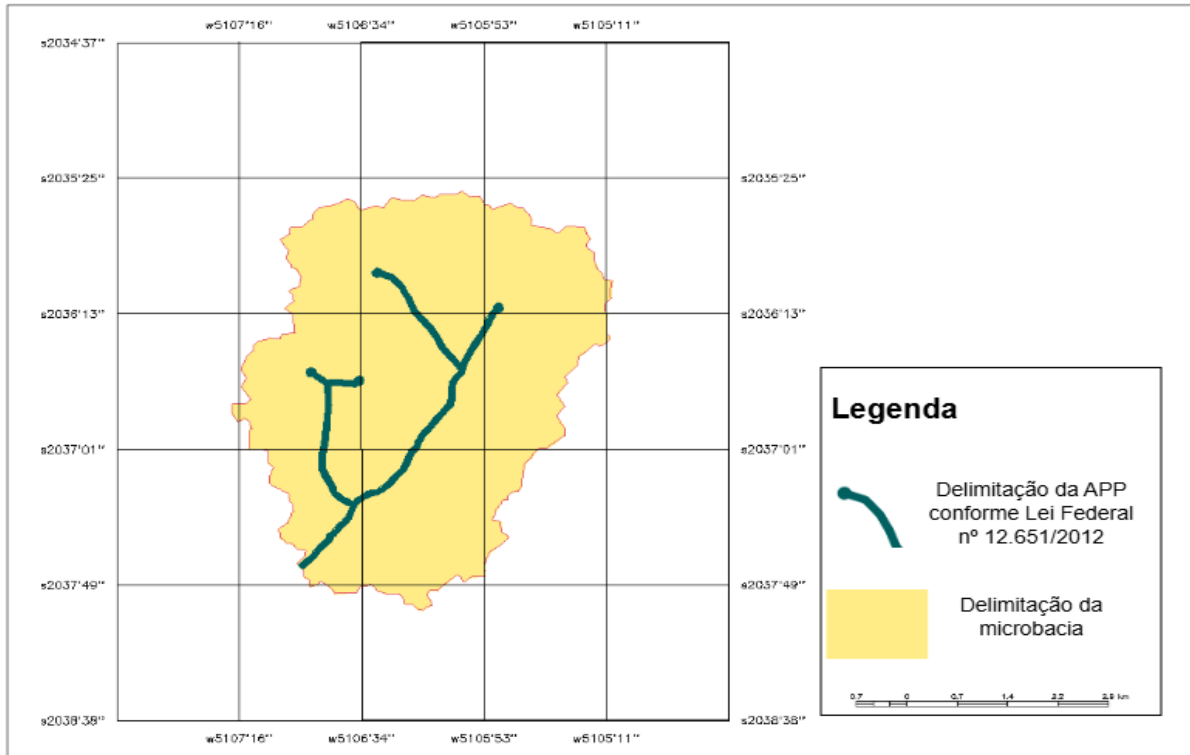
A análise do curso hídrico revelou a presença de corpos d'água apenas nos anos de 1994 e 2004, ambos localizados próximos ao ponto de exutório, com uma área de 0,02 km². Em contrapartida, nos anos de 2014 e 2024, não foram identificadas áreas de corpos d'água. Esse comportamento pode estar associado às variações no nível do reservatório da UHE Três Irmãos, influenciadas por fatores como a operação hidrológica do reservatório e, no caso de 2014, pela crise hídrica enfrentada no período. Ademais, durante a visita em campo, observou-se que alguns açudes e nascentes haviam secado, o que pode estar relacionado a práticas de uso do solo na área de cabeceira como: o pastoreio intensivo, a proximidade da rodovia estadual Feliciano Salles da Cunha, ou o carreamento de nutrientes, que pode ter favorecido o avanço da vegetação. No entanto, esses fatores demandam estudos mais detalhados para compreender a causa dessa alteração no regime hídrico.

4.3 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

Por meio da ferramenta "*Mapa de Distância*" foi delimitada a APP do Córrego Laranja Azeda, conforme a Figura 14. A partir da ferramenta "*Medidas de Classes*", obteve-se um perímetro total de 14,234 km e uma área de 0,43 km² para a delimitação da APP traçada.

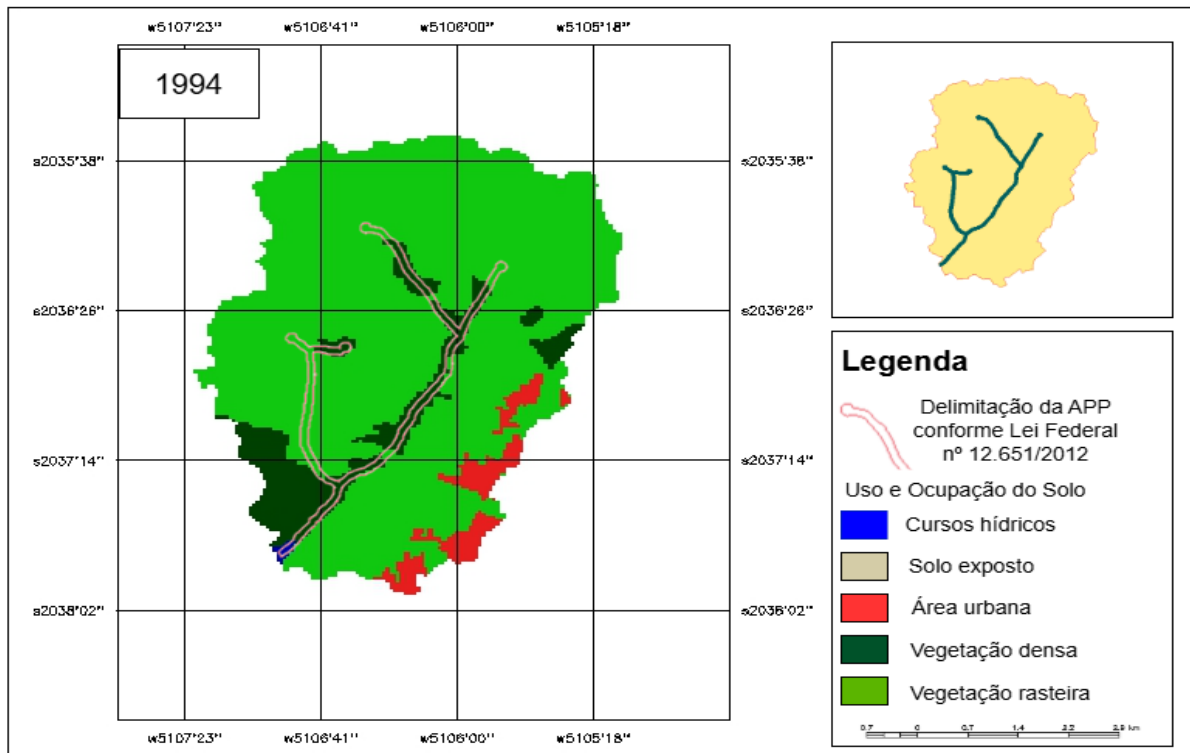
Na etapa seguinte, foram habilitadas as classes temáticas de uso e ocupação do solo geradas para os anos de 1994 e 2024, juntamente à delimitação da APP. Essa sobreposição permitiu uma análise visual para verificar a ocupação dessas áreas ao longo das diferentes épocas, conforme apresentado pelas Figuras 15 e 16. Ademais, o Quadro 15 exibe as áreas quantificadas de acordo com as classes definidas.

Figura 14 – Mapa de delimitação da APP do Córrego Laranja Azeda de acordo com a Lei Federal nº 12.651/2012



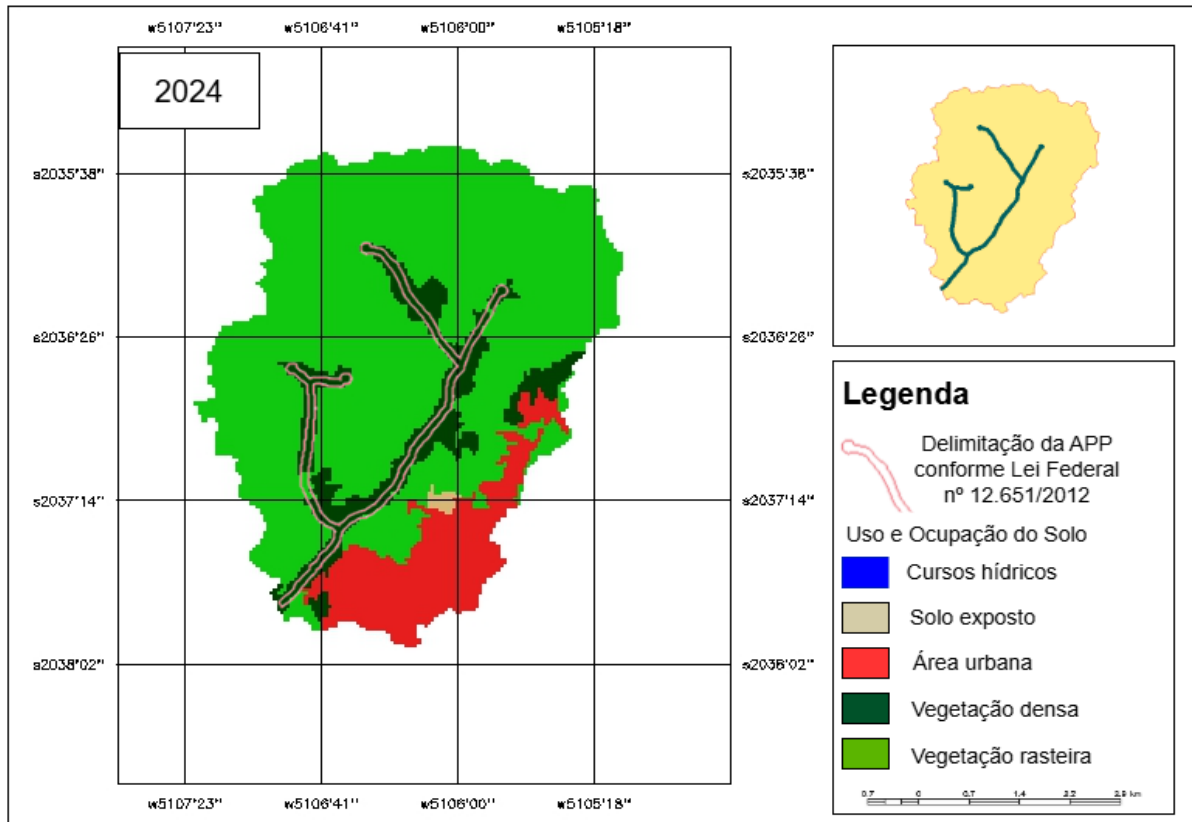
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 15 – Mapa de uso e ocupação do solo de 1994 e delimitação da APP traçada de acordo a Lei Federal nº 12.651/2012



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2024, com ênfase na área de APP traçada de acordo a Lei Federal nº 12.651/2012



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 15 - Estimativa do uso e ocupação do solo em 1994 e 2024 dentro da APP

Classe	1994		2024	
	km ²	%	km ²	%
Cursos hídricos	0,01	2,32	0,00	0,00
Solo exposto	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Urbana	0,00	0,00	0,00	0,00
Vegetação densa	0,22	51,17	0,28	65,12
Vegetação Rasteira	0,20	46,51	0,15	34,88

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Para o ano de 1994 observou-se que no entorno de três nascentes o solo era coberto por vegetação rasteira e apenas uma nascente era rodeada por vegetação densa. Quanto ao longo da extensão do córrego, observa-se que há uma predominância de vegetação densa que acompanha a calha do rio, com exceção do último braço na porção inferior esquerda da microbacia, que apresenta vegetação predominante rasteira. Em 2024 notou-se que a vegetação densa estava mais desenvolvida ao redor do curso hídrico e das nascentes, com pequenas regiões dominadas por vegetação rasteira.

A análise visual apresentada é corroborada pelas quantificações das classes de uso e ocupação do solo dentro da APP em 1994 e 2024 (Quadro 15). Observa-se que a vegetação densa, que ocupava uma área de 0,22 km² (51,17%) em 1994, apresentou um aumento significativo, passando a abranger 0,28 km² (65,12%) em 2024. Esse aumento pode indicar uma recuperação ambiental, possivelmente decorrente de ações de reflorestamento ou regeneração natural. Por outro lado, houve um decréscimo na área ocupada pela vegetação rasteira, que reduziu de 0,20 km² (46,51%) em 1994 para 0,15 km² (34,88%) em 2024.

A Figura 17 apresenta uma vista parcial da vegetação densa inserida na APP do Córrego Laranja Azeda.

Figura 17 – Vegetação densa inserida na APP

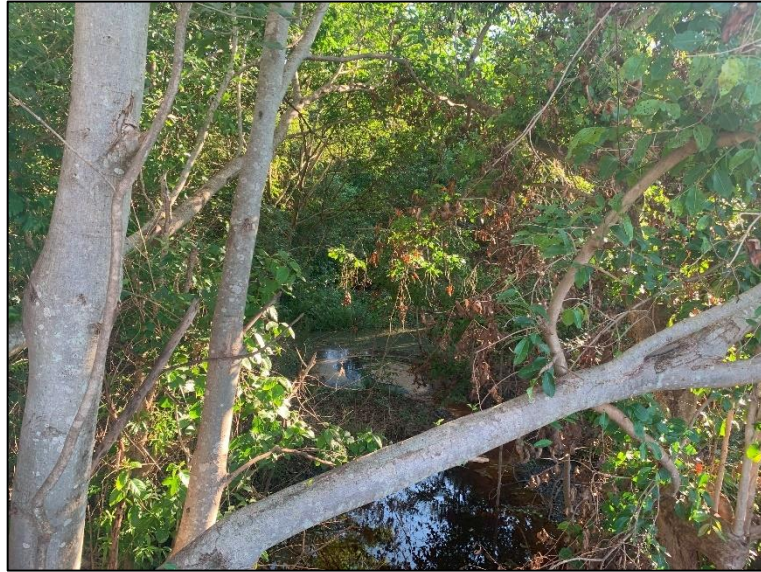


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

No que diz respeito aos cursos hídricos, a área ocupada diminuiu de 0,01 km² em 1994 para 0 km² em 2024. Essa redução pode ser atribuída à perda de pequenos corpos d'água devido a processos como assoreamento ou alterações hidrológicas, ou ainda a possíveis limitações técnicas no mapeamento. A Figura 18 apresenta o curso hídrico do Córrego Laranja Azeda e sua APP.

Vale destacar que, ao longo do processamento, não foram identificadas áreas de solo exposto ou urbanização inseridos na delimitação da APP em 1994 e 2004.

Figura 18 – Curso hídrico e vegetação densa no seu entorno



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Durante a visita de campo à área de estudo, constatou-se que, nas proximidades das rodovias, o córrego apresentava ausência de vegetação robusta. Além disso, em alguns trechos, a vegetação encontrava-se morta devido às grandes queimadas ocorridas em setembro de 2024 (G1, 2024), conforme a Figura 19.

Figura 19 – Vegetação densa queimada na APP



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos por meio da análise morfométrica, conclui-se que a microbacia do Córrego Laranja Azeda possui forma levemente arredondada, o que contribui para uma média a alta suscetibilidade a enchentes, conforme o coeficiente de compacidade ($K_c=1,361$), o fator forma (0,908) e o índice de circularidade (0,532). A baixa densidade de drenagem (0,608 km/km²) indica uma menor capacidade de escoamento superficial aumentando sua propensão a enchentes em casos de chuvas intensas. Ademais, o índice de sinuosidade (1,034) indica que o rio possui baixa sinuosidade, favorecendo um escoamento mais rápido e resultando em maiores picos de vazão ao longo do canal principal.

A análise multitemporal do uso e ocupação do solo revelou um aumento significativo na área urbanizada, que passou de 4,56% da área total da microbacia em 1994 para 13,26% em 2024. Esse avanço da urbanização, especialmente próximo ao curso hídrico, contribui para a impermeabilização do solo, agravando os problemas de escoamento superficial. Apesar disso, observou-se uma recuperação parcial da vegetação densa ao longo das APPs, destacando a importância da legislação ambiental na proteção desses espaços.

Conforme demonstrado pelo estudo das APPs, observou-se que por meio da análise conjunta entre o mapa de uso e ocupação do solo e a delimitação da APP, realizada em conformidade com a Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012, o córrego possui áreas de preservação consideradas satisfatórias. No entanto, durante a visita de campo, observou-se que, nas proximidades das rodovias o córrego apresentava ausência de vegetação robusta, indício de vegetação morta devido as queimadas ocorridas em setembro de 2024, além de descarte irregular de resíduos domésticos.

De modo geral, o estudo destaca a importância de práticas de gestão sustentável e planejamento ambiental, considerando tanto a expansão urbana nas proximidades do curso hídrico, quanto a preservação dos recursos naturais. Essas medidas são essenciais para mitigar os impactos causados pela ação antrópica, garantindo o equilíbrio ecológico e reduzindo os riscos para as populações que habitam nas áreas próximas à microbacia do Córrego Laranja Azeda.

Por fim, o estudo realizado destaca a importância da preservação e manejo adequado das APPs, visto que essas desempenham um papel essencial na proteção

dos cursos hídricos e da biodiversidade local, atuando contra impactos causados pelos processos naturais na microbacia ou provocados pela ação antrópica. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de esforços contínuos para a conservação dessas áreas, garantindo que elas permaneçam preservadas frente aos avanços da urbanização e mudanças no uso do solo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. de T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, p. 117–124, jun. 2003.
- AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2018.
- ATLAS GEOGRÁFICO ESCOLAR - IBGE. **Sensoriamento Remoto**. 2000. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/cartografia/21735-sensoriamento-remoto.html>. Acesso em: 24 out. 2024.
- AZEVEDO-SANTOS, V. M.; DAGA, V. S.; TONELLA, L. H.; RUARO, R.; ARCIFA, M. S.; FEARNSIDE, P. M.; GIARRIZZO, T. Brazil's urban ecosystems threatened by law. **Land Use Policy**, Oxford, v. 131, p. 106721, ago. 2023. ISSN: 02648377.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Blucher, 2022.
- BARROS, D. V.; SILVA, Q. D. Da; TEIXEIRA, E. C.; COSTA, C. M.; SANTANA, R. G. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, Fortaleza, v. 3, n. 5, p. 217, 2016. ISSN: 2359-1412.
- BERTÃO, E. F.; RICARDI, A. de M.; LIMA, C. G. da R. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra e potencial de degradação do solo na microbacia do córrego Laranja Azeda - Município de Pereira Barreto, SP. **ANAP Brasil**, p. 54–71, 2019.
- BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P. De; PEREIRA, J. A. A.; COELHO JÚNIOR, L. M.; BARROS, D. A. De. Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1202–1210, jul. 2011. ISSN: 0103-8478.
- BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. do C. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP), MARGEM ESQUERDA DO RIO

UBERABINHA, EM UBERLÂNDIA (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 7, p. 41–62, out. 2002. ISSN: 1678-6343.

BRASIL. **LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012**. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 7 ago. 2024.

BREARS, R. C. Chapter 6 Protecting and restoring water quality in river basins. Em: **Water Resources Management**. De Gruyter, mar. 2021. p. 85–106.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford. Clarendon Press, 1986.

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Araraquara, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. das N.; LIMA, E. R. V. De; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. De. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 64–72, jan. 2014. ISSN: 1415-4366.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre.

EMBRAPA. **Relevo**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/relevo>. Acesso em: 8 out. 2024.

EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/como-citar>. Acesso em: 8 out. 2024.

ESRI. **ArcGIS 10.7 - Software de georreferenciamento**. 2019. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>. Acesso em: 8 out. 2024.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Bogotá, 2001.

FREITAS, R. O. **Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica**. Rio de Janeiro: Boletim Paulista de Geografia, 1952. v. 11.

G1. **Queimada em Pereira Barreto devastou mil hectares, dizem bombeiros**. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2024/09/12/queimada-em-pereira-barreto-devastou-mil-hectares-dizem-bombeiros.ghtml>. Acesso em: 19 out. 2024.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo, Blucher, 1988.

GEOONE. Landsat 9 no Sensoriamento Remoto. Uberlândia, jun. 2024. Disponível em: <https://geoone.com.br/landsat-9-sensoriamento-remoto/>. Acesso em: 9 out. 2024.

GRECCO, M. L.; LIMA, C. G. da R.; LOLLO, J. A. De. Estudo de vulnerabilidade à enchentes: uma análise morfo-fisiográfica e uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica do Córrego do Ipê - Ilha Solteira-SP. Em: XVII FÓRUM AMBIENTAL 2021, **Proceedings**. Campina Grande, p. 440–455, jan. 2013.

GUIA DE SERVIÇOS DE PEREIRA BARRETO. (2011). **Canal de Pereira Barreto**. <https://guia.pereirabarreto.sp.gov.br/empresa.php?id=212>. Acesso em: 8 ago. 2024.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. 3. ed. Boulder: Geological Society of America Bulletin, 1945. v. 56.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 3 out. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. 2022. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=39980>. Acesso em: 3 out. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pereira-barreto/panorama>. Acesso em: 3 out. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/pereira-barreto.html>. Acesso em: 3 out. 2024.

INPE. **Spring 5.5.6**. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. 2024. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/sp/pereira-barreto>. Acesso em: 3 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Introdução ao Geoprocessamento**. 2006. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 22 out. 2024.

KIEL, R. **Detecção de Mudanças no Uso e na Cobertura do Solo em uma Série Temporal de Imagens da Região da Campanha do Rio Grande do Sul**. 2008. 1–203 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, ago. 2008.

KNIERIN, I. D. S.; TRENTIN, R. ANÁLISE DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO LAJEADO GRANDE (RS). **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, set. 2015. ISSN: 2179-460X.

LAGO, G. C. dos R.; SOUZA, P. H. De; PISANI, R. J. ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA SUB-BACIA DO CÓRREGO CAMPESTRE, MUNICÍPIO DE CAMPESTRE/MG. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas - (ISSN 1808-2653)**, p. 490–508, dez. 2021. ISSN: 1808-2653.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 28, n. 1, p. 205–241, nov. 2003. ISSN: 1543-5938.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7. ed. John Wiley & Sons, 2015.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SILVA, M. A. Da; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; FREITAS, D. A. F. De. Estimativa do potencial de recarga na Sub-bacia das Posses, Extrema (MG), em função dos atributos fisiográficos, pedológicos e topográficos. **Geociências**, São Paulo, v. 32, p. 51–62, 2013.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science**. 2. ed. Chichester: WILEY, 2015.

MERCADO, L. S.; LIMA, C. G. da R.; DI LOLLO, J. A. Morphometric analysis and land use-occupation in the Campestre creek watershed in the city of Lins, São Paulo State, Brazil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 19, n. 3, jun. 2023. ISSN: 1980-0827.

MEYER, W. B.; TURNER, B. L. **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**. 2. ed. Cambridge, 1994.

MOTA, L. H. da S. de O.; VALLADARES, G. S.; LEITE, H. M. F.; GOMES, A. da S.; MAGALHÃES, R. M. F.; SILVA, T. A. Análise multitemporal do uso e cobertura das terras da região do Baixo Acaraú - CE. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 379–396, 2013.

MOURA, V.; SILVA, P. J. C.; ROSELL, E. C. F.; ALVES, W. W. A. Análise multitemporal do uso e ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia do rio Piranha, São Miguel do Guaporé, Rondônia (RO), Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, Merida, p. 414–429, 2017.

OLIVEIRA, D. H. R. De; ACORSI, M. G.; SMANIOTTO, D. A. Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica de microbacia na região centro-sul paranaense. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 2, jun. 2018. ISSN: 2179-9784.

PALARETTI, L. F. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Jaboticabal.

PEREIRA BARRETO. **Com a presença do Governador do Estado, CDHU entrega 211 unidades habitacionais em Pereira Barreto**. 2018. Disponível em: <https://pereirabarreto.sp.gov.br/noticias/prefeitura/com-a-presenca-do-governador-do-estado-cdhu-entrega-211-unidades-habitacionais-em-pereira-barreto>. Acesso em: 2 jul. 2024.

PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J. A. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Vicosa, v. 34, n. 4, p. 669–676, ago. 2010. ISSN: 0100-6762.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. SÉRIE HISTÓRICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE CACEQUI – RS DE 1986 A 2016. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF**, Juiz de Fora, v. 9, n. 1, p. 34–49, dez. 2019. ISSN: 2236-837X.

RAJA SHEKAR, P.; MATHEW, A. Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. **Watershed Ecology and the Environment**, Beijing, v. 6, p. 13–25, 2024. ISSN: 25894714.

REIS, B. C.; DIAS, D. A. F.; VIEIRA, E. M. Análise integrada morfométrica e de ocupação em pequenas Bacias Hidrográficas: Estudo de caso do Córrego Santa Maria, Conceição de Ipanema-MG. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 10, p. e3359108464, set. 2020. ISSN: 2525-3409.

ROLIM, G. de S.; CAMARGO, M. B. P. De; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. De. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007. ISSN: 0006-8705.

ROY, P. S.; RAMACHANDRAN, R. M.; PAUL, O.; THAKUR, P. K.; RAVAN, S.; BEHERA, M. D.; SARANGI, C.; KANAWADE, V. P. Anthropogenic Land Use and Land Cover Changes—A Review on Its Environmental Consequences and Climate Change.

Journal of the Indian Society of Remote Sensing, New Delhi, v. 50, n. 8, p. 1615–1640, ago. 2022. ISSN: 0255-660X.

SALIS, H. H. C.; COSTA, A. M. Da; VIANNA, J. H. M.; SCHULER, A. E. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO MARINHEIRO, SETE LAGOAS - MG. **Boletim de Geografia**, Maringa, v. 37, n. 2, p. 186–201, abr. 2020. ISSN: 2176-4786.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubate, v. 7, n. 3, p. 195–211, dez. 2012. ISSN: 1980993X.

SANTOS, G. O. **Uso e ocupação do solo e monitoramento dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP**. Ilha Solteira, 2013.

SANTOS, G. T.; LIMA, C. G. de R.; LOLLO, J. A. De. Uso e Ocupação do Solo e Caracterização Morfométrica da Microbacia do Córrego São Miguel em Miguelópolis-SP. **XVII Fórum Ambiental**, p. 40–52, out. 2021.

SILVA, E. P. Da; SANTOS, R. L.; AMARAL, A. K. N.; RAMOS, H. F.; SANTOS, L. de P. S.; SOUZA, P. C. De. Uso do solo e caracterização morfométrica como subsídios para análise das áreas de alagamento e da qualidade da água nas microbacias do Macambira e Cascavel, Goiânia-GO. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 41, p. e59, nov. 2019. ISSN: 2179-460X.

SILVA, E. R. dos S. Da; OLIVEIRA, V. F. R. De; VICK, E. P.; LIMA, C. G. da R.; BACANI, V. M.; CHÁVEZ, E. S. Geotecnologías aplicadas al análisis de la fragilidad ambiental a los procesos erosivos. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 31, n. 1, p. 222–240, jan. 2022. ISSN: 2256-5442.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Presidente Prudente, SP.

SIQUEIRA, H. de C.; LIMA, C. G. da R. Análise multitemporal do uso e ocupação do solo e morfométrica da microbacia do Córrego do Aranha em Itapeva-SP. **Periódico**

Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 19, n. 5, dez. 2023. ISSN: 1980-0827.

SMITH, T. R.; MENON, S.; STARR, J.; ESTES, J. E. Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, Londres, p. 13–31, 1987.

SOUSA, E. M. da S. Análise da intervenção antrópica no balneário Curva São Paulo em Teresina-PI. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 2, p. 1058–1066, out. 2016. ISSN: 2447-3359.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Editora UNESP, 2017. v. 3,

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**. 11. ed. Boulder: Geological Society of America Bulletin, 1952. v. 63,

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, Araraquara, v. 11, n. 1, p. 137, jan. 2007. ISSN: 2527-2675.

USGS. **USGS - Science for a changing world**. 2024. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 8 out. 2024.

VALLE JUNIOR, R. F. Do; GALBIATTI, J. A.; PISARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V. Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do rio Uberada. **Global Science and Technology**, Greenbelt, v. 06, p. 40–52, 2013.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZHOU, L.; LIU, W.; CHEN, X.; WANG, H.; HU, X.; LI, X.; SCHWANGHART, W. Relationship Between Dams, Knickpoints and the Longitudinal Profile of the Upper Indus River. **Frontiers in Earth Science**, Lausanne, v. 9, jul. 2021. ISSN: 2296-6463.