

UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE FRANCISCO BELTRÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO/DOUTORADO

ALICE RIGO

**DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DA MICROBACIA DO RIO
URUTAGO, FRANCISCO BELTRÃO-PR**

FRANCISCO BELTRÃO
2026

ALICE RIGO

**DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DA MICROBACIA DO RIO
URUTAGO, FRANCISCO BELTRÃO-PR**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia, na linha de pesquisa “Dinâmica, Utilização e Preservação do Meio Ambiente” do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE *campus* Francisco Beltrão, PR.

Orientadora Dra Rafaela Harumi Fujita

FRANCISCO BELTRÃO
2026

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Rigo, Alice

Dinâmica hidrogeomorfológica da microbacia do rio Urutago, Francisco Beltrão-PR / Alice Rigo; orientadora Rafaela Harumi Fujita. -- Francisco Beltrão, 2026.

116 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Francisco Beltrão) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2026.

1. Carga suspensa total. 2. Dinâmica hidrogeomorfológica. 3. Análises morfométricas e fluviométricas. 4. Código Florestal Brasileiro e gestão ambiental. I. Fujita, Rafaela Harumi, orient. II. Título.



Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Campus de Francisco Beltrão

Rua Maringá, 1200 – Bairro Vila Nova

Fone (0**46) 3520-4845 – CEP.: 85605-010 – Francisco Beltrão – PR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO/DOCTORADO



TERMO DE APROVAÇÃO


ALICE RIGO


TÍTULO DO TRABALHO: DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DA MICROBACIA DO RIO URUTAGO, FRANCISCO BELTRÃO-PR

DISSERTAÇÃO apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, Mestrado e Doutorado, Área de Concentração: Produção do Espaço e Meio Ambiente, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Campus de Francisco Beltrão, julgada adequada e aprovada, em sua versão final, pela Comissão Examinadora, que concede o Título de Mestre em Geografia a autora.


COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELA HARUMI FUJITA**
Data: 02/03/2026 13:40:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>
Rafaela Harumi Fujita – Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **MARGA ELIZ PONTELLI**
Data: 01/03/2026 21:26:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>
Marga Eliz Pontelli – UNIOESTE/FB

Documento assinado digitalmente
 **JULIANO ANDRES**
Data: 26/02/2026 07:49:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Juliano Andres – UNIOESTE/FB

Documento assinado digitalmente
 **CARINA PETSCH**
Data: 25/02/2026 16:48:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Carina Petsch - UFSM

Francisco Beltrão, 25 de fevereiro de 2026

AGRADECIMENTOS

Ninguém conquista algo sozinho. Esta dissertação é resultado de muitos encontros e apoios interpessoais. Certamente, não teria chegado até aqui sem a colaboração de tantas pessoas. Algumas contribuíram de forma direta; outras, mesmo indiretamente, tiveram participação sutil, mas essencial, tornando o processo mais leve e saudável.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida, pela esperança renovada e pelo conforto nos momentos mais difíceis.

Aos meus familiares — minha mãe, Roselei Costa; meu pai, Sergio Rigo; e minha irmã, Alessandra Rigo — agradeço por sempre torcerem por mim e compreenderem minha ausência durante este período. Sem vocês, eu nada seria.

Ao meu esposo e amigo, Bruno Alexandre Bessegatto, e à sua família, expresso minha profunda gratidão pelo apoio incondicional e pela ajuda constante. Nos dias mais desafiadores, encontrei em vocês acolhimento e força, sentimentos que as palavras não conseguem traduzir.

Estendo minha gratidão a todos os docentes que, ao longo da minha trajetória, contribuíram para a construção do conhecimento necessário e me ofereceram direcionamento fundamental para a conclusão desta etapa. Em especial, agradeço à minha orientadora, Rafaela Harumi Fujita, pela disponibilidade, humanidade e dedicação durante todo o processo. Agradeço também aos membros da banca de — Carina Petsch, Juliano Andres e Marga Eliz Pontelli — pelas contribuições de grande relevância, que enriqueceram esta pesquisa e a tornaram mais consistente.

Sou igualmente grata aos professores e colaboradores da Unioeste de Francisco Beltrão (SC), Michael Vinicius de Sordi e Luciano Zanetti Pessoa Candioto, pelas contribuições ainda na graduação e pelo apoio na elaboração do artigo científico que deu origem a esta dissertação, e a Andréia Zuchelli Cucchi por todo o apoio que envolve o programa de pós-graduação.

Aos amigos, agradeço a amizade sincera, por ajudarem a manter minha sanidade mental, pelos momentos de distração e por estarem ao meu lado até o fim desta etapa — sem surtos (risos).

Por fim, e não menos importante, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada, mesmo aqueles que duvidaram da minha capacidade, pois até as incertezas alheias serviram de combustível para seguir em frente e alcançar o que parecia distante. E a todos que ainda passarão em meu caminho nas próximas etapas acadêmicas, registro desde já minha gratidão, pois sei que esta não será a última.

*Como os meandros de um rio, que se refaz no caminho até o equilíbrio encontrar,
como o leito rugoso que a pressa tira das águas,
como as vertentes que cedem passagem à corrente,
como as planícies de inundação que escrevem na terra a memória do tempo,
assim se desenha a minha existência —
em metamorfose contínua,
sem a ânsia do que está por vir,
sem a sombra do que já se foi,
e com sereno apreço por tudo o que permanece.*

AUTORIA PRÓPRIA

RESUMO

Em um cenário de intensificação das transformações no uso e ocupação do solo e de crescente vulnerabilidade dos sistemas hídricos, torna-se essencial compreender os processos físicos que regulam a dinâmica das microbacias hidrográficas, a fim de subsidiar ações efetivas de gestão e conservação ambiental. Nesse contexto, a presente pesquisa busca analisar a dinâmica hidrogeomorfológica da microbacia do rio Urutago, no município de Francisco Beltrão, por meio da integração de dados morfométricos, hidráulicos e sedimentológicos. Correlacionado esses parâmetros às implicações da legislação ambiental vigente, às problemáticas relacionadas às suas alterações e interpretações, bem como aos diferentes usos e ocupações do solo na área de estudo. Além disso, o trabalho investiga o comportamento da carga suspensa da microbacia em distintas condições climáticas — estiagem, período entre safras e eventos de cheia — buscando compreender as variações nos processos hidrossedimentológicos e suas relações com a dinâmica antrópica e natural do sistema. A pesquisa está estruturada em duas etapas metodológicas. A primeira consiste na revisão teórica e no levantamento de dados morfométricos da área de estudo, por meio da utilização do *software* QGIS 3.34.6. A segunda etapa corresponde à obtenção de dados primários, realizada por meio de campanhas de campo e análises laboratoriais. O Modelo Digital de Elevação, com resolução altimétrica de 5 m, permitiu a delimitação precisa da bacia, cuja amplitude altimétrica varia entre 534,67 e 761,33 m, e evidencia divisores de água bem definidos. A microbacia apresenta área de 7,27 km², forma alongada e baixa circularidade, atributos que indicam maior tempo de concentração do escoamento superficial e reduzida predisposição natural a enchentes rápidas. A rede de drenagem, classificada como de 4ª ordem, possui densidade dendrítica, baixa sinuosidade e reduzido grau de dissecação do relevo, sugerindo relativa estabilidade geomorfológica e eficiência moderada do escoamento. Entretanto, a análise espacial dos canais ao longo do alto, médio e baixo curso revelou variações morfológicas e hidráulicas significativas, relacionadas tanto à posição longitudinal, diferenciação nos leitos observados na bacia quanto às intervenções antrópicas. Os trechos mais preservados, sobretudo no alto curso, mantêm maior cobertura vegetal e menor alteração da seção transversal, enquanto os setores médio e inferior evidencia retificação, canalização e ausência das matas ciliares. As campanhas de campo demonstram variabilidade temporal da largura, profundidade, área molhada, velocidade e vazão, refletindo a sensibilidade do sistema fluvial às condições hidrológicas sazonais. As maiores vazões ocorrem nos períodos com maior precipitação antecedente, resultantes da combinação entre aumento da área da seção transversal e da velocidade média do fluxo. Em contraste, durante a estiagem, predominam vazões reduzidas e escoamento lento. A carga de sedimentos em suspensão apresenta forte variabilidade temporal, com incremento após eventos pluviométricos, especialmente entre decréscimo subsequente, evidenciando o controle exercido pelo regime de chuvas, pelo uso do solo e pela disponibilidade de material erodível. Sob a perspectiva legal, os resultados indicam que, embora o arcabouço normativo brasileiro, especialmente o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), estabeleça a proteção das Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água, a flexibilização dessas faixas, sobretudo em áreas urbanas, tem contribuído para a manutenção de ocupações consolidadas e para a redução da efetividade da proteção ripária. Essa condição se reflete diretamente na intensificação dos processos erosivos, no aumento do transporte de sedimentos e na maior instabilidade hidrodinâmica dos trechos mais alterados. De forma integrada, os resultados evidenciam que a dinâmica atual do rio Urutago é menos condicionada por suas características geomorfológicas naturais e mais influenciada pelas transformações antrópicas associadas ao uso do solo e à aplicação limitada da legislação ambiental. Assim, a pesquisa reforça a necessidade de efetivação das normas legais e de recuperação das APPs como estratégias

fundamentais para a manutenção do equilíbrio hidrossedimentológico e da estabilidade fluvial da microbacia.

PALAVRAS CHAVES - Carga Suspensa Total; Dinâmica Hidrogeomorfológica; Análises Morfométricas e Fluviométricas; Código Florestal Brasileiro; Gestão Ambiental.

HYDROGEOMORPHOLOGICAL DYNAMICS OF THE URUTAGO RIVER MICROBASIN, FRANCISCO BELTRÃO-PR

ABSTRACT

In a context of intensified land use and land cover changes and increasing vulnerability of water systems, it becomes essential to understand the physical processes that regulate the dynamics of small watersheds in order to support effective environmental management and conservation actions. In this context, the present research seeks to analyze the hydrogeomorphological dynamics of the Urutago River microbasin, located in Francisco Beltrão, through the integration of morphometric, hydraulic, and sedimentological data. These parameters are correlated with the implications of current environmental legislation, the issues related to its modifications and interpretations, as well as the different land uses and land cover patterns within the study area. Furthermore, the study investigates the behavior of suspended sediment load in the microbasin under different climatic conditions—drought periods, inter-harvest intervals, and flood events—seeking to understand variations in hydrosedimentological processes and their relationship with both anthropogenic and natural system dynamics. The research is structured into two methodological stages. The first consists of a theoretical review and the survey of morphometric data for the study area using QGIS *software* version 3.34.6. The second stage involves the collection of primary data through field campaigns and laboratory analyses. The Digital Elevation Model (DEM), with a 5 m altimetric resolution, enabled precise watershed delimitation, whose altitudinal range varies between 534.67 and 761.33 m, highlighting well-defined water divides. The microbasin covers an area of 7.27 km², has an elongated shape and low circularity, attributes that indicate a longer surface runoff concentration time and a lower natural predisposition to flash floods. The drainage network, classified as fourth order, exhibits a dendritic pattern, low sinuosity, and a reduced degree of relief dissection, suggesting relative geomorphological stability and moderate runoff efficiency. However, the spatial analysis of channels along the upper, middle, and lower reaches revealed significant morphological and hydraulic variations related both to longitudinal position, channel bed differentiation within the basin, and anthropogenic interventions. The most preserved stretches, especially in the upper reach, maintain greater vegetation cover and less alteration of the cross-section, whereas the middle and lower sectors show evidence of channel straightening, canalization, and absence of riparian vegetation. Field campaigns demonstrate temporal variability in width, depth, wetted area, velocity, and discharge, reflecting the fluvial system's sensitivity to seasonal hydrological conditions. The highest discharges occur during periods of greater antecedent precipitation, resulting from the combined increase in cross-sectional area and mean flow velocity. In contrast, during drought conditions, reduced discharge and slower flow predominate. Suspended sediment load shows strong temporal variability, with increases following rainfall events and subsequent decreases, highlighting the control exerted by rainfall regime, land use, and availability of erodible material. From a legal perspective, the results indicate that although the Brazilian regulatory framework—particularly the Lei nº 12.651 (Brazilian Forest Code)—establishes the protection of Permanent Preservation Areas (APPs) along watercourses, the flexibilization of these buffer zones, especially in urban areas, has contributed to the maintenance of consolidated occupations and reduced the effectiveness of riparian protection. This condition directly reflects the intensification of erosive processes, increased sediment transport, and greater hydrodynamic instability in the most altered river sections. Overall, the findings demonstrate that the current dynamics of the Urutago River are less controlled by its natural geomorphological characteristics and more influenced by anthropogenic transformations associated with land use and the limited enforcement of environmental

legislation. Thus, the research reinforces the need for effective implementation of legal standards and restoration of Permanent Preservation Areas as fundamental strategies to maintain hydrosedimentological balance and fluvial stability within the microbasin.

KEYWORDS: Total Suspended Load; Hydrogeomorphological Dynamics; Morphometric and Fluviometric Analyses; Brazilian Forest Code; Environmental Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	22
Figura 2: Carta imagem de localização das áreas de influência (AID e ADA) pela drenagem direcionada a contenção de cheias da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	22
Figura 3: Mapa de expansão urbana da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	26
Figura 4: Mapa de compartimentos hidrológicos da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	26
Figura 5: Mapa de compartimentos geológicos da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	29
Figura 6: Mapa hipsométrico da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	30
Figura 7: Mapa geomorfológico do Planalto de Francisco Beltrão da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	31
Figura 8: Mapa pedológico da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	32
Figura 9: Mapa climático da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	33
Figura 10: Perfil esquemático da FOM.....	38
Figura 11: Transporte fluvial. Transporte fluvial de materiais erodidos como carga dissolvida, carga suspensa e carga de fundo.....	53
Figura 12: Tipos de fluxo da água de precipitação (Knighton, 1998).....	55
Figura 13: Quadro dos principais fatores controladores das taxas de intemperismo.....	56
Figura 14: Taxas de precipitação e evapotranspiração refletindo no tipo de clima e paisagem.....	57
Figura 15: Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa.....	60
Figura 16: Estufa - A. Dessecador - B. Balança - C. Kitassato e bomba a vácuo – D.....	68
Figura 17: Mapa de delimitação de bacia hidrográfica seguindo os parâmetros de Back (2014), da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	77

Figura 18: Mapa de lineação e falhas da microbacia do Rio Urutago de Francisco Beltrão (PR).....	80
Figura 19: Mapa de classificação e ordenamento segundo Horton (1945), da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	81
Figura 20: Carta imagem de localização dos pontos levantados em campo da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão – PR.....	83
Figura 21: Linha 1 - Campo realizado no dia 22 de julho de 2025 (período de estiagem); Linha 2 - Campo realizado no dia 19 de outubro de 2025 (período entre safras após-chuva); Linha 3 - Campo realizado no dia 10 de dezembro de 2025 (período chuvoso).....	54
Figura 22: Ilustração do perfil transversal ponto 2.....	86
Figura 23: Ilustração do perfil transversal ponto 3.....	87
Figura 24: Ilustração do perfil transversal ponto 4.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Histórico de alterações nas faixas de proteção marginal.....	47
Quadro 2: Classificação de densidade hidrográfica.....	63
Quadro 3: Resultados das análises das características morfométricas da microbacia do Rio Urutago.....	79
Quadro 4: Resultados das análises das características de Drenagem da microbacia do Rio Urutago.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de amostras de água coletadas em campo dos pontos 1, 2, 3 e 4, para a análise e quantificação de carga suspensa.....	89
Tabela 2: Comparação de resultados CST entre campanhas.....	91
Tabela 3: Resultados obtidos de Área, Velocidade e Vazão, durante as campanhas de campo.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Série histórica (pluviométrica).....	35
Gráfico 2: Comparativo de pluviosidade acumulada entre a estação 2653012 e Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR) (pluviométrica).....	35
Gráfico 3: Chuva acumulada para Francisco Beltrão parcial do segundo semestre de 2025.....	90
Gráfico 4: Resultados gráficos multicritérios.....	82
Gráfico 5: Ilustrativo/Comparativo de resultados.....	97

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
2.1.1. Socioeconomia.....	25
2.1.2. Hidrografia.....	27
2.1.3. Geologia.....	28
2.1.4. Geomorfologia.....	29
2.1.5. Pedologia.....	31
2.1.6. Clima.....	33
2.1.7. Fitofisionomia.....	37
3. BACIAS HIDROGRÁFICAS, DINÂMICA FLUVIAL E LEGISLAÇÃO.....	39
3.1. ANÁLISES MORFOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS.....	44
3.2. MATAS CILIARES E O CÓDIGO FLORESTAL.....	46
3.3. DINÂMICA FLUVIAL.....	51
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	60
4.1. OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	60
4.1.1. Delimitação da microbacia.....	60
4.1.2. Indicadores Morfométricos.....	61
4.1.2.1. Índice de bifurcação ($R_b = N_u/N_{u+1}$).....	61
4.1.2.2. Área de Drenagem (A).....	62
4.1.2.3. Densidade hidrográfica ($D_h = N/A$).....	62
4.1.2.4. Densidade de drenagem ($D_d = L_t/A$).....	63
4.1.2.5. Coeficiente de manutenção ($C_m = 1/D_d \times 1000$).....	64
4.1.2.6. Fator de forma.....	65
4.1.2.7. Coeficiente de Compacidade (KC).....	65
4.1.2.8. Índice de Circularidade (IC).....	66
4.1.2.9. Fator de Assimetria (FA).....	67
4.1.3. Metodologia — Determinação da Carga Suspensa.....	68
4.1.3.1. Seleção dos Pontos de Coleta.....	68

4.1.3.2. Levantamento da geometria hidráulica por Ponto.....	70
4.1.3.3. Determinação da Vazão (Velocidade × Área).....	71
4.1.3.4. Filtração e Separação de Sólidos.....	73
4.1.3.5. Secagem Pós-Filtração e Determinação da Carga Suspensa.....	73
4.1.3.6. Cálculo da Concentração da carga suspensa total.....	73
4.1.4. Análise, relação e discussão dos resultados.....	74
5. RESULTADOS.....	77
5.1. MAPA HIPSOMÉTRICO.....	77
5.2. ANÁLISES MORFOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS.....	77
5.2.1. Características morfométricas e de drenagem da bacia do Rio Urutago.....	77
5.2.2. Morfologia dos canais, baseada nos dados obtidos durante as campanhas de campo.....	82
5.2.3 Análise de carga suspensa.....	88
6. DISCUSSÃO.....	94
7. CONCLUSÃO.....	104
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

1. INTRODUÇÃO

A sociedade possui várias relações com a natureza e algumas delas são úteis e importantes para a sobrevivência humana, como o uso de recursos florestais, hídricos e energéticos. A extração dos recursos naturais para a produção de mercadorias cresce drasticamente já que tudo o que existe sobre a Terra depende da natureza. Assim, é inevitável a transformação da natureza em bens de consumo e serviços, com o objetivo de encontrar maneiras de atender às necessidades humanas (Alves et al., 2014).

Entretanto, esse processo de apropriação e transformação do meio natural, especialmente quando associado à intensificação da urbanização, repercute diretamente sobre os sistemas ambientais e sobre a infraestrutura que sustenta a vida nas cidades. À medida que o crescimento urbano avança de forma acelerada e, muitas vezes, sem planejamento adequado, amplia-se a pressão sobre estruturas frequentemente deficitárias, sendo o sistema hídrico um dos primeiros a evidenciar sinais de degradação (Farias, 2019).

Nesse contexto, a alteração da dinâmica natural dos rios urbanos manifesta-se por meio do aumento das vazões máximas, intensificação de processos erosivos em encostas, maior produção e transporte de sedimentos, assoreamento de leitos e canais, mudanças na morfologia fluvial e sobrecarga dos sistemas de micro e macrodrenagem. Soma-se a isso o comprometimento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, utilizadas para o abastecimento público, configurando um quadro de vulnerabilidade socioambiental que evidencia a necessidade de planejamento territorial e gestão integrada dos recursos hídricos (Farias, 2019).

Diante desse cenário, torna-se imprescindível o estabelecimento de instrumentos normativos que disciplinam o uso e a ocupação do solo, assegurando a recomposição de áreas degradadas e a manutenção de fragmentos florestais estratégicos. A proteção e recuperação dessas áreas desempenham papel fundamental na mitigação dos impactos decorrentes de eventos pluviométricos intensos, contribuindo para a estabilidade dos solos, a regulação do escoamento superficial e a conservação da qualidade da fauna, da flora e dos recursos hídricos.

Nesse contexto, destaca-se o Código Florestal, instituído pela Lei nº 12.651/2012, que estabelece diretrizes fundamentais para a proteção da vegetação nativa e o manejo sustentável dos recursos naturais. Em consonância com essas disposições, o décimo quinto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) reforça a importância de “proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade”.

Assim, compreender os processos erosivos e as formas de preveni-los torna-se essencial para assegurar um desenvolvimento equilibrado, socialmente justo e ambientalmente sustentável.

A erosão é processo que ocorre a partir do desgaste superficial do terreno, onde consiste na retirada e transporte de solo, o qual é oriundo do processo de intemperismo das rochas. A fragmentação e transporte desse material dado pelos processos erosivos tanto pode ser de forma mecânica ou química onde a primeira se dá pela corrosão através do trabalho mecânico e físico pela ação da água e ar, e a segunda pela corrosão/dissolução, que pode ocorrer verticalmente pela subsuperfície (Bigarella, 2003).

A erosão hídrica ocorre predominantemente em função do escoamento superficial, cuja intensidade está diretamente relacionada aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo. Áreas com maior impermeabilização tendem a apresentar maior volume e velocidade de escoamento, favorecendo a remoção de partículas do solo. Segundo Christopherson e Birkeland (2017), a interferência antrópica, especialmente por meio de práticas não conservacionistas, contribui para a aceleração dos processos erosivos, uma vez que altera as propriedades físicas do solo, reduz sua capacidade de infiltração e aumenta sua suscetibilidade à compactação. Atividades agrícolas convencionais, o avanço da malha urbana e outras formas de ocupação intensiva do território exemplificam intervenções que intensificam essa dinâmica.

Corroborando essa perspectiva, Kuntschik et al. (2011) destacam que o desmatamento eleva a intensidade do escoamento superficial e potencializa os processos erosivos nas vertentes. A cobertura vegetal exerce papel fundamental na proteção do solo, ao interceptar as gotas de chuva, reduzir seu impacto direto sobre a superfície e favorecer a infiltração gradual da água por meio das folhas, troncos e sistemas radiculares. A supressão dessa proteção natural, portanto, compromete o equilíbrio hidrológico e geomorfológico das áreas, ampliando a vulnerabilidade à degradação.

Enquanto para Stevaux e Latrubesse (2017), a infiltração possibilita a entrada gradual da água no solo, sustentando o fluxo durante os picos de cheia. Em contrapartida, o predomínio do escoamento superficial resulta na rápida concentração da água no canal, tornando a disponibilidade hídrica menor. Essa dinâmica é particularmente acentuada em áreas urbanas, onde o escoamento superficial se apresenta muito mais intenso do que em áreas florestadas, promovendo o esgotamento acelerado do volume pluvial. Para os mesmos autores, a inclinação da curva hidrológica está diretamente associada às condições de escoamento, de modo que o uso e ocupação do solo condicionam a forma das hidrógrafas: curvas mais inclinadas refletem maior predominância do escoamento superficial em relação à infiltração. Ademais, o contraste de permeabilidade entre solos arenosos e argilosos intensifica os efeitos da urbanização, visto

que os primeiros favorecem maior infiltração, enquanto os segundos apresentam menor capacidade de absorção hídrica.

Essa dinâmica hidrológica pode ser observada na Bacia do rio Cachoeira, em Itabuna (BA), onde Engelbrecht et al. (2014) verificaram que aproximadamente 85% da precipitação transforma-se em escoamento superficial, enquanto apenas cerca de 15% infiltram no solo. Tal predominância do fluxo superficial confirma o que apontam Stevaux e Latrubesse (2017) sobre a rápida concentração da água nos canais e a redução da disponibilidade hídrica ao longo do tempo. Nesse contexto, a baixa infiltração compromete a recarga do lençol freático, diminui o tempo de permanência da água no sistema e favorece respostas hidrológicas mais rápidas, com picos de cheia acentuados e maior suscetibilidade à deficiência hídrica em períodos de estiagem.

O escoamento superficial é a resposta imediata da bacia à precipitação, ocorrendo de forma rápida e cessando pouco após o término da chuva. Já o escoamento subterrâneo, especialmente em meios porosos, é mais lento e prolongado, garantindo a alimentação dos cursos d'água mesmo após o fim da precipitação. Já a drenagem profunda corresponde ao movimento da água livre no solo em direção à profundidade pela ação da gravidade. Essa parcela excedente, oriunda de chuvas ou irrigação, ultrapassa a zona radicular e contribui para o reabastecimento de aquíferos, lençóis freáticos e mananciais superficiais, sendo essencial ao equilíbrio hídrico (Tomasella e Rossato, 2005).

Conforme demonstrado por Horton (1933), quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, estabelece-se o chamado escoamento superficial Hortoniano, no qual a água passa a escoar diretamente para os canais fluviais. Esse modelo clássico sustenta a compreensão de que a redução da infiltração compromete o equilíbrio hidrológico, diminui a recarga hídrica e intensifica os efeitos da variabilidade climática sobre os rios e ecossistemas associados. Nesse mesmo sentido, Dunne e Leopold (1978) reforçam que a proporção entre infiltração e escoamento superficial constitui um dos principais fatores de controle da resposta hidrológica das bacias, influenciando a disponibilidade de água em superfície, a manutenção do escoamento de base e a resiliência dos sistemas fluviais frente a eventos extremos.

As atividades agrícolas, os processos erosivos, o uso e a ocupação do solo, bem como o desmatamento, configuram-se como fatores determinantes na modificação da dinâmica fluvial. O rio, por se constituir no elemento mais sensível da paisagem, responde de forma direta às alterações ocorridas em seu entorno. A retirada da vegetação original e sua substituição por outros tipos de cobertura, como agricultura, pastagens ou urbanização, gera instabilidade no sistema e desencadeia processos de retroalimentação positiva, nos quais a remoção da cobertura

pedológica intensifica a erosão e o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e aumentando o aporte de sedimentos aos canais (Stevaux e Latrubesse, 2017).

Essas respostas manifestam-se também, por exemplo, em mudanças no nível de base, resultantes do assoreamento ou do desassoreamento do leito, bem como em variações no regime de vazão. Conforme destaca Florenzano (2008), o nível de base corresponde ao nível de referência em relação ao canal a jusante. Dessa forma, alterações a montante — como processos de desassoreamento — tendem a ser ajustadas até que o nível de base retorne ao patamar definido pelo curso a jusante. Além disso, a vazão hídrica exerce papel fundamental na modificação da capacidade de transporte do rio, influenciando tanto a carga suspensa quanto a carga de fundo, elementos que condicionam a morfodinâmica fluvial e os processos associados de erosão, deposição e estabilidade do canal.

No que se refere à carga suspensa, esta reflete a capacidade do canal fluvial em transportar partículas sedimentáveis em suspensão em função de sua vazão (Christofolletti, 1980). Assim, interferências que promovam alterações no regime de escoamento repercutem diretamente nessa dinâmica: o aumento da energia do fluxo potencializa a capacidade de transporte e, conseqüentemente, a carga suspensa; por outro lado, a redução dessa energia resulta em diminuição do material transportado.

A aplicação de métodos de análises de carga suspensa de corpos hídricos é crucial para o entendimento da dinâmica da paisagem. A gestão ambiental associada a políticas públicas torna-se essencial para o monitoramento de áreas de risco de erosão. O desmatamento influencia diretamente nos processos erosivos nas vertentes, assim como também nas incidências de deslizamentos, assoreamento do leito dos rios, e enchentes por alteração de capacidade e fluxo hídrico (Carvalho & Mendes, 2018).

Sob a perspectiva da gestão de recursos hídricos, a bacia hidrográfica constitui unidade territorial de planejamento, integrando aspectos físicos, sociais e institucionais, o que reforça a necessidade de análises sistêmicas para subsidiar a tomada de decisão (Ross e Del Prette, 1998).

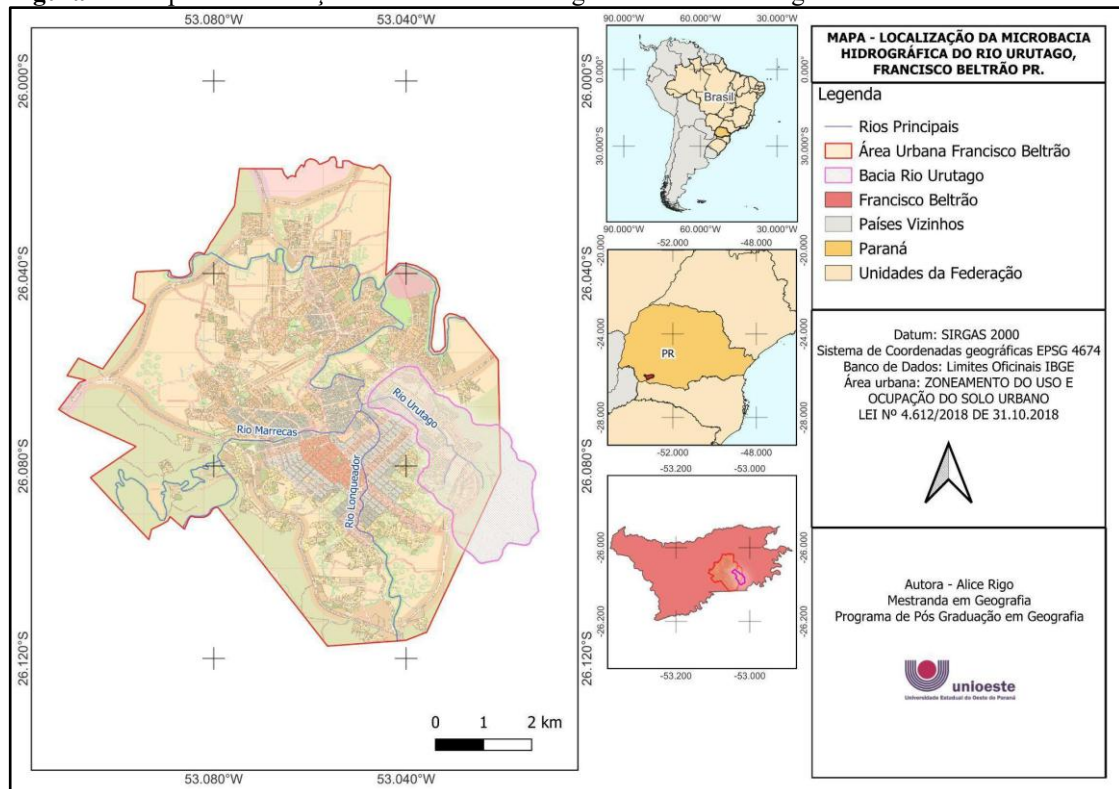
Nesse contexto, o estudo da dinâmica hidrogeomorfológica da microbacia do rio Urutago justifica-se por sua relevância tanto acadêmica quanto aplicada, ao oferecer subsídios técnicos para o monitoramento da carga sedimentar, a identificação de áreas com distintas condições de infiltração e escoamento superficial, e a definição de estratégias de manejo compatíveis com as especificidades urbanas e rurais do território.

Ao analisar os processos que regulam a produção e o transporte de sedimentos — especialmente por meio da comparação de seu comportamento em diferentes condições climáticas — a pesquisa amplia a compreensão das respostas hidrossedimentológicas da bacia.

Dessa forma, contribui para o aprimoramento da gestão ambiental local, fornecendo base técnica para ações preventivas e corretivas voltadas à mitigação de impactos que afetam a dinâmica hidrogeomorfológica e a qualidade ambiental do município.

No que diz respeito ao recorte espacial do presente estudo, se refere a microbacia do Rio Urutago, um rio de quarta ordem hierárquica, afluente da margem esquerda do rio Marrecas, e está situado no município de Francisco Beltrão, PR, inserido em área urbanizada e parcialmente rural (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



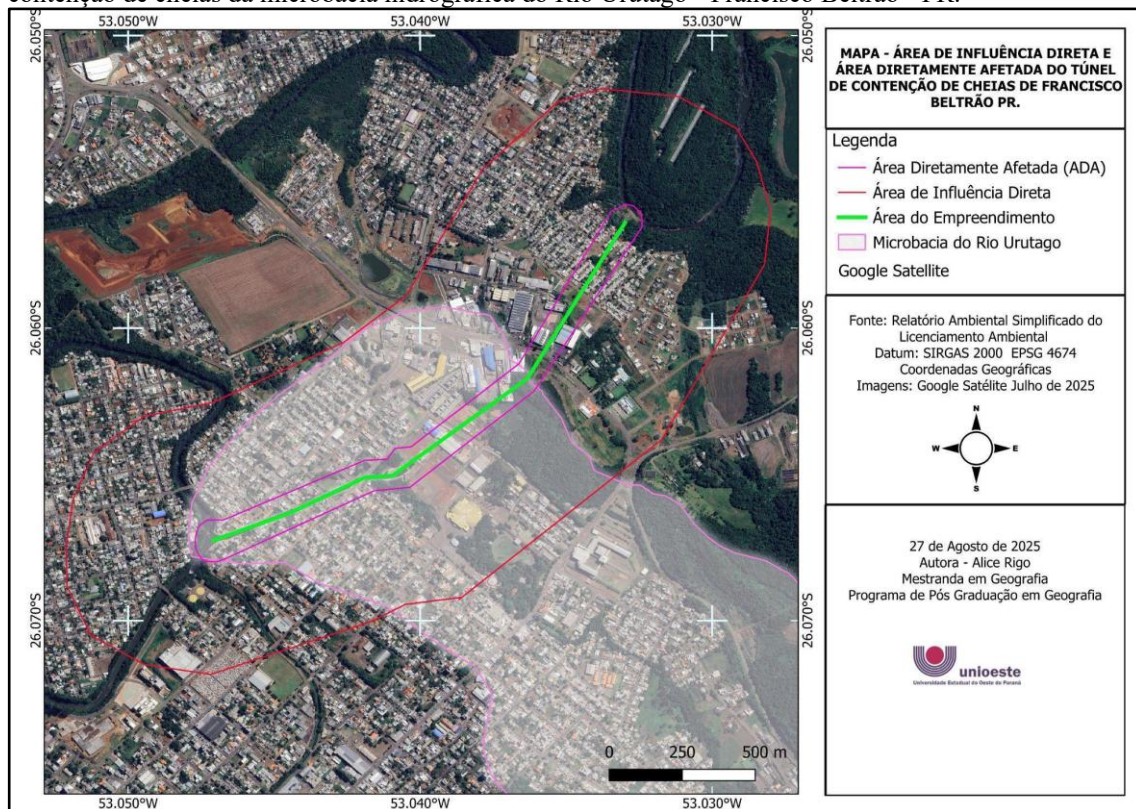
Fonte: Dados IBGE, elaborado pela autora (2024).

Essa área está inserida em região de intensa circulação de pessoas, uma vez que o rio que compõem essa bacia atravessa o Parque de Exposições Jayme Canet Júnior — espaço utilizado como área de lazer pela população local e como ponto de visitação regional durante eventos e feiras. Além disso, a área está diretamente influenciada (Figura 2) pela presença do túnel de contenção de cheias, uma obra recente com o objetivo de mitigar os impactos provocados por eventos recorrentes de inundações em determinadas regiões da cidade.

Segundo o Relatório Ambiental Simplificado (RAS), elaborado para o processo de licenciamento ambiental da obra e publicado em 2019, o rio Urutago passou por intervenções significativas, incluindo a limpeza e o rebaixamento do leito em aproximadamente 8 metros de

profundidade, além da inversão do fluxo em determinado trecho. Essa inversão foi projetada para que o rio Urutago passasse a conduzir parte da vazão do rio Marrecas até a entrada de um túnel adutor, funcionando como canal de desvio em eventos de cheia. O túnel, por sua vez, conduz a água excedente até um ponto a jusante do município de Francisco Beltrão – PR, buscando reduzir os efeitos das inundações na área urbana (Figura 2).

Figura 2 - Carta imagem de localização das áreas de influência (AID e ADA) pela drenagem direcionada a contenção de cheias da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



Fonte – Relatório Ambiental Simplificado, do projeto do túnel de contenção de cheias (2019).

Em estudo realizado por Rigo et al. (no prelo), constatou-se que, entre 2002 e 2024, a mata ciliar da microbacia apresentou redução de 47,03% nas áreas de matas ciliares e nascentes. Os autores relacionam esse cenário às alterações promovidas pelo Código Florestal, especialmente quanto à delimitação das faixas marginais de Áreas de Preservação Permanente (APPs), que passaram a considerar o tamanho do imóvel rural consolidado, e não mais a largura do curso d'água, como estabelecia a legislação anterior. Destaca-se, ainda, a mudança no critério de medição dessas faixas, que deixou de considerar o leito maior (área de inundação) e passou a adotar a margem regular do rio como referência.

Biluca e Aguiar (2017), utilizando ferramentas de geotecnologias, identificaram que 78% da bacia apresenta suscetibilidade à erosão variando de moderada a muito alta. Esses resultados evidenciam a necessidade de investigações mais aprofundadas sobre os impactos

ambientais e sociais associados, bem como do monitoramento contínuo da cobertura florestal, a fim de avaliar tendências de recuperação ou agravamento do quadro atual.

A redução das APPs, associada ao processo de urbanização, intensifica impactos relacionados ao escoamento superficial, sobretudo em razão da impermeabilização do solo. Essa condição altera a dinâmica hidrológica ao reduzir a infiltração, comprometer a recarga do lençol freático e modificar o regime dos cursos d'água, favorecendo a ocorrência de enchentes (Ross, 1990). A impermeabilização e a compactação do solo também potencializam processos erosivos, uma vez que aumentam o volume e a velocidade do escoamento superficial (Christofolletti, 1980). Como consequência, há maior remoção da camada fértil do solo, gerando prejuízos ambientais e econômicos, especialmente para o setor agropecuário, de grande relevância nacional.

O aprofundamento do leito do canal desencadeia ajustes morfológicos no rio, que busca restabelecer seu equilíbrio em relação ao nível de base. Esse processo envolve a redistribuição de sedimentos ao longo do perfil longitudinal, com repercussões na estabilidade das margens e na dinâmica fluvial (Lane, 1955). Diante de intervenções que alteram a calha e a cobertura vegetal, tornam-se essenciais estudos voltados à compreensão do comportamento hidrogeomorfológico da bacia.

Ao compreender o meio ambiente como um sistema integrado — que articula dimensões naturais, sociais e econômicas —, entende-se que alterações na cobertura vegetal e na legislação ambiental repercutem diretamente na dinâmica da paisagem e nos índices erosivos das bacias hidrográficas.

Nesse contexto, a análise da carga sedimentar em suspensão no rio Urutago constitui instrumento fundamental para subsidiar a gestão ambiental da bacia, permitindo identificar áreas prioritárias para recuperação, orientar políticas públicas e apoiar a tomada de decisão baseada em evidências técnicas.

Assim, esta pesquisa tem como objetivo apresentar a dinâmica hidrogeomorfologia da bacia do rio Urutago e discutir fatores que podem intensificar os processos erosivos. Como objetivos específicos, propõe-se: (i) realizar a espacialização cartográfica e temática das características físicas e socioeconômicas da área de estudo; (ii) determinar a carga suspensa do rio Urutago de pontos selecionados e distribuídos no baixo, médio a alto curso da microbacia; (iii) levantar os dados morfométricos da área de estudo e relacionar com os dados primários hidrogeomorfológicos da bacia; (iv) correlacionar os dados de carga suspensa e morfometria com as alterações nas Áreas de Preservação Permanente decorrentes da Lei 12.651/2012; e (v) discutir a influência da pluviosidade e manejo do solo na dinâmica fluvial da bacia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1.1. Socioeconomia

A microbacia hidrográfica do rio Urutago está localizada no setor sudeste do município de Francisco Beltrão, no estado do Paraná, Brasil, conforme figura 1.

Francisco Beltrão possui uma área de 735,11 km² e, de acordo com o último censo de 2022, tem uma população de 96.666 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 131,50 hab/km². No censo de 2010, o município apresentou uma taxa de escolaridade de 98,8% e um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,774 no censo de 2022 (IBGE 2010; 2022).

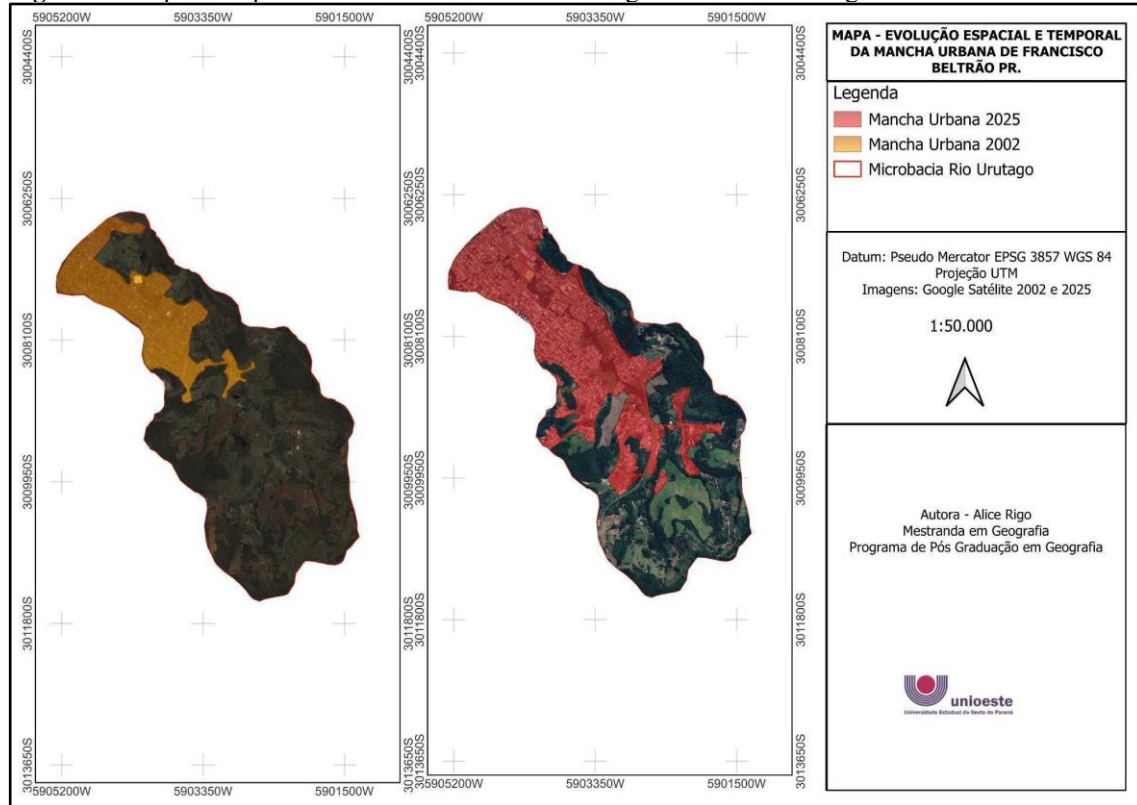
Historicamente, a região do município, é marcada por intensos conflitos por posse de terra entre diferentes grupos sociais, como índios, caboclos, migrantes e corporações, movimentos estes relacionados ao processo de expansão capitalista, que moldaram as fronteiras e a ocupação territorial do sudoeste do Paraná, resultando no surgimento e expansão de núcleos urbanos a partir da década de 1940, incluindo o município de Francisco Beltrão. Os impactos desses movimentos provocaram transformações sociais e espaciais no município. A expansão capitalista, que se intensificou no Brasil a partir do século XIX, impulsionou a demanda por terras para produção agrícola e exploração de recursos naturais, desencadeando a expropriação de territórios tradicionais e promovendo a entrada de corporações e grandes propriedades rurais (Flávio, 2011).

Francisco Beltrão integra o território paranaense desde 1940, quando ainda pertencia ao município de Renascença. Em 1951, por meio da Lei Estadual nº 790, o então distrito de Francisco Beltrão foi elevado à categoria de município, passando a ter como sede a localidade de Marrecas. O município teve um rápido desenvolvimento desde sua origem como Vila Marrecas, em 1947. A vila foi transformada em sede municipal em 1952, impulsionada economicamente pela extração da madeira e a agricultura e fomentada pela Cango (Colônia Agrícola Nacional General Osório), que trouxe infraestrutura e serviços à região. No entanto, o progresso foi prejudicado por conflitos de terras, culminando na Revolta dos Posseiros em 1957, e por atrasos na pavimentação das rodovias (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO).

A espacialização dos tipos de uso e ocupação do solo evidencia a presença de áreas residenciais, comerciais, educacionais e industriais ao longo da bacia. No baixo curso, predominam os usos residencial e comercial, caracterizando maior adensamento urbano. No médio curso, observa-se a predominância de áreas residenciais, com menor presença de

atividades comerciais. Já no alto curso, além da ocupação residencial e agropecuária, destacam-se atividades relacionadas a serviços automotivos, de transporte e logística, configurando um padrão de uso mais diversificado e com características de transição entre o espaço urbano, industrial e rural (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de expansão urbana da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



De acordo com o zoneamento urbano vigente de 2017 do município de Francisco Beltrão (Plano Diretor Municipal – PDM), a ocupação do território ao longo da microbacia do rio Urutago apresenta diferentes padrões de uso que se relacionam diretamente com a dinâmica do solo, a intensidade do escoamento superficial e as pressões sobre o ambiente.

Baixo e médio curso da bacia — Correspondem às áreas com maior adensamento urbano e concentram predominantemente Zona Comercial 2 (Uso Misto e Comércio e Serviços). Essa classificação permite uma vasta gama de atividades compatíveis com o uso urbano consolidado, como comércio, serviços e habitação, favorecendo maior impermeabilização do solo e maior geração de escoamento superficial. Nesses trechos, também se encontram áreas de uso institucional, que abrigam equipamentos públicos e comunitários, intensificando o fluxo de pessoas e de infraestrutura associada.

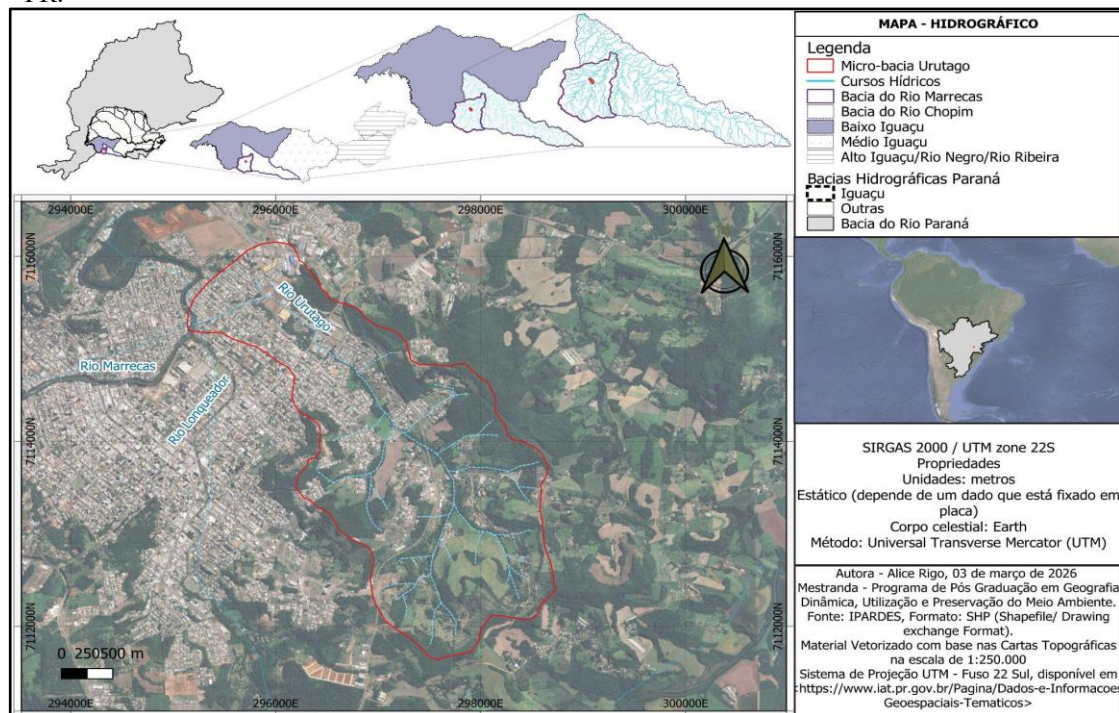
Alto curso da bacia — Predominam usos menos intensivos do ponto de vista urbano, com a presença de Zonas de Serviços e Indústria, que comportam atividades econômicas que demandam maiores áreas e infraestruturas específicas, e da Macrozona de Ocupação Controlada, “é definida e compreendida as áreas de expansão urbana que se encontram no interior do perímetro urbano, entre o limite da área já urbanizada (loteada) e a linha que define o perímetro urbano”.

Esse quadro de uso do solo evidencia como diferentes setores da microbacia estão vinculados a distintas pressões ambientais e demandas de gestão urbana e rural, o que torna o entendimento da dinâmica hidrogeomorfológica uma ferramenta imprescindível para o planejamento territorial e a gestão ambiental integrada do município.

2.1.2. Hidrografia

A microbacia hidrográfica do rio Urutago corresponde a um curso d’água perene, localizado na divisão do Baixo Iguaçu (IAT). Trata-se de um afluente da margem esquerda do rio Marrecas, de quarta ordem hierárquica. Foi classificado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborado em escala de 1:500, com curvas de nível de 5 metros, conforme os critérios propostos por Back (2014) e classificação de Strahler (1952) (Figura 4).

Figura 4: Mapa de compartimentos hidrológicos da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



Fonte: Geodados Instituto Água e Terras (IAT, 2005) elaborado pela autora.

A microbacia do Rio Urutago tem uma área de 7,213 km², 5.328 metros de comprimento do canal fluvial e 13.075 m de perímetro. Grande parte da área de estudo está localizada em área de expansão urbana com incidência de áreas rurais. Além disso, a área de estudo faz parte da área de influência da obra de contenção de cheias, realizada pela gestão do município com a finalidade de conter e mitigar os efeitos dos alagamentos causados pelos eventos de chuvas de alta pluviosidade (AEN, 2023).

Em relação às características físicas da drenagem hidrográfica do rio Urutago, é classificado em função de gênese *consequente*, com ramificação do tipo *dendrítica/sub-dendrítica* de acordo com a classificação utilizada por Christofolletti (1980). Possui influência de controle estrutural, justificado pelo fator de assimetria, o qual busca identificar alterações no eixo do rio e processos fluviais internos de influência tectônica, neste caso, indicando basculamento para a margem direita do rio (Figura 3), conforme classificação de Hare e Gardner (1985).

2.1.3. Geologia

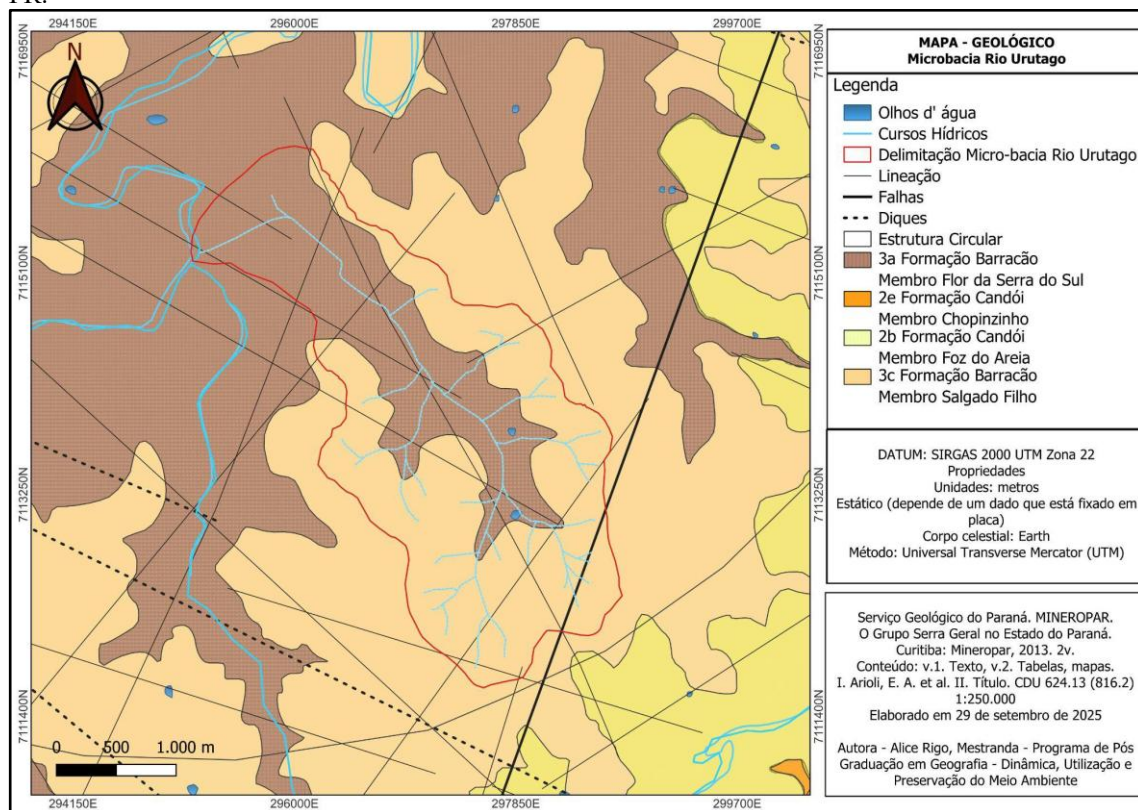
A área de estudo está localizada na Bacia Sedimentar intracratônica do Paraná, que ocupa a maior porção do estado, na Sequência Vulcano-Sedimentar Mesozóica. Ela evoluiu sobre a Plataforma Sul-Americana há cerca de 400 milhões de anos. Os períodos de subsidência ocorridos na bacia fizeram com que houvesse a acumulação de sedimentos, lavas basálticas e *sills* de diabásio, ultrapassando 5 km de espessura nos setores mais profundos. Possui inclinação homoclinal em direção ao oeste. As formações superficiais côncavas são devido ao soerguimento flexural denominado Arqueamento de Ponta Grossa. As deformações estruturais observadas na bacia são classificadas como arqueamentos marginais, arqueamentos interiores e embaçamentos. O Ciclo Tectono-magmático Brasileiro, ocorrido entre o Pré-Cambriano Superior e o Eo-Paleozoico, foi caracterizado por alternâncias entre fases de subsidência e soerguimento, acompanhadas de intensa erosão. Durante esse processo, a sedimentação deu origem às sub-bacias, moldando a evolução geológica da superfície do terreno (IAT, 2020).

A formação da plataforma Sul-Americana, ocorrida há 2,8 bilhões de anos, criou a base estrutural que possibilitou o desenvolvimento de outras formações geológicas subsequentes. Essas formações, conhecidas na geologia como unidades de origem sedimentar e vulcânica, desempenharam um papel crucial na evolução geológica da região (Mineropar, 2021). No estado do Paraná estão expostas as duas subprovíncias da Província Ígnea do Paraná. A Subprovíncia Sul distribui-se pela região Sul-sudeste, e a Subprovíncia Centro-Norte ocupa o

restante do Terceiro Planalto sendo, na região noroeste, coberta pelos arenitos dos grupos Caiuá e Bauru”. Estas divisões abrangem as escalas macro relacionadas aos mapeamentos geológicos realizados no Paraná (ITCG, 2018).

A área pesquisada situa-se na subprovíncia Sul, dentro do Grupo Serra Geral, na Formação Barracão, que inclui os membros Flor da Serra do Sul e Salgado Filho (ITCG, 2018). Caracteriza-se por suas associações faciológicas (fácies), na sequência, por derrames tabulares de ferro-basalto roxo-esverdeado com entablamento em cunha, sigmoidal e tetragonal, intercalados a brecha vulcanoclástica e intercalação de derrames lobados de basalto vesicular, brechas vulcanoclásticas, arenito fino a siltico e siltito (Mineropar, 2013) (Figura 5).

Figura 5 – Mapa de compartimentos geológicos da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



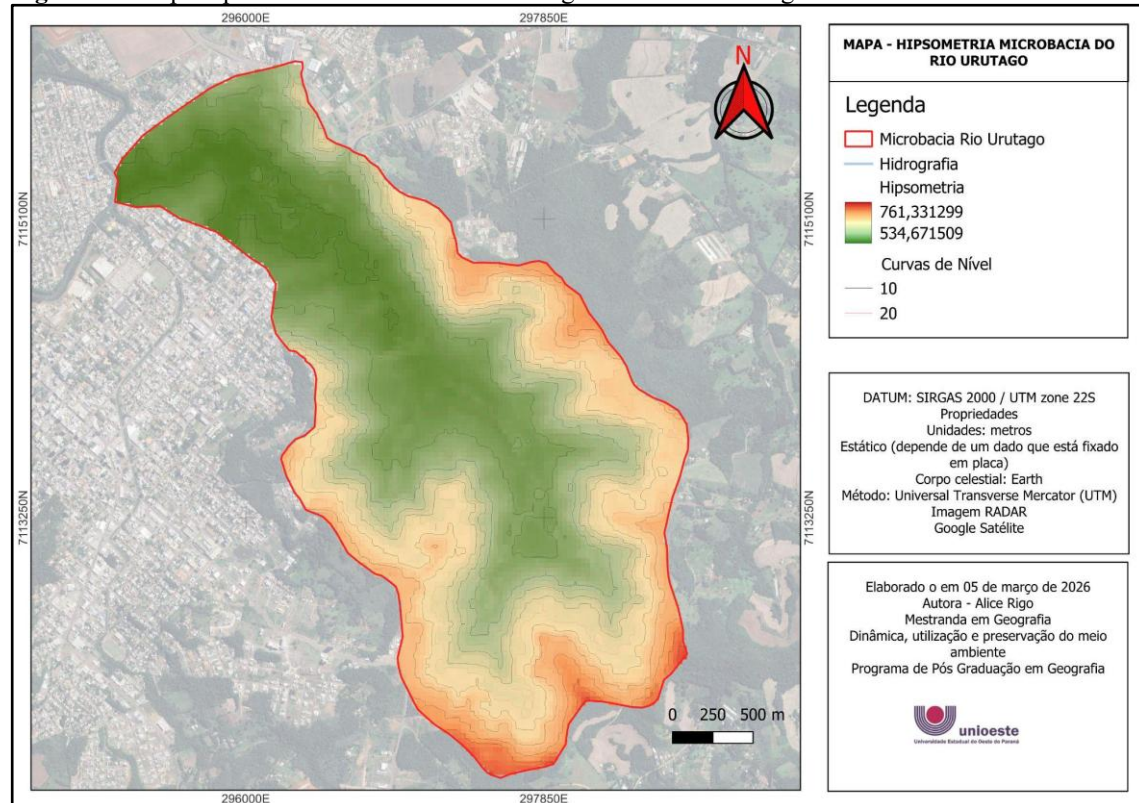
2.1.4. Geomorfologia

Em relação à geomorfologia da área descrita, trata-se de unidade morfoestrutural pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense, mais especificamente na região do Planalto das Araucárias (Almeida, 1956).

O Terceiro Planalto Paranaense pode ser subdividido em dezoito unidades morfoesculturais, incluindo o Planalto de Francisco Beltrão, área foco deste estudo (Santos et al., 2006). A morfologia predominante apresenta média dissecação, com topos alongados,

vertentes convexas e vales em V aberto. Essa subunidade ocupa 4.688 km², com declividades majoritariamente abaixo de 12% (3.183,34 km²), seguida por áreas entre 12-30% (1.388,37 km²) e menores extensões com declividades superiores a 30%. O gradiente altitudinal varia de 340 a 1.020 m.s.n.m., com altitude média de 680 m (Santos et al, 2006). A microbacia do Rio Urutago situa-se entre 534,67 e 761,33 m (Figuras 6).

Figura 6 – Mapa hipsométrico da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



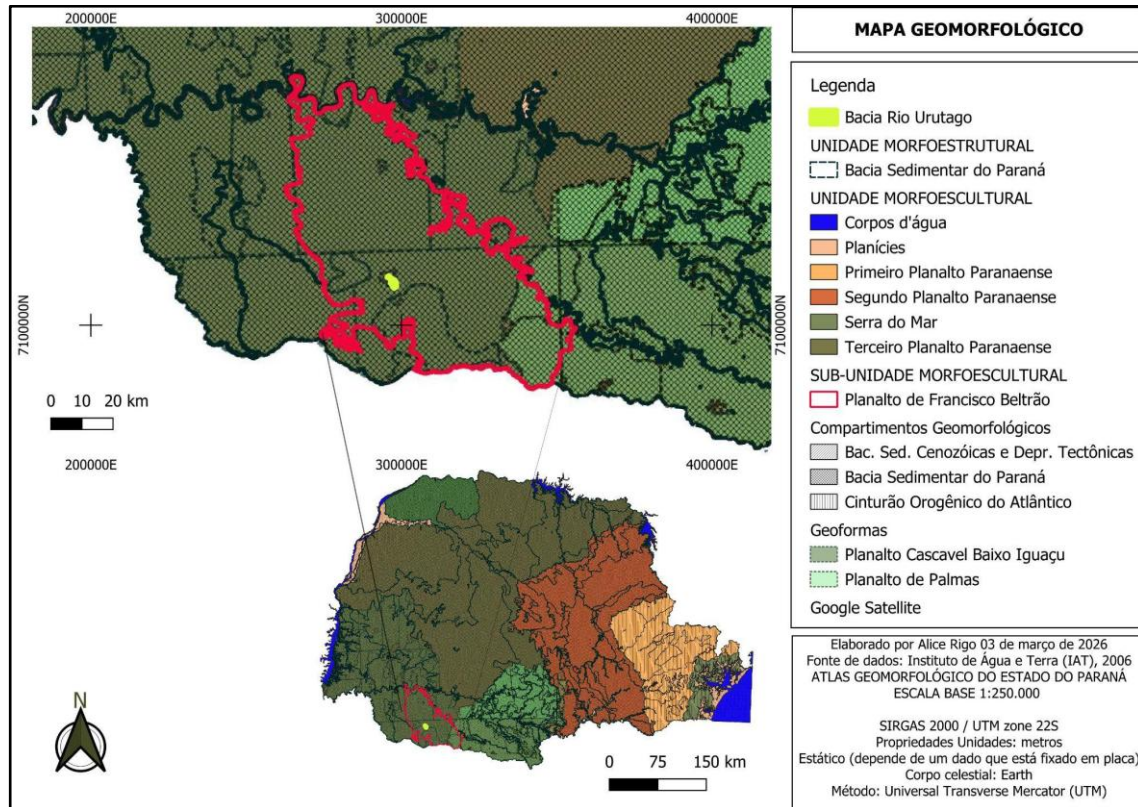
Fonte: Imagem RADAR disponibilizada pelo *Software* QGIS 3.34. Elaborado pela autora (2024).

A microbacia do Rio Urutago apresenta expressiva diversidade morfoescultural, resultante da interação entre fatores geológicos, climáticos e hidrológicos ao longo do tempo. Conforme apontam estudos de geomorfologia da região realizados pela EMBRAPA (2018), observa-se a presença de distintos compartimentos topográficos que se distribuem de maneira gradativa ao longo da bacia (Figura 7).

O relevo suave ondulado predomina nas áreas de planícies aluviais e nas porções a jusante, caracterizando-se por variações altimétricas pouco acentuadas. À medida que se avança em direção às áreas intermediárias, as formas onduladas tornam-se mais evidentes, apresentando vertentes de maior declividade que denotam a transição para unidades topográficas de maior complexidade. Nas porções montantes, sobretudo nas proximidades dos divisores de água, o relevo assume feições mais altas, com altitudes de 761,33 m, encostas

abruptas, vales encaixados e cumes proeminentes, compondo um cenário de maior dissecação do relevo (EMBRAPA, 2018).

Figura 7 - Mapa geomorfológico do Planalto de Francisco Beltrão da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.



Essa compartimentação espacial reflete não apenas a heterogeneidade geomorfológica da microbacia, mas também a atuação de processos erosivos e deposicionais que, em constante interação, condicionam a morfogênese e a pedogênese locais. Para Christofolletti (1980) e Ross (1992), são fatores que influenciam diretamente o padrão de drenagem, a dinâmica de escoamento superficial e subsuperficial, a estabilidade das encostas e a distribuição da cobertura pedológica, elementos determinantes para a aptidão agrícola e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Assim, a análise integrada do relevo constitui ferramenta fundamental para o planejamento territorial e a definição de estratégias de manejo e conservação ambiental voltadas à sustentabilidade da microbacia do Rio Urutago.

2.1.5 – Pedologia

A classificação dos solos apresenta a seguinte sequência hierárquica: ordem, subordem, grande grupo, subgrupo e família. No recorte espacial da área de estudo, observam-se três tipos de solos: Nitossolos (NVdf6 – Nitossolo Vermelho distroférico), Neossolos (RLe9 – Neossolo

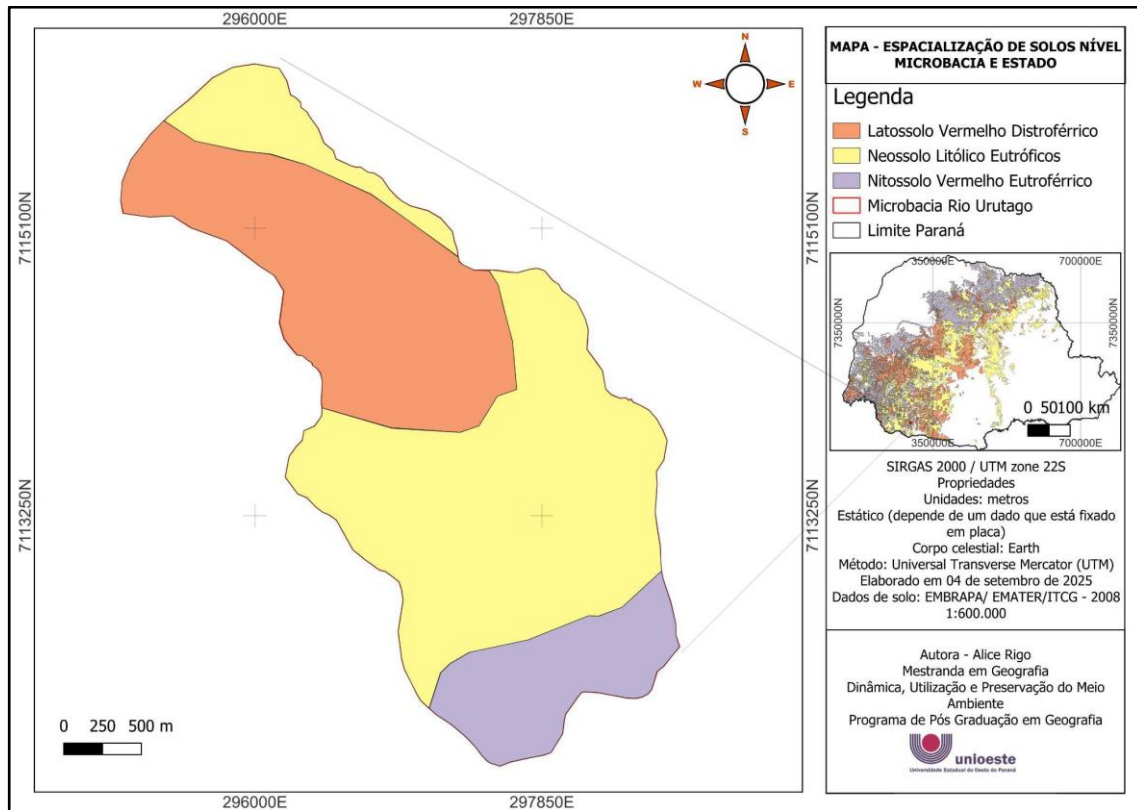
Litólico eutrófico) e Latossolos (LVdf8 – Latossolo Vermelho distroférico) (Figura 8) (EMBRAPA, 2006; IAT, 2007).

Em relação ao Nitossolo presente na área de estudo, esse solo pode apresentar alta fertilidade e elevados teores de ferro em sua composição geoquímica. Também pode apresentar maior suscetibilidade à erosão, especialmente quando associado a relevos mais acidentados, além de possuir ampla capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas. Quanto à sua estrutura, apresenta blocos bem desenvolvidos e boa drenagem, sendo comum a dificuldade de observação da diferenciação entre horizontes (EMBRAPA, 2021).

O Neossolo eutrófico caracteriza-se por apresentar alta saturação por bases, além de baixos teores de matéria orgânica e material mineral pouco desenvolvido. A espessura do horizonte até o material rochoso tende a ser reduzida, podendo atingir cerca de 50 cm, sobretudo em áreas com relevo mais declivoso. Apesar da pequena profundidade, pode apresentar características de fertilidade em função da elevada soma de bases e da presença de alumínio no solo (EMBRAPA, 2021).

Já os Latossolos encontrados na região caracterizam-se por apresentar boa e uniforme estruturação e porosidade entre os horizontes do solo. São solos bem drenados e altamente intemperizados, com argilas de baixa capacidade de troca catiônica (CTC), baixa saturação por bases e forte acidez. Em geral, apresentam limitações quanto à fertilidade natural, embora possuam elevados teores de ferro em sua composição geoquímica, o que confere a coloração vermelha característica decorrente da oxidação desse elemento (EMBRAPA, 2021).

Figura 8 – Mapa pedológico da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.

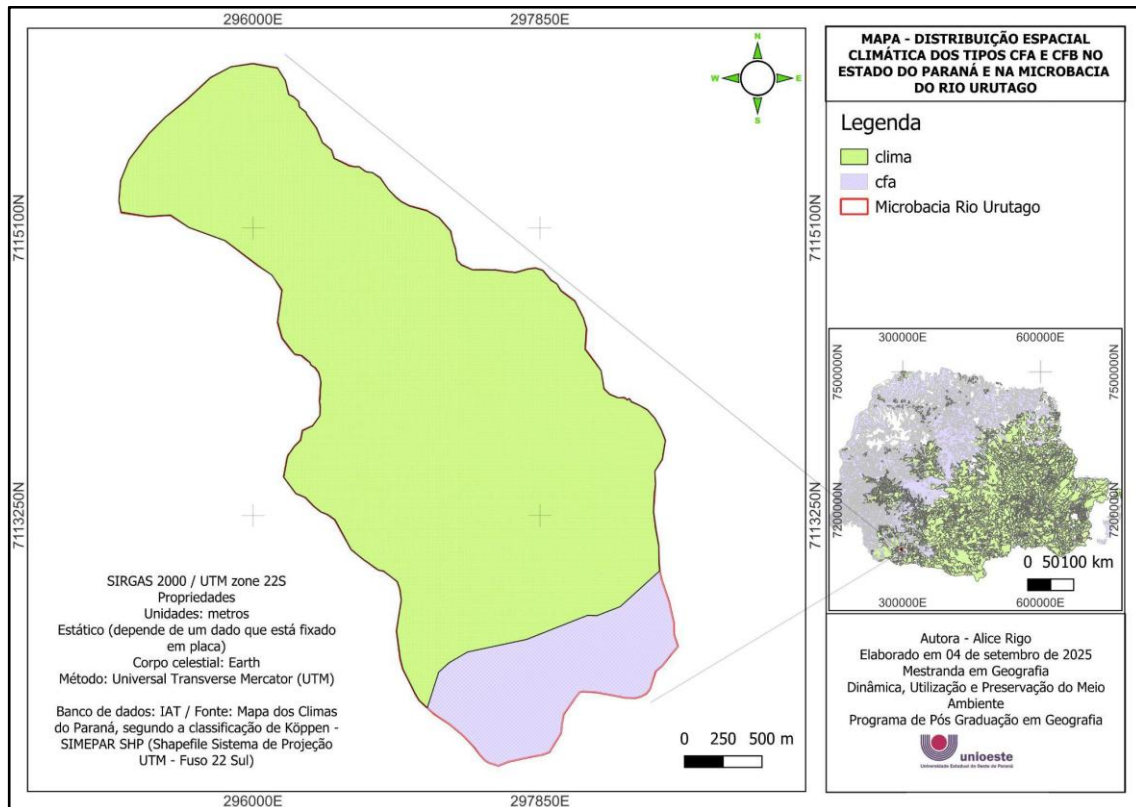


Fonte: IAT (2008), elaborado pela autora.

2.1.6. Clima

De acordo com a classificação de Köppen, na área de estudo predomina do tipo de clima Cfa: Clima Subtropical Úmido (mesotérmico), com média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca definida, verão quente e geadas menos frequentes. No entanto, há uma distribuição espacial dos climas dos tipos Cfa e Cfb, onde uma pequena parcela do segundo tipo, abrange a montante da área de estudo (Figura 9) (SIMEPAR, 2008). As siglas são compostas pelos seguintes significados: A segunda letra se refere ao padrão de precipitação, a qual a letra “f” indica precipitação em todas as estações. A terceira letra da sigla significa nível de temperaturas de verão, onde a letra “a” indica uma média do mês mais quente com temperatura superior a 22°C e a letra “b” indica que a média do mês mais quente é inferior a 22 °C, com pelo menos 4 meses com médias acima de 10 °C.

Figura 9 - Mapa climático da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR.:



A temperatura máxima registrada foi em 1985, quando ela atingiu $38,3^{\circ}\text{C}$ e a menor já registrada ocorreu em 1975, quando a temperatura atingiu o marco negativo de -5°C de acordo com os dados históricos registrados pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), no que refere aos índices de temperatura, precipitação, insolação, vento e evapotranspiração.

Na primavera e verão a incidência de chuvas encontra-se entre 500,1 mm a 600 mm (total acumulado), enquanto no inverno a precipitação média se dá entre 400,1 mm a 500 mm (total acumulado) (IDR-Paraná).

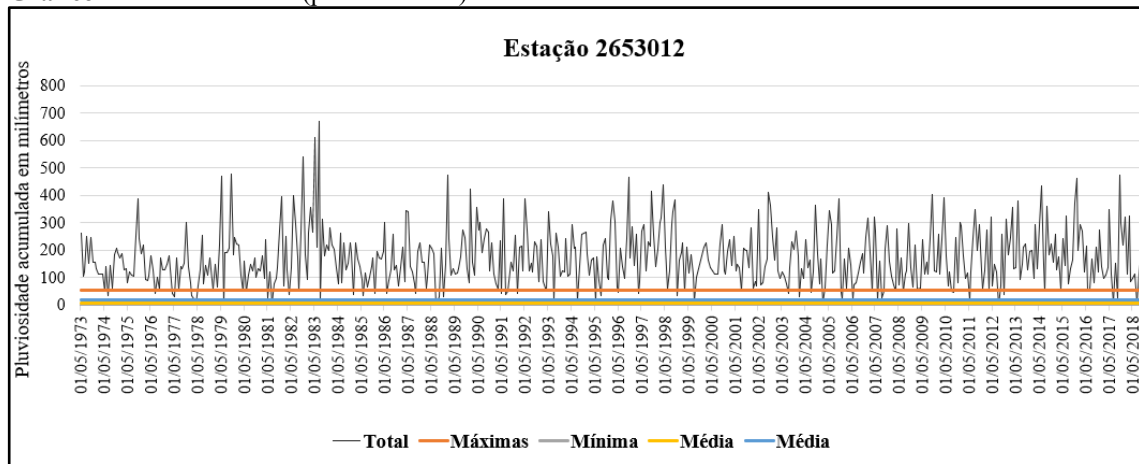
A temperatura média anual de Francisco Beltrão (PR) é de $19,1^{\circ}\text{C}$ a 20°C . Na primavera e outono as temperaturas marcam a média entre $19,1^{\circ}\text{C}$ a 20°C , enquanto no verão atinge médias entre $22,1^{\circ}\text{C}$ a 23°C . O inverno é marcado com médias entre $15,1^{\circ}\text{C}$ a 16°C . A evapotranspiração atinge entre 900,1mm a 1000mm e a umidade relativa do ar atinge médias de 70,1% a 75%. A insolação na primavera é de 6,1h a 7h, no verão 7,1h a 8h enquanto no inverno a insolação atinge entre 5,1h a 6h. A radiação solar anual é 13,6 a 14 MJ m⁻² dia⁻¹ (IAPAR).

O maior acúmulo pluviométrico já registrado pela Agência Nacional de Águas (ANA), foi em julho de 1983, de acordo com a série histórica de estação de captura do rio Marrecas, rio em que o Rio Urutago desagua, (não há estações no Rio Urutago) disponível no Hidroweb.

Nos meses em que foram realizadas as campanhas de campo da pesquisa (agosto, outubro e dezembro de 2025), as médias históricas de precipitação indicadas pelo IDR Paraná variam entre 100,10 e 120 mm (agosto), 220,10 e 240 mm (outubro) e 160,10 e 180 mm (dezembro).

Por sua vez, os dados da estação pluviométrica nº 2653012 (Gráfico 1), considerando a série histórica no período de 2000 a 2018, apresentam médias de 105,67 mm para agosto, 281,19 mm para outubro e 184,47 mm para dezembro.

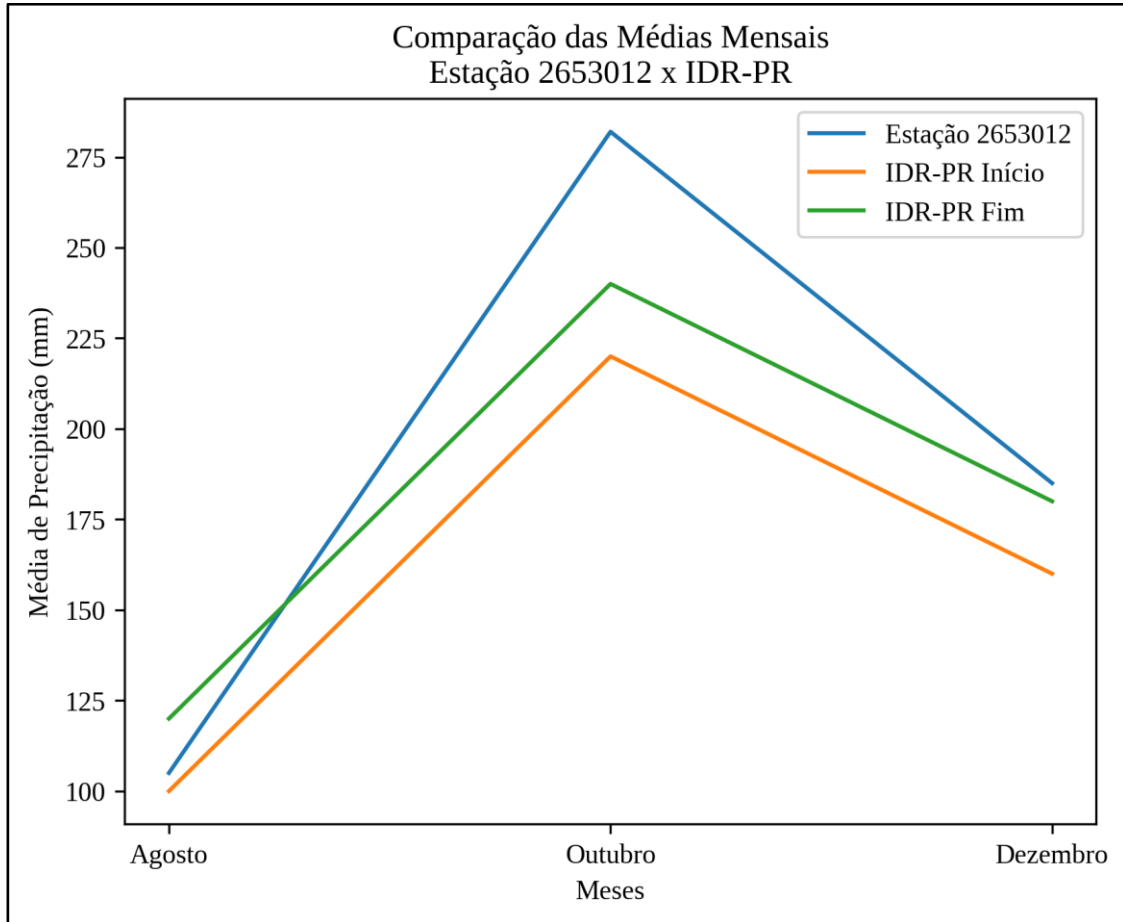
Gráfico 1 – Série histórica (pluviométrica):



Fonte: Hidroweb, ANA (2024).

O comparativo entre as duas bases pode ser observado no gráfico 2. Verificam-se diferenças nos volumes médios estimados por cada fonte, com maior discrepância no mês de outubro, quando a estação 2653012 apresenta valor 17,16% superior ao limite máximo indicado pelo IDR Paraná. Para dezembro, a média da estação é 2,48% superior ao valor máximo de referência do IDR. No mês de agosto, o valor registrado pela estação encontra-se dentro da faixa média indicada pelo IDR-PR. Destaca-se que o cálculo percentual foi realizado tomando como referência o valor máximo do intervalo informado pelo IDR Paraná para cada mês.

Gráfico 2 – Comparativo de pluviosidade acumulada entre a estação 2653012 e IDR-PR (pluviométrica):



Para o mês de dezembro, considerando a série histórica de 19 anos, verifica-se que apenas em três anos os valores médios permaneceram dentro da faixa estimada pelo IDR Paraná. Em sete anos, o acumulado mensal ficou abaixo do esperado, com média de 75,70 mm, representando uma redução média de 42,05% em relação ao valor de referência do IDR. Por outro lado, em nove anos os acumulados superaram o estimado, apresentando média 56,48% superior ao parâmetro adotado pelo IDR.

No mês de outubro, no mesmo recorte temporal, observa-se predominância de valores acima da referência do IDR-PR: em 12 anos, os acumulados superaram os valores indicados, com média de 334,77 mm, correspondendo a uma diferença média de 39,48% superior. Em seis anos, os totais mensais ficaram abaixo do estimado, com média de 191,92 mm, o que representa redução média de 20,04% em relação ao valor de referência. Apenas em dois anos os acumulados mantiveram-se dentro da faixa indicada pelo IDR Paraná.

Para o mês de agosto, observa-se que, ao longo da série histórica analisada, em seis anos os valores médios permaneceram dentro da faixa estimada pelo IDR Paraná. Em outros seis anos, os acumulados mensais superaram o valor de referência, apresentando média de 180,18 mm, o que corresponde a aproximadamente 50% acima do estimado pelo IDR.

Por sua vez, em oito anos os totais de precipitação ficaram abaixo do esperado, com média de 44,29 mm, representando uma redução de 63,10% em relação ao parâmetro adotado pelo IDR-PR.

Nos meses em que foram feitas as campanhas de campo para a presente pesquisa, a precipitação acumulada nos meses de referências foi de 62,50 mm para agosto, 194,40 mm para o mês de outubro e 171,20 mm para dezembro (IDR-PR).

2.1.7. Fitofisionomia

A bacia estudada insere-se na zona Neotropical, pertencente à unidade fitogeográfica Floresta Ombrófila Mista Montana (FOM 2), também conhecida como Floresta com Araucária (IAT, 2007). Essa tipologia vegetal integra o bioma Mata Atlântica e caracteriza-se pela presença de espécies típicas de ambientes tropicais e temperados, com destaque para a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), espécie de elevado valor ecológico, econômico e paisagístico (IBGE, 1992; Galvão; Kuniyoshi; Hatschbach, 2002).

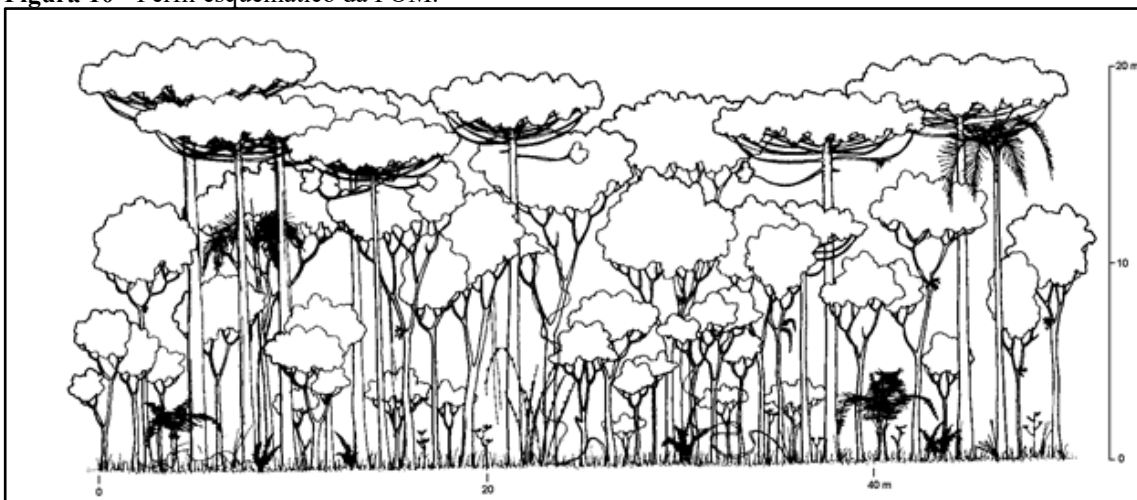
No contexto da área de estudo, a cobertura florestal manifesta-se predominantemente sob a forma de remanescentes secundários de vegetação nativa, da Floresta Ombrófila Mista, em estreita relação com áreas de uso antrópico. Esses fragmentos concentram-se sobretudo em setores de relevo mais acidentados e nas proximidades dos cursos d'água, desempenhando funções essenciais na manutenção da biodiversidade, na proteção dos solos e na regulação hídrica local. Ainda que o domínio fitofisionômico da FOM 2 se estenda por grande parte do estado do Paraná, o recorte espacial analisado configura uma amostra específica, marcada por processos intensos de fragmentação florestal e de uso do solo. Nessa dinâmica, observa-se a presença de vegetação secundária, espécies exóticas e áreas destinadas à atividade agrícola, compondo um mosaico paisagístico que reflete tanto a pressão antrópica quanto a resiliência dos remanescentes vegetais.

A Floresta Ombrófila Mista é uma unidade fitoecológica caracterizada pela coexistência de elementos florísticos das floras afro-brasileira e austro-brasileira, com fisionomia marcadamente dominada por espécies das ordens Coniferales e Laurales. A formação é típica dos planaltos da Região Sul do Brasil, com disjunções na Região Sudeste e em países vizinhos, como Paraguai e Argentina. Distribui-se preferencialmente entre 800 e 1.200 metros de altitude, podendo ocorrer acima desses limites em áreas restritas. A flora arbórea da FOM é composta por mais de 350 espécies, sendo que, somente no Paraná, estima-se a ocorrência de mais de 200 espécies, com cerca de 40% de endemismo (Roderjan et al., 2002).

As formações fitogeográficas da FOM são fortemente influenciadas por gradientes altitudinais, o que justifica a distinção entre as faixas submontana, montana e altomontana, assim como ocorre na Floresta Ombrófila Densa. A análise do gradiente permite identificar três fitofisionomias diferenciáveis: formação submontana (400 a 600 m), zona de transição (600 a 800 m) e formação montana (800 a 1.100 m). Embora essas faixas apresentem um contínuo ecológico, as variações florísticas, edáficas e climáticas justificam classificações distintas. No entanto, é importante destacar que determinadas espécies apontadas como indicadoras só possuem essa função dentro de contextos específicos (Blum et al., 2011). Blum e Roderjan (2007), por exemplo, apontam que espécies como *Ocotea corymbosa*, *Cinnamomum hatschbachii*, *Euplassa cantareirae*, *Ilex paraguariensis*, *Sloanea lasiocoma* e *Cupania vernalis* devem ser consideradas indicadoras apenas na diferenciação entre formações submontana e montana da Floresta Ombrófila Densa nas serras paranaenses, não sendo representativas da Floresta Ombrófila Mista.

Na formação montana da FOM, o dossel é dominado por *Araucaria angustifolia*, com indivíduos que frequentemente ultrapassam 30 metros, podendo atingir mais de 40 metros de altura. Espécies associadas são comuns, tais como *Ocotea porosa*, *Podocarpus lambertii*, *Ilex paraguariensis*, *Cedrela fissilis*, *Campomanesia xanthocarpa*, entre outras. Nos estratos inferiores predominam representantes das famílias Myrtaceae, Flacourtiaceae, Sapindaceae, Rutaceae e Aquifoliaceae, além de fetos arborescentes (*Dicksonia*, *Cyathea*) e gramíneas cespitosas (*Chusquea*, *Merostachys*). O epifitismo está presente, embora seja menos expressivo quando comparado à Floresta Ombrófila Densa. Acima de 1.200 m de altitude, ocorrem as formações altomontanas, com fisionomia semelhante à montana, porém com menor diversidade florística, devido ao maior rigor climático (Roderjan et al., 2002) (Figura 10).

Figura 10 - Perfil esquemático da FOM:



Fonte: (Roderjan et al., 2002).

3. BACIAS HIDROGRÁFICAS, DINÂMICA FLUVIAL E A LEGISLAÇÃO

A definição de bacia hidrográfica de acordo com a Agência Nacional de Águas é “(...) é um território delimitado por divisores de água cujos cursos d’água em geral convergem para uma única foz localizada no ponto mais baixo da região”. Segundo Villela e Mattos (1975), os cursos d’água podem ser classificados em três tipos com base na constância do escoamento: perenes, que possuem água durante todo o tempo devido à alimentação contínua do lençol freático, mesmo nas secas mais severas; intermitentes, que escorrem apenas nas épocas de chuva e secam no período de estiagem, quando o lençol freático se encontra abaixo do leito; e efêmeros, que existem somente durante ou imediatamente após períodos de precipitação, sem escoamento subterrâneo, pois o lençol freático permanece abaixo do leito fluvial. Essa classificação permite a compreensão do sistema de drenagem e as características das bacias hidrográficas.

É por meio do recorte espacial definido pelas bacias hidrográficas que se torna possível fundamentar a gestão de políticas ambientais locais, uma vez que se trata de um sistema integrado, no qual fatores interdependentes se articulam em uma unidade relativamente fechada. Assim, qualquer alteração ocorrida em seu interior resulta em modificações que afetam diretamente outros elementos da bacia (Araújo et. al. 2009).

As bacias hidrográficas no Brasil são divididas em oito grandes bacias, são elas: as do rio Amazonas, Tocantins, as do Atlântico Sul, trechos Norte e Nordeste, a do rio São Francisco, as do Atlântico Sul, trecho Leste, a do rio Paraná, Paraguai, e as do Atlântico Sul, trecho Sudeste, as quais suas principais nascentes são nas cordilheiras dos Andes, no planalto das Guianas e no Planalto Central Brasileiro (Tucci et. al 2001). Além dessa grande divisão, cada uma delas é dividida em unidades hidrográficas, e estas, também podem ter outras subdivisões como é o caso da bacia do Paraná.

A grande bacia do Paraná comporta seis unidades hidrográficas: Grande, Iguaçu, Paranaíba, Paranapanema, Paraná e Tietê, que estão estendidas entre os estados do Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Goiás, Distrito Federal, Santa Catarina dos estados brasileiros, fazendo em algumas localidades destas unidades, fronteiras com países vizinhos (Araújo et al., 2009).

A unidade do Rio Iguaçu é subdividida em alto, médio e baixo curso. Essas subdivisões apresentam como compartimentos hidrológicos afluentes de grande ordem hierárquica, que, por sua vez, possuem afluentes de menor ordem. Nesse contexto, a microbacia do Rio Urutago é caracterizada como de baixa ordem hierárquica, sendo afluente do Rio Marrecas, o qual deságua no Rio Chopim, importante afluente do Rio Iguaçu (IAT, 2005).

O recorte espacial da referida área de estudo, corresponde a uma microbacia hidrográfica, e para que as relacionadas análises dela sejam efetivadas, é necessário compreender o papel das microbacias e bacias hidrográficas na natureza para com a sociedade, assim como a importância de preservá-las, pois é nelas que se situam um dos recursos mais vitais para a vida no planeta, a água. Segundo Freitas, Yoshida e Silva Junior (2002) essas bacias hidrográficas podem ser fluviais, marítimas e lacustres.

A evapotranspiração terá influência direta nas condições de disponibilidade de água dentro das bacias, e que terá também relação com o regime de chuvas, temperatura e umidade, e quando estas proporções estão em desequilíbrio, como o caso do Nordeste que tem uma evapotranspiração maior que a precipitação, para esta região, se caracteriza e tem relação com o tipo de clima da região, denominado como semiárido, que devido a pouca disponibilidade hídrica, tem uma capacidade maior de evapotranspiração (Teixeira et al., 2009).

Já no sul, o verão é normalmente seco, em consequência de um período chuvoso e sem estiagem que ocorre no norte do país, caracterizado pelo clima tropical chuvoso. A água dentro do sistema, é sempre a mesma, a disponibilidade em cada região será determinada pelas taxas de fatores já citados anteriormente, fazendo com que os índices de precipitação e a disponibilidade hídrica seja desigual no país, ou seja maior ou menor em determinados lugares em certas épocas do ano (Tucci, et al, 2001).

A água resultante desses importantes ciclos naturais de competência hidrológica tem como produto os cursos d'água, chamados de rios, que são canalizados naturalmente ou por vezes, até mesmo de maneira antrópica. Esse conjunto de canais e redes de drenagens, que dão destino da água ao exutório, é chamado de bacias hidrográficas.

Silveira (2012) dá destaque a elas, por terem a importante função de captação de água das chuvas, através de redes de drenagens existentes em superfícies de vertentes e encostas, que nada mais são que os caminhos preferenciais das águas pluviais formados por corpos hídricos. Essas ramificações que compõem a rede de drenagem da bacia hidrográfica fazem com que o escoamento pluvial conclua seu caminho até do leito do rio, no exutório. Esse escoamento pluvial acompanha a declividade do terreno indo na direção mais baixa do relevo (Bishop, 1982).

Para Christopherson e Birkeland (2017), o geossistema fluvial é aberto e se origina a partir do escoamento superficial das encostas, que pode ocorrer de duas formas: por modo laminar, no qual a água escoar de maneira difusa sobre o solo, formando uma película uniforme sem causar incisões; ou por meio do fluxo concentrado/acanalado, no qual a concentração de água provoca pequenas ranhuras que, com o tempo, evoluem para canais de drenagem. A

delimitação de cada bacia hidrográfica é definida pelos divisores de água, moldados pelas elevações mais altas de suas extremidades, enquanto a rede de ramificações resulta da interação entre elementos fluviais, como interflúvios e vales.

De modo complementar, Grotzinger e Jordan (2023) entendem as bacias hidrográficas como uma “área do terreno limitada por divisores, que canaliza toda a sua água para a rede de rios que a drenam”. Eles observam que os canais dos córregos se formam quando o escoamento superficial da água da chuva alcança velocidade suficiente para desgastar o solo e o substrato rochoso, esculpindo ravinas — pequenos vales. Uma vez estabelecida, a ravina passa a captar maior volume de escoamento, intensificando a erosão. À medida que o entalhamento se aprofunda, a taxa de incisão aumenta, pois mais água é direcionada para o canal em formação.

Os rios constituem geossistemas dinâmicos em constante ajuste ao relevo, ao clima, à vazão e à carga sedimentar. Esses fatores controlam o equilíbrio entre erosão e deposição, que se manifesta no perfil longitudinal desde as cabeceiras íngremes até as planícies de inundação mais amplas próximas à foz. Embora esse equilíbrio possa ser temporariamente rompido por eventos como enchentes ou por mudanças climáticas e tectônicas, ao longo do tempo o rio busca restabelecer um estado de estabilidade dinâmica, no qual consegue transportar sua carga sedimentar sem acúmulo ou perda significativa, remodelando continuamente a paisagem (Grotzinger e Jordan, 2023).

Com base no trabalho de Leopold et al. (1964), as bacias hidrográficas são sistemas dinâmicos que evoluem ao longo do tempo, influenciados tanto por forças naturais quanto por atividades humanas. De acordo com o mesmo autor, as alterações nos fluxos hídricos, nos leitos dos rios e nas vertentes podem ocorrer devido ao intemperismo físico, químico e biológico. O produto do intemperismo se dá pelos sedimentos que mais tarde moldam a paisagem da bacia, formando novas estruturas, como diques naturais e esculpindo a geomorfologia fluvial. As bacias hidrográficas respondem a essas mudanças em tempos variados, podendo ser de curto ou longo prazo.

Sendo assim, as redes de drenagens não são apenas responsáveis pelo transporte de água, de bacias menores para maiores e das maiores para os oceanos, mas também, são responsáveis pelo carregamento de materiais oriundos do intemperismo, que viajam em suspensão (partículas clásticas de granulação fina) por solução (produto do intemperismo químico dissolvido na água), ou por rolamento (materiais mais pesados e dispostos no fundo dos rios) nos corpos hídricos. O transporte e deposição desses materiais é o fenômeno que é responsável pela resposta de remodelamento do relevo, calha e leito dos rios. Esses sedimentos se adaptam na

paisagem de acordo com sua capacidade energética dada pela vazão e gradiente do canal (Christopherson, Birkeland, 2017).

Para Silveira (2012), os materiais soltos e mais vulneráveis na superfície são transportados, sedimentados e remodelados através da exposição ao trabalho da erosão nas vertentes das bacias hidrográficas, feitas pelo próprio rio. As variações de tamanhos de sedimentos são correspondentes à capacidade hídrica dos mesmos, formando um sistema que compõe a dinâmica do relevo e o sistema hídrico do planeta. De acordo com o mesmo autor, o produto de uma bacia hidrográfica no ciclo hidrológico se resume em captação da entrada de água em ocorrência das precipitações e a saída sendo o produto de água escoado pelo canal.

Os rios, formados pelas bacias de drenagem, apresentam ao longo de seu percurso trechos dominados pela erosão do substrato e outros pela deposição de sedimentos. Um curso fluvial que não sofre erosão nem deposição teria um perfil longitudinal em equilíbrio, ajustado ao nível do corpo de água no qual deságua. Alterações nesse nível de base podem modificar o comportamento fluvial, resultando em intensificação da erosão ou deposição, já que os tributários tendem a se ajustar de acordo com o curso principal (Lane, 1955).

Rupturas no declive causadas por falhas geológicas podem originar corredeiras e cachoeiras, que funcionam como níveis de base locais até serem erodidas. Quando o nível de base é rebaixado, ocorre maior erosão e formação de terraços fluviais. O soerguimento tectônico intensifica a erosão, enquanto a subsidência favorece a deposição. Além disso, os rios podem expandir seu curso por deposição de sedimentos, formando deltas, ou por erosão remontante, que pode interligar diferentes bacias de drenagem. Esse processo é denominado captura de drenagem e pode ser desencadeado por atividade tectônica (Teixeira et al., 2009).

Segundo Tucci et al. (2001), as bacias hidrográficas inseridas em áreas urbanas apresentam, em geral, elevado grau de deterioração em função da ausência de coleta e tratamento adequados de esgoto doméstico. Na maioria das cidades brasileiras, o esgoto é lançado *in natura* nos rios ou, quando há rede coletora, muitas vezes não existe estação de tratamento, concentrando a carga poluidora em determinados trechos. Em alguns casos, embora a estação seja construída, a rede não alcança o volume projetado devido à presença de ligações clandestinas que direcionam o esgoto para o sistema pluvial, transformando-o em misto. Além disso, a urbanização intensifica o problema, pois o aumento das superfícies impermeáveis reduz a infiltração, diminui a recarga subterrânea e agrava os períodos de estiagem, ao mesmo tempo em que parte significativa da precipitação é conduzida diretamente aos cursos d'água, carregando esgoto e poluentes.

Ainda segundo os autores citados anteriormente, um dos maiores problemas ambientais atuais não está concentrado nas indústrias, que mesmo sendo fiscalizadas sistematicamente, o processo de controle de despejo de efluentes no ambiente, pode ser comprometida pela terceirização de alguns processos, visto que os agentes terceirizados muitas vezes têm capacidade econômica reduzida, além das dificuldades no monitoramento desses serviços, o que resulta em uma dispersão de efluentes descentralizada e pouco conhecida pelos fiscais ambientais. No setor doméstico, a cobrança pelo tratamento de esgoto é insuficiente, muitas vezes sem a devida prestação de serviços, o que gera deficiências no saneamento básico e na saúde pública.

A precariedade no tratamento de esgoto, no saneamento básico e na educação ambiental da população torna os recursos hídricos vulneráveis. Além disso, a vegetação, já escassa, muitas vezes não é suficiente para mitigar a poluição resultante dessas deficiências.

Cordeiro et al, (2016) realizaram estudo, na bacia do Rio Corumbá, na região do cerrado brasileiro, mensurando variáveis físicas e químicas da água. Foram coletadas amostras de seston¹, perifiton², macroinvertebrados³ bentônicos e sedimentos em diferentes pontos da bacia do rio Corumbá. O ponto de referência, com maior vegetação nativa (51%), apresentou menor abundância de larvas de Chironomus e maior riqueza taxonômica, indicando melhor integridade ecológica. Já os pontos com efluentes domésticos mostraram maior condutividade elétrica, turbidez e abundância de Chironomus, revelando impacto negativo das atividades humanas. A análise da comunidade bentônica e das variáveis ambientais identificou alterações na integridade ecológica devido à influência antrópica.

Junto aos impactos na saúde pública das populações que vivem próximas a rios urbanos, e com o crescimento das áreas edificadas, provocam a impermeabilização do solo, como observado na Bacia Hidrográfica do Arroio Itaquirinchim (BH), em Santo Ângelo – RS. Entre 1990 e 2015, houve um aumento de 80,5% nas áreas impermeáveis, o que contribuiu para o

¹ Refere-se às partículas suspensas na coluna d'água, que podem ser de origem orgânica (como restos de organismos e detritos) ou inorgânica (como sedimentos). O seston inclui tanto organismos vivos (plâncton) quanto matéria morta.

² Conjunto de organismos que vivem aderidos a superfícies submersas, como rochas, plantas aquáticas ou qualquer outra estrutura sólida presente em ambientes aquáticos. Ele inclui algas, fungos, bactérias e protozoários.

³ São invertebrados visíveis a olho nu, geralmente maiores que 1mm, que habitam ambientes aquáticos. Esses organismos incluem insetos aquáticos (larvas de mosquitos, libélulas), moluscos, crustáceos e vermes, e são importantes bioindicadores da qualidade da água.

aumento da vazão máxima durante enchentes e a elevação do tempo de retorno das cheias, exacerbando os problemas hídricos da região (ANSCHAU et al., 2018).

Nesse contexto, os processos de urbanização e impermeabilização do solo não apenas intensificam os impactos socioambientais já mencionados, mas também alteram de forma significativa a dinâmica hidrológica das bacias urbanas. O aumento do escoamento superficial, a redução da infiltração e a maior concentração das vazões de pico reforçam a necessidade de compreender, de maneira integrada, as características físicas e o comportamento hidrodinâmico dessas unidades territoriais. Assim, para além da constatação dos impactos decorrentes da expansão urbana, torna-se fundamental a aplicação de análises morfométricas e fluviométricas, capazes de fornecer subsídios técnicos para a interpretação da suscetibilidade a enchentes e da resposta hidrológica da bacia frente às transformações antrópicas.

3.1 ANÁLISES MORFOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS

As análises morfométricas e fluviométricas fornecem índices que caracterizam a bacia hidrográfica e sua dinâmica hidrológica. O Coeficiente de Compacidade (K_c), por exemplo, relaciona o perímetro da bacia à circunferência de um círculo com a mesma área. Valores próximos de 1 indicam formato quase circular, tempo de escoamento reduzido e, portanto, maior suscetibilidade a grandes enchentes. Vilella & Matos (1975) recomendam os seguintes intervalos para avaliação de risco:

- $1,00 \leq K_c < 1,25$ — alta propensão a enchentes;
- $1,25 \leq K_c < 1,50$ — tendência mediana;
- $K_c \geq 1,50$ — baixa propensão.

Ainda dentro dos indicadores morfométricos, o índice de Hack ou índice de gradiente (RDE) avalia o perfil longitudinal do canal. Esse índice destaca variações altimétricas (entalhes ou degraus), auxiliando na identificação e classificação de anomalias fluviais.

Esses e outros indicadores permitem interpretar se a bacia opera segundo padrões naturais ou se exibe desvios. No caso da Bacia do Rio Urutago — que será detalhada adiante — os valores de K_c e RDE servirão para avaliar a conformidade do sistema fluvial com as expectativas geomorfológicas. Isso significa interpretar se o comportamento atual reflete pressões externas como alterações litológicas, tectônicas ou impactos antrópicos, em vez de condições naturais de escoamento.

Essas anomalias, detectadas pelo índice de Hack, muitas vezes correspondem a ocorrências de agradações ou entalhes fluviais, que se destacam por destoar do comportamento típico de um sistema fluvial. Essas feições refletem mudanças no equilíbrio do canal e podem

ser reconhecidas na configuração geomorfológica do perfil longitudinal, marcada por variações como degraus ou descontinuidades. Tais padrões frequentemente resultam de fatores geológicos, como variações litológicas, falhas, soerguimentos ou alterações no nível de base do rio. Compreender essas mudanças é essencial para interpretar a evolução do sistema fluvial ao longo do tempo e a interação entre processos endógenos e exógenos que moldam a paisagem.

A obtenção de índice de gradiente de um canal, proposta por Hack (1973), compreende na determinação da competência do rio de transportar sedimentos de determinados tamanhos, esse índice, nada mais é que o produto da inclinação e o comprimento do canal mais longo do rio. De forma que o RDE total, é o produto da divisão de DH (diferença altimétrica entre a cota superior e inferior do canal) pelo logaritmo natural da extensão total do curso d'água.

O índice de gradiente (RDE) é calculado por trecho, por meio das equações propostas por Hack (1973):

$$\text{RDE trecho} = (DH/DL) \times L \quad (1)$$

$$\text{RDE total} = (DH/\ln L) \quad (2).$$

Desta forma, resultados abaixo do limiar 2 indica trecho em equilíbrio, entre os limiares 2 a 10 indica anomalias de segunda ordem e acima de 10 indica anomalias de primeira ordem.

Outro índice importante que pode contribuir com as análises das bacias hidrográficas é a compreensão de sua forma, pois essa caracterização permite avaliar o tempo necessário para que a água da chuva percorra seus limites mais distantes até atingir a saída (Villela e Mattos, 1975). Bacias mais alongadas tendem a apresentar picos de vazão menores durante eventos de chuva intensa, já que o escoamento pelos canais ocorre de forma mais distribuída no tempo. Esse comportamento reduz a concentração simultânea de escoamento na saída, resultando em menores intensidades de vazão durante chuvas máximas. Enquanto o contrário acontece para bacias com formatos mais circulares (Back, 2014).

Enquanto as análises morfométricas avaliam a forma e a propensão a enchentes ou condições de equilíbrio considerando as feições morfológicas da bacia, as análises fluviométricas fornecem informações capazes de prever situações de recorrências extremas, através de séries históricas de dados fluviométricos. Stevaux e Latrubesse, (2017) afirmam que o funcionamento dos sistemas fluviais são heranças de processos evolutivos passados, como é observado nas planícies de inundação, que são construídas ao longo do tempo através de deposição gradual de sedimentos. As previsões de cheias extraordinárias derivam de estudos paleo-hidrológicos, os quais incorporam ao processamento estatístico dados hidrológicos.

A vegetação exerce fundamental importância nas bacias hidrográficas e no ciclo hidrológico como um todo. Age como mediador de processos erosivos ocorridos em função do

escoamento superficial pluvial, assim facilitando a infiltração da água no lençol freático através da camada porosa do solo.

Essa porosidade que facilita esse processo é afetada quando exposta, em decorrência do fenômeno “*splash*” das gotas das chuvas no solo descoberto, acarretando uma transformação da superfície em uma camada impermeável, dificultando a infiltração da água das chuvas no solo (Silva, Shulz, Camargo, 2007). A vegetação tem importante contribuição para a formação da porosidade do solo e com isso, possibilita a infiltração das águas pluviais nos lençóis freáticos subterrâneos, assegurando a qualidade e disponibilidade de água no sistema (Kuntschik et al., 2011).

O solo é um recurso “sagrado” e essencial para a economia brasileira, especialmente devido à forte dependência do país no agronegócio. A conservação desse bem é fundamental, e a redução das perdas anuais de solo por erosão deve ser priorizada por meio de práticas conservacionistas (plantio direto, rotação de culturas...)(Telles, 2015). Além das práticas conservacionistas, a preservação da vegetação também é eficaz, pois atua na retenção de partículas do solo, reduzindo o escoamento superficial e prevenindo a degradação das terras agrícolas. Manter o solo produtivo não só protege o meio ambiente, como também assegura a sustentabilidade em longo prazo do setor agrícola.

Normalmente, os fragmentos das áreas florestadas encontram-se nas áreas de reservas e nas margens dos rios, esta última, conhecidas como matas ciliares ou galerias.

3.2. MATAS CILIARES E O CÓDIGO FLORESTAL

São denominadas como matas ciliares, as áreas vegetadas as margens de qualquer curso d'água. Entre os tipos de matas ciliares, na literatura pode-se encontrar também o termo matas, galerias ou ripárias, tendo a diferenciação de que as galerias, a vegetação forma túneis sobre as águas (Aquino *et al.*, 2012).

Elas reduzem os impactos da erosão nas calhas fluviais, que ocorre através do impacto das chuvas sobre o solo. Uma vez que descoberto, o impacto das precipitações faz com que ocorra a impermeabilidade do solo, aumentando o escoamento superficial e influenciando nos fluxos naturais de infiltração. A vegetação diminui o impacto e a velocidade com que as gotas das chuvas caem sobre o solo, diminuindo os efeitos de erosão mecânica hídrica e impedindo a entrada de materiais que se descolam das regiões mais altas da bacia em direção às regiões mais baixas, como entulhos, sedimentos e resíduos (Kuntschik et al., 2011). Sendo assim, as vegetações que recobrem as margens dos rios, servem como importante filtro protetor,

impedindo que os materiais citados entrem no meio aquático e contaminem e assoreiam o leito do rio.

Além da importância relacionada aos fluxos e qualidade das águas superficiais, esses ambientes são responsáveis pelas formações de corredores ecológicos, que propiciam condições de vida e existência/permanência dos ecossistemas na terra (Vogel, H. F., Zawadzki, C. H., Metri, R., 2009). Devido à sua importância ecológica, as matas ciliares são protegidas por lei (Lei nº 12.651/2012) (Brasil, 2012), e são classificadas como Área de Proteção Permanente (APP) (Decreto Nº 24.643/1934) (Brasil, 1934).

Em 1934 foram estabelecidas as primeiras regulamentações de uso de solo, e o princípio que mais tarde veio a ser chamado de Reserva Legal, onde nessa época, as propriedades deveriam ter ao menos $\frac{1}{4}$ de área preservada (Decreto Nº 23.793/1934) (Brasil, 1934); (Gomes, 2021).

Foi na substituição do Código Florestal de 1934 pela Lei 4.771/1965 que regulamentou as Áreas de Preservação Permanente, e substituiu o antigo termo Áreas Protetoras (Lei nº 4.771/1965) (Brasil). O quadro 1 traz o histórico de alterações no que se refere às faixas marginais.

Quadro 1 - Histórico de alterações nas faixas de proteção marginal:

Alterações nas limitações de faixas marginais					
Lei nº 4.771/1965	Largura do rio	Faixa marginal			
	10 m	5 m			
	10-200 m	Metade da largura do rio			
	>200m	100m			
Lei nº 7.511/1986	10 m	30 m			
	10-50 m	50 m			
	50-100 m	100 m			
	100-200 m	150 m			
	>200 m	Igual à distância entre as margens			
Lei nº 7.803/1989	10 m	30 m	*A partir do leito maior do rio		
	10-50 m	50 m			
	50-200 m	100 m			
	200-600 m	200 m			
	>600 m	500 m			
Lei nº 12.651/2012	10 m	30 m	*A partir da borda do leito regular do rio		
	10-50 m	50 m			
	50-200 m	100 m			
	200-600 m	200 m			
	>600 m	500 m			
Tamanho do imóvel para áreas consolidadas até 22 de julho de 2008	Faixa mínima a ser recomposta				
	Cursos d'água	Nascentes	Veredas	Lagos e lagoas naturais	
	Até 1 MF	5 m	15 m	30 m	5 m
	De 1 até 2 MF	8 m	15 m	30 m	8 m
	De 2 até 4 MF	15 m	15 m	30 m	15 m
	>4 MF		15 m	50 m	30 m
	Largura dos cursos d'água	Até 10m	De 10,1 até 60m	De 60,1 até 200m	Acima de 200m
	De 4 até 10 MF	20 m	30 m	Largura do curso d'água/2	100 m
	Acima de 10 MF	30 m	30 m	Largura do curso d'água/2	100 m

Fonte: www.embrapa.br/codigo-florestal/entenda-o-codigo-florestal/area-de-preservacao-permanente; Leis 4.771/65; 7.511/86; 7.803/1989; 12.651/2012.

Ao analisar o histórico de alterações de limitações mínimas de faixas marginais, é possível notar um primeiro aumento nos limites regulamentados da Lei 4.771/1965 para a 7.511/1986, e um pouco mais tarde um novo aumento com a Lei nº 7.803/1989 e com ela uma

definição importante onde estabelece a limitação das faixas marginais a partir do leito maior do rio.

Em 2012 com o novo Código Florestal, a atual Lei 12.651/2012, estabelece que o início da delimitação possa se dar a partir do leito regular (leito menor), e a regulamentação de APP's pelo tamanho do imóvel categorizado por módulos fiscais⁴, para áreas rurais consolidadas⁵ até 22 de julho de 2008. Os módulos fiscais de cada localidade equivalem a grandezas diferentes e o cálculo pode ser feito através do site da Embrapa, por exemplo, no caso de Francisco Beltrão, um módulo fiscal equivale a 18 ha. Para a referida área de estudo, poucas são as propriedades de grande porte, sendo assim, as faixas de matas ciliares são reduzidas em quase toda a sua extremidade.

Para a fiscalização e regulamentação das propriedades rurais de áreas consolidadas até 22 de junho de 2008, tornou-se obrigatório o registro das mesmas no banco de dados do SICAR (Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural), sistema de registro eletrônico único de informações ambientais, onde ocorre o Cadastro Ambiental Rural (CAR). O sistema consiste em integrar as informações no ambiente que compõem as propriedades, por exemplo, das áreas que fazem parte no contexto das APP 's, reserva legal, passivos ambientais, remanescentes de vegetação nativa, veredas, entre outros.

A realidade das bacias hidrográficas no Brasil no que diz respeito à cobertura florestal das APP 's, nem sempre são evidenciadas pela cobertura pelo uso de terra adequada. Diversos estudos têm apontado discrepâncias nas classes de uso do solo, mostrando que a ocupação atual muitas vezes diverge da cobertura de vegetação nativa.

A redução da vegetação nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) exige uma análise crítica e maior investimento em estudos sobre os impactos ambientais resultantes do desmatamento. Na sub-bacia do rio Ribeirão Lavapés, em Botucatu (SP), foram identificados conflitos de uso do solo dentro das APPs. Em 2010, 69,09% dessas áreas apresentavam uso inadequado, com 1.189,65 hectares sem a devida cobertura de mata ciliar, evidenciando a gravidade da perda de vegetação e seus efeitos sobre a bacia (Santos et al., 2014).

Outros estudos, como o de Vieira (2019) sobre a bacia do Rio Itajaí-Açu, em Navegantes (SC), revelam que, em 2013, apenas 22,1% das APPs estavam preservadas. De forma similar, Souza e Oliveira (2024) observaram conflitos de uso da terra nas APPs, onde 1,8 km² de

⁴ No Brasil, 1 módulo fiscal pode variar entre 5 e 110 hectares, conforme o Estado e o município.

⁵ Áreas rurais consolidadas de acordo com a Lei nº 12.651 de 2012 art. 3º, IV são “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pouso”. Compreende a área de um imóvel rural com qualquer que seja o uso do solo ou ocupação antrópica que esteve em uso anterior à data prevista na lei.

nascentes estavam inseridas em áreas de pastagem, com 70% das APPs de cursos d'água também ocupadas por pastagem. Esses estudos reforçam a necessidade urgente de políticas eficazes para a recuperação e preservação das áreas de preservação permanente em diversas regiões.

Entendendo todas as mudanças nas leis nacionais que regem e protegem o meio natural e suas fragilidades, e relacionando com a área de estudo em questão, pode-se quantificar uma diminuição nas áreas vegetadas em APP's no que se refere às matas ciliares e nascentes como é evidenciado por Rigo et al., (no prelo) que quantifica uma diminuição de 47,03% das faixas florestadas no entorno do leito do rio e das nascentes. Essa diminuição foi observada entre os anos de 2002 e 2024.

A natureza responde inevitavelmente às alterações em seu ambiente, seja a curto ou longo prazo. Essa resposta pode se manifestar em diversas formas, como alterações nos fluxos de água, erosão, assoreamento dos leitos dos rios e contaminação dos corpos d'água. Esses impactos são reflexos e consequências das intervenções humanas no ecossistema, destacando a importância de se considerar os efeitos ambientais em todas as ações que alteram o meio natural pelo homem.

As alterações dos cursos d'água por ações antrópicas interferem na circulação e disponibilidade de água no sistema. Impactos como contaminação de água, aumento de carga suspensa, erosão de encostas, assoreamento dos corpos hídricos, diminuição na disponibilidade superficial e na qualidade de água dos rios, e consequentemente alterações nos ecossistemas aquáticos, estão intimamente relacionados à ausência e perda das áreas florestadas nas bacias hidrográficas.

No Brasil, a erosão hídrica se destaca como o processo erosivo mais relevante, sobretudo devido à intensidade e irregularidade das chuvas que caracterizam grande parte do território nacional. Esse tipo de erosão ocorre em duas fases principais: a desagregação e o transporte. A primeira consiste na ruptura das partículas do solo, provocada pelo impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície e pelo escoamento da água. Já a segunda corresponde ao deslocamento dessas partículas desagregadas, que são arrastadas pela água em movimento. Em ambas as etapas, a energia cinética da água atua como força motriz, promovendo tanto a fragmentação quanto o transporte do solo, o que contribui para a perda de nutrientes, a degradação da fertilidade e o assoreamento de corpos d'água (Lepsch, 2010).

Segundo Morgan (2005), as consequências desse processo vão além da dimensão física do solo, alcançando aspectos ecológicos, sociais e econômicos. A perda de solo é particularmente preocupante, visto que todos os seres vivos dependem direta ou indiretamente

dele para sobreviver. Preservá-lo, portanto, é essencial não apenas para a manutenção dos ecossistemas, mas também para a continuidade das atividades produtivas. Um solo fértil, poroso e rico em matéria orgânica, por exemplo, apresenta maior capacidade de infiltração da água, mantendo os poros hidratados e favorecendo uma maior eficiência produtiva das plantas. Para o mesmo autor, esse equilíbrio garante a disponibilidade de alimentos e sustenta um dos principais pilares econômicos brasileiros: a agricultura, setor que historicamente estruturou-se a partir da colonialidade e permanece central na economia nacional.

A presença de vegetação nas bacias hidrográficas reduz as perdas de solo que ocorrem em virtude da laminação de água pluvial, como foi observado por Pasquatto e Tomazoni (2016), onde conduziram um estudo sobre os processos de erosão laminar no rio Barro Preto, localizado em Coronel Vivida, PR. Os pesquisadores constataram que o não cumprimento das normas das Áreas de Preservação Permanente (APP) contribuiu para os impactos ambientais observados, já que essas áreas abrigam diferentes classes de uso do solo. Eles concluíram que, se as APPs fossem efetivamente protegidas conforme determina o Código Florestal Brasileiro, as perdas médias anuais de solo poderiam ser significativamente reduzidas, variando de 545,27 a 1.158,97 toneladas por ano.

A gestão ambiental tem avançado nos últimos anos, facilitada pelo surgimento de tecnologias que auxiliam cientistas e acadêmicos da área. Utilizando produtos cartográficos e ferramentas de geoprocessamento, Biluca e Aguiar (2017) classificou a declividade, o uso e tipo de solo na microbacia do rio Urutago. Como resultado, identificaram um percentual de vulnerabilidade de 78%, indicando um risco moderado a forte de erosão na área mencionada.

A erosão e a perda de solo, pode ser observada através da carga suspensa dos rios, onde os diferentes tipos e quantidade de materiais transportados pela água podem indicar o grau de erosão e tempo de transporte em suspensão. Ao analisar o estágio de evolução desses sedimentos, é possível identificar a origem do material, avaliar a gravidade e evolução dos processos erosivos das bacias hidrográficas. Esse mapeamento contribui para uma melhor compreensão dos processos de denudação do relevo, mudanças climáticas, e das suas consequências sobre a paisagem (Walling & Webb, 1987).

3.3. DINÂMICA FLUVIAL

Os rios constituem o elemento mais sensível do ambiente, respondendo de forma imediata a qualquer tipo de interferência. Compreender sua dinâmica e os mecanismos de resposta a diferentes atividades é essencial para avaliar e prever os impactos no sistema fluvial. Segundo Antonio Christofolletti (1980), todos os acontecimentos que ocorrem nas bacias

hidrográficas repercutem, direta ou indiretamente, nos rios, de modo que as condições ambientais vigentes determinam as cargas transportadas (sedimentos, água e solutos), bem como a vazão, o tipo de fluxo e a capacidade erosiva dos canais fluviais.

As características do escoamento das águas nos canais fluviais determinam a quantidade e qualidade das cargas de água e detritos transportadas pelos rios. Essa dinâmica refere-se ao trabalho exercido pela água sobre os sedimentos de seus caminhos preferenciais, que formam incisões na superfície, que com o passar do tempo acarreta o aprofundamento do leito, esculpindo sua topografia, bem como modelando as vertentes adjacentes (Christofoletti, 1981). Essas características estão condicionadas ao tipo de fluxo, velocidade e sua distribuição no canal, o gasto de energia pelos canais, a influência da força do fluido sobre as partículas, de tal forma essa dinâmica, compreende as forças atuantes no funcionamento dos processos e no trabalho realizado pelos rios em relação à erosão, transporte e sedimentação (Christofoletti, 1981).

Um sistema fluvial opera em múltiplas escalas temporais (de segundos a milhões de anos) e espaciais (de centímetros a milhares de quilômetros), com variáveis interligadas por relações de dominância, dependência e independência por exemplo o relevo, perfil longitudinal, solo, vegetação, descarga, forma do canal e da planície de inundação, forma de leito e características de fluxo. Sua análise considera os conceitos de uniformitarismo e representatividade temporal, e seu equilíbrio depende da capacidade de absorver perturbações, condicionada pelos tempos de reação, amortecimento e recuperação de seus componentes (Stevaux e Latubresse, 2017).

Os canais fluviais — compostos pelo leito principal, suas margens e planícies de inundação — o regime hidrológico e a rede de drenagem (em termos de hierarquia e organização) são elementos fundamentais que constituem os sistemas fluviais. Esses sistemas se organizam nas áreas mais baixas do relevo para escoar, de forma integrada, as águas provenientes das zonas mais elevadas, tanto na superfície, quanto na subsuperfície e no subterrâneo. Esse escoamento transporta também os sedimentos resultantes do intemperismo das rochas expostas. Dessa forma, as redes de drenagem formam rios que se interconectam, configurando sistemas fluviais que drenam o continente em direção ao mar. Esses sistemas estão em constante busca por um equilíbrio dinâmico entre variáveis como a vazão, a inclinação do canal, a morfologia do canal e a carga sedimentar, originando ambientes variados ao longo de suas margens e planícies (Christopherson e Birkeland, 2017).

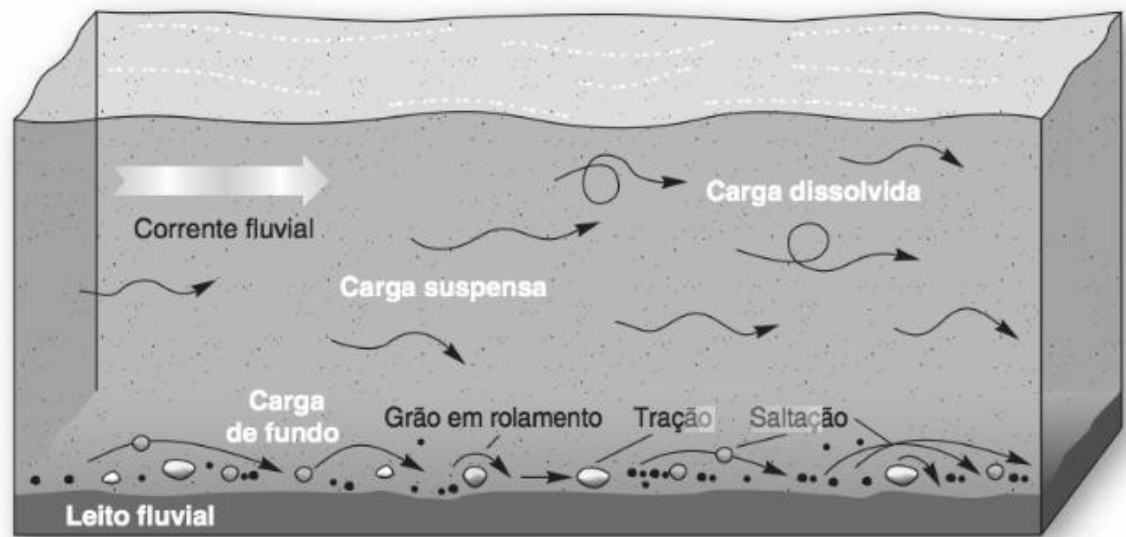
Os cursos fluviais possuem capacidade de erodir, transportar e depositar sedimentos, que podem ocorrer em solução, em suspensão ou por tração. Esses materiais resultam dos

processos erosivos a montante do exutório. A força do fluxo, em relação ao transporte sedimentar, é definida pelos conceitos de competência e capacidade. A competência refere-se à habilidade do rio em mover partículas de tamanho específico, determinada pela velocidade da corrente e pela energia disponível. Já a capacidade corresponde à carga total de sedimentos que o curso d'água é capaz de transportar, em função de sua vazão (Christopherson e Birkeland, 2017).

O transporte, a deposição e a redistribuição desses sedimentos dependem diretamente da energia disponível no canal fluvial, a qual, segundo Knighton (1998), está relacionada a fatores como a altura da lâmina d'água em relação ao nível de base, a declividade do terreno e o peso específico da água. Contudo, parte significativa dessa energia é dissipada em processos secundários — como o atrito com as margens, a resistência do ar e a viscosidade interna da água — sendo convertida em calor, sem contribuir diretamente para o trabalho geomorfológico. Assim, apenas uma fração da energia total do sistema fluvial é efetivamente utilizada para transportar, erodir e depositar sedimentos. Nessa perspectiva, os sedimentos fluviais podem ser classificados em diferentes tipos de carga, conforme o modo de transporte no sistema.

A carga em solução compreende produtos resultantes, principalmente, da dissolução química promovida pelo intemperismo, como sais solúveis, dolomitas, calcários e contaminantes advindos de fertilizantes agrícolas. Esses elementos permanecem dissolvidos na água, sendo conduzidos ao longo do curso fluvial. Na carga suspensa, os sedimentos de granulometria fina — como siltes e argilas — são mantidos em suspensão pelo movimento turbulento da corrente, depositando-se apenas quando ocorre redução da velocidade e da capacidade de transporte da água, acumulando-se no leito ou nas margens. Por sua vez, a carga de fundo, também chamada de carga por tração ou saltação, envolve partículas mais densas e pesadas, como areias e cascalhos, que se deslocam saltando ou rolando no fundo do leito, exigindo maior energia para serem transportadas (Christopherson e Birkeland, 2017) (Figura 11).

Figura 11 - Transporte fluvial. Transporte fluvial de materiais erodidos como carga dissolvida, carga suspensa e carga de fundo.



Fonte: Christopherson e Birkeland (2017, p. 431).

A carga suspensa exerce papel essencial na dinâmica morfológica e ecológica dos sistemas fluviais, sendo transportada em velocidade semelhante à do fluxo no canal. Sua quantidade varia de acordo com a energia disponível, influenciando diretamente o padrão do canal, a taxa de migração lateral e a formação das planícies de inundação. Além de sua relevância física, interfere na qualidade da água e nos processos ecológicos dos ecossistemas aquáticos. Intervenções antrópicas, como desmatamento, expansão agrícola e mineração, intensificam a produção e o transporte de sedimentos em suspensão, ao contrário das barragens, que reduzem significativamente essa carga (Stevaux e Latrubesse, 2017).

Assim, a dinâmica da carga suspensa está diretamente vinculada aos processos de escoamento que ocorrem nas vertentes, os quais condicionam a forma e a intensidade com que os sedimentos são erodidos, transportados e remobilizados pelos rios.

O escoamento do fluxo em vertentes pode ser classificado, segundo Knighton (1998), em quatro categorias principais (figura 12), além dos processos de interceptação e evapotranspiração promovidos pela vegetação. Esses fluxos ocorrem quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo. As categorias abrangem: o fluxo subterrâneo, correspondente à água infiltrada que alcança o lençol freático; o fluxo hipodérmico, caracterizado pelo escoamento lateral em subsuperfície; o fluxo hortoniano, que ocorre superficialmente, podendo ser laminar ou canalizado; e o fluxo de retorno, que se manifesta quando o solo satura pelo fluxo hipodérmico e a água ressurgente se combina ao fluxo hortoniano. A ocorrência e predominância desses escoamentos dependem de fatores como nível de saturação, cobertura vegetal, porosidade e permeabilidade do solo.

Figura 12: Tipos de fluxo da água de precipitação (Knighton, 1998)



Fonte: Leli et al., 2010.

Assim, entre os tipos de fluxos propostos por Knighton (1998), destacam-se o fluxo hortoniano e o de retorno, por exercerem maior influência no aumento da carga em suspensão transportada pelos rios, devido à elevada capacidade de mobilizar material particulado das vertentes. Quando a infiltração do solo não é suficiente para absorver toda a precipitação, o excedente hídrico escoar superficialmente, de forma canalizada ou difusa. Esse escoamento superficial atua diretamente sobre diversos processos erosivos, favorecendo o transporte de sedimentos para os canais principais, onde parte desse material permanece em suspensão. Esses processos são fundamentais para a dinâmica e a modelagem geomorfológica das bacias hidrográficas, promovendo alterações contínuas ao longo do tempo (Leli et al., 2010).

Desse modo, a erosão constitui o processo de origem da carga suspensa, destacando-se a erosão hídrica, promovida pela precipitação, que, ao atingir a superfície, percorre diferentes trajetórias até alcançar os corpos d'água. A interação da água com os elementos do meio físico influencia diretamente sua energia e o padrão de escoamento até os canais fluviais. Fatores como presença ou ausência de cobertura vegetal, tipo e profundidade do solo, natureza do material rochoso e a configuração geomorfológica das vertentes determinam a intensidade dos processos erosivos e, conseqüentemente, a quantidade de material transportado em solução, suspensão ou por tração nos canais fluviais (Cunha e Guerra, 2001).

Assim como a erosão, a taxa de intemperismo — responsável pela geração de materiais disponíveis para os processos erosivos — é controlada por fatores ambientais e geológicos que influenciam a velocidade de degradação das rochas. Entre os principais condicionantes destacam-se o clima, a composição litológica, o relevo, a presença e o tipo de cobertura vegetal, o tempo de exposição das rochas e a atividade biológica. A interação entre esses fatores define

se o intemperismo ocorrerá de forma mais rápida ou mais lenta em determinada região. Essa dinâmica é ilustrada na Figura 13, que sintetiza os principais controles sobre as taxas de intemperismo (Grotzinger e Jordan, 2023).

Figura 13 - Quadro dos principais fatores controladores das taxas de intemperismo:

	TAXA DE INTEMPERISMO		
	LENTA	→	RÁPIDA
PROPRIEDADES DA ROCHA-MATRIZ			
Solubilidade do mineral na água	Baixa (p. ex., quartzo)	Moderada (p. ex., piroxênio e feldspato)	Alta (p. ex., calcita)
Estrutura da rocha	Maciça	Algumas zonas de fraqueza	Muito fraturada ou acamamento muito delgado
CLIMA			
Precipitação de chuva	Baixa	Moderada	Alta
Temperatura	Fria	Temperada	Quente
PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE SOLO E VEGETAÇÃO			
Espessura do perfil de solo	Nenhuma – rocha exposta	Fina a moderada	Espessa
Conteúdo orgânico	Baixo	Moderado	Alto
TEMPO DE EXPOSIÇÃO	Curto	Moderado	Longo

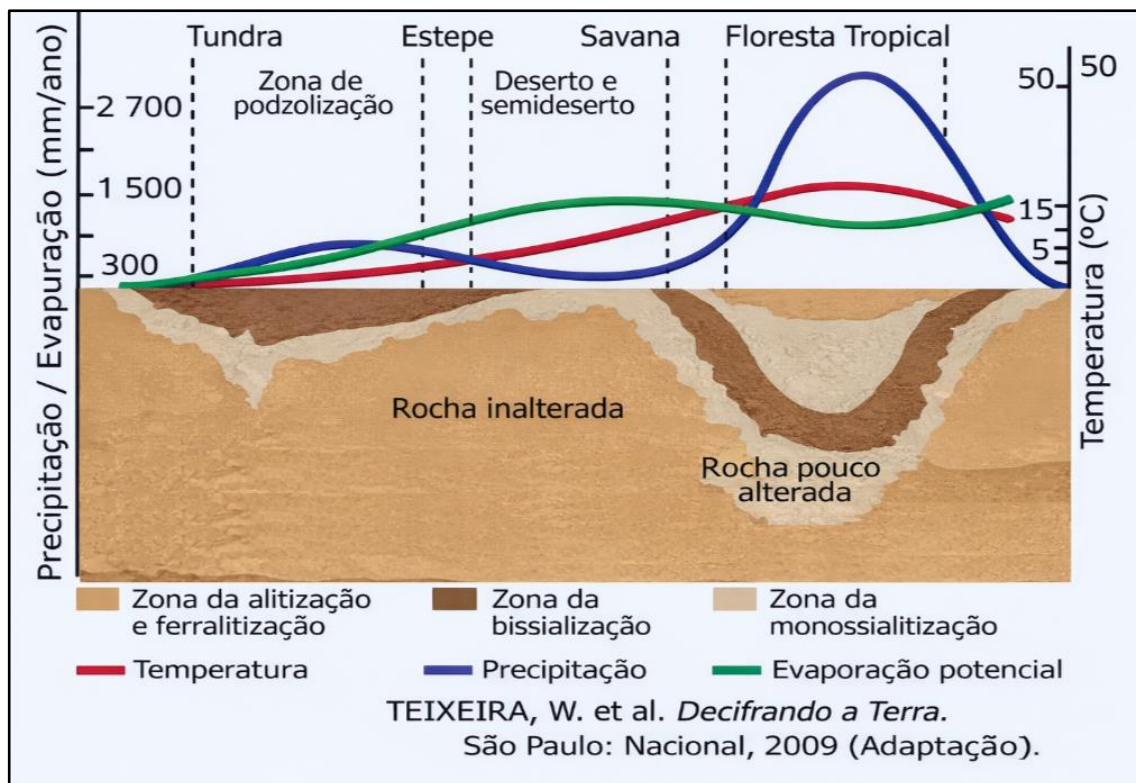
Fonte: GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. **Para Entender a Terra**. 8. ed. 9ª ed. (2023)”.

Desse modo, em períodos climáticos mais secos e frios de longa duração, capazes de reduzir a cobertura vegetal, favorecem a intensificação de processos erosivos mecânicos e físicos, devido à menor proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, aumento do escoamento superficial em ocorrências de chuvas torrenciais e correntes atmosféricas mais intensas. Em contrapartida, durante fases de maior umidade, o incremento e a densidade da vegetação contribuem para reduzir a erosão, por meio da maior interceptação da água, diminuição da energia das enxurradas e aumento da estabilidade e profundidade do solo. Contudo, mesmo em ambientes úmidos e quentes, a ausência de cobertura vegetal pode resultar em altos índices de erosão, evidenciando que a proteção oferecida pela vegetação é um fator decisivo para conter os processos erosivos e reduzir a carga suspensa nos rios (Teixeira et al, 2009).

Essa dinâmica é ilustrada na figura 14, na qual a linha azul representa a precipitação, a verde indica a evapotranspiração e a vermelha corresponde à temperatura média. Em regiões onde a precipitação excede a evapotranspiração — indicando maior disponibilidade hídrica —

a vegetação tende a ser mais densa e exuberante, como exemplificado pela Mata Atlântica (floresta tropical úmida). Por outro lado, em áreas onde a evapotranspiração supera a precipitação, típicas de climas mais secos, a vegetação é geralmente mais esparsa, como no Cerrado brasileiro, cuja formação savânica reflete essas limitações hídricas. Essa dinâmica também se relaciona com o tipo e a profundidade do solo, além de sofrer influência do tipo de material rochoso presente.

Figura 14 - Taxas de precipitação e evapotranspiração refletindo no tipo de clima e paisagem:



Esses componentes atuam de forma inter-relacionada, influenciando diretamente o tipo, a intensidade e a velocidade dos processos erosivos, o que determina volumes maiores ou menores de carga sedimentar fluvial, conforme as condições ambientais predominantes no canal e em sua bacia de drenagem. À medida que o fluxo dos canais sofre variações na energia disponível, as cargas sedimentares transportadas pelos rios respondem a essas mudanças, sendo depositadas ao longo das margens, formando diques e terraços fluviais, além de camadas sedimentares sucessivas que registram a dinâmica hidrossedimentológica ao longo do tempo. Essa dinâmica foi evidenciada por Dias e Filho (2015), que aplicaram o método de luminescência opticamente estimulada para caracterizar as condições paleoclimáticas da

paisagem e reconstruir a evolução da bacia hidrográfica do rio Corumbataí por meio da análise geocronológica de seus terraços fluviais.

Para Brierley et al., (1998), a relação entre a carga suspensa e a dinâmica de deposição ao longo do canal fluvial torna-se ainda mais evidente durante os eventos de cheia, quando o aumento da vazão e a consequente redução da velocidade do fluxo, ao extravasar para a planície de inundação, favorecem a sedimentação seletiva desses materiais. Nesse contexto, destaca-se a formação dos diques marginais, cuja gênese está diretamente associada à deposição progressiva da carga suspensa, especialmente das frações arenosas e silto-argilosas. Os sedimentos mais grossos, antes mantidos em suspensão nas zonas de maior energia do canal, tendem a se depositar próximos às margens, enquanto as partículas mais finas são transportadas para áreas mais internas da planície. Para os mesmos autores, os diques marginais constituem um registro geomorfológico da atuação da carga suspensa ao longo do tempo, evidenciando o papel das cheias na redistribuição sedimentar e na evolução da morfologia fluvial.

Assim, a interpretação dos perfis de terraços fluviais e diques marginais pode ser realizada com base nos princípios da sedimentologia fluvial. A presença de camadas com sedimentos de maior granulometria, como cascalhos e areias grossas, geralmente indica episódios de maior energia fluvial, associados a períodos de elevada vazão e eventos de chuvas intensas, que aumentam a competência do rio para transportar partículas mais pesadas. Em contrapartida, as camadas sobrejacentes, compostas por sedimentos mais finos, como siltes e argilas, refletem fases de menor energia e vazões reduzidas, típicas de períodos de menor pluviosidade. Essa disposição granulométrica, com estratos de materiais grosseiros na base e finos no topo, evidencia a variação cíclica das condições hidrodinâmicas do canal ao longo do tempo geológico, além de possibilitar interpretações de processos mais recentes (Grotzinger e Thomas, 2023).

Nesse contexto, a análise da carga suspensa em corpos hídricos adquire grande relevância, tanto como indicador dos processos hidrossedimentológicos ao longo do tempo geológico quanto como subsídio para a gestão ambiental. Essa análise é fundamental para aplicações como o planejamento territorial, a avaliação das potencialidades agrícolas e o desenvolvimento urbano sustentável. A carga suspensa mantém relação direta com o uso e a ocupação do solo, refletindo a evolução dos ambientes e permitindo identificar áreas suscetíveis à erosão, além de subsidiar diagnósticos de dinâmicas fluviais e a elaboração de planos de mitigação e adaptação a desastres.

Esse cenário foi evidenciado por Silva et al. (2021), em estudo realizado no rio Itacaiúnas, na Amazônia Oriental, que demonstrou a forte influência do regime de chuvas na

dinâmica hidrossedimentológica da região. Durante o período chuvoso, concentra-se a maior parte do escoamento superficial (93% da descarga líquida) e praticamente toda a carga de sedimentos em suspensão (98%), com concentrações variando de 50 a 150 mg/L — classificadas como baixas a moderadas. Esses valores refletem o aumento da erosão e do transporte de sedimentos em função da maior intensidade do fluxo hídrico nesse período. Os índices mais elevados foram registrados em áreas com maior desmatamento, indicando maior produção de sedimentos, enquanto valores mais baixos foram observados em regiões com cobertura florestal preservada, evidenciando a influência direta do uso da terra sobre os processos erosivos e o transporte de sedimentos.

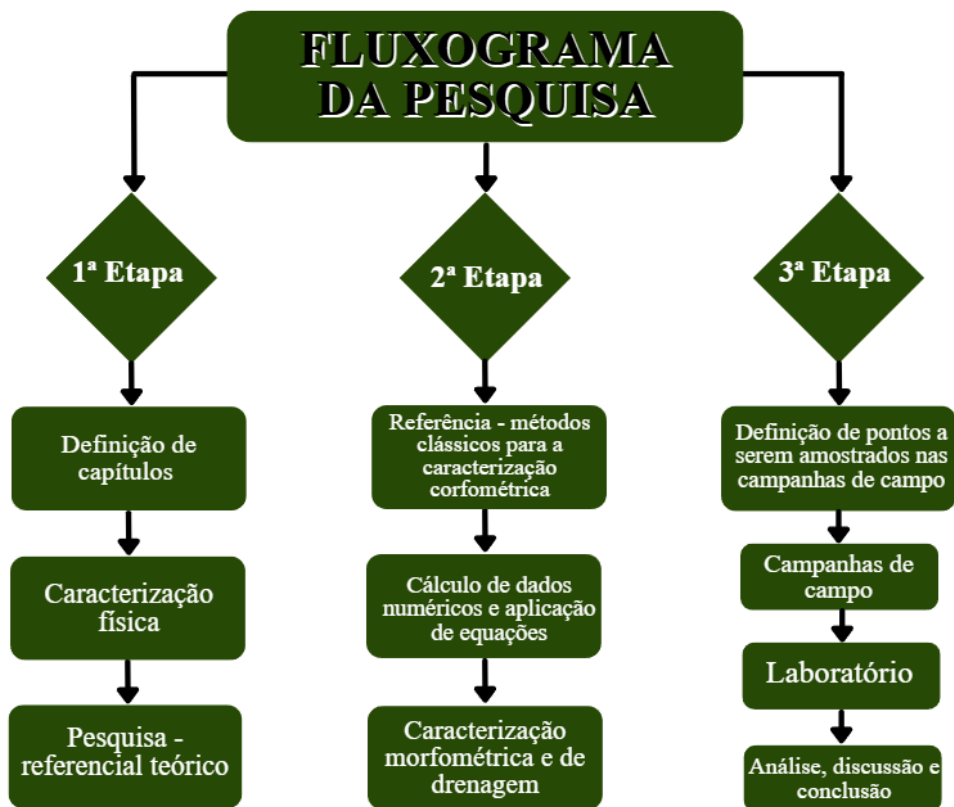
Resultados semelhantes foram observados em pesquisa desenvolvida na bacia do rio Caeté (SC), na qual se constatou que a dinâmica de transporte de sedimentos está fortemente condicionada à intensidade dos eventos pluviométricos e à resposta hidrológica da bacia. De acordo com o estudo, a concentração de sedimentos em suspensão tende a aumentar significativamente durante eventos de chuva mais intensos, apresentando forte correlação com a vazão em diversos episódios analisados, especialmente na fase de ascensão do hidrograma. Os autores destacam ainda que o comportamento de histerese entre vazão e sedimentos evidencia a complexidade dos processos de mobilização e aporte de material particulado, os quais são influenciados tanto pelas características físicas da bacia quanto pelo uso e cobertura da terra. Esses achados reforçam a compreensão de que a variabilidade pluviométrica e as intervenções antrópicas desempenham papel determinante na intensificação dos processos erosivos e no aumento da carga sedimentar transportada pelos cursos d'água (Vestena, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:

A pesquisa foi realizada através de leituras bibliográficas clássicas e modernas sobre matas ciliares, leis de proteção ambiental, impactos ambientais, carga suspensa e dinâmica das paisagens. As etapas do trabalho seguiram o fluxograma relacionado a figura 15;

Figura 15 - Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa:



Foi utilizado e criado mapas, considerando a delimitação da bacia hidrográfica e rede de drenagem.

4.1.1 Delimitação da microbacia:

- a) Utilização do plugin BDGEx Downloader no ambiente do QGIS, a partir da base de dados de cartas topográficas na escala 1:25.000, com equidistância vertical de 10 metros entre curvas de nível.

- b) Posteriormente, procedeu-se à criação de camada vetorial para a delimitação do contorno da microbacia, definida com base nas cotas altimétricas mais elevadas, correspondentes aos divisores topográficos.

4.1.2 Metodologia etapa 2 - Indicadores Morfométricos

4.1.2.1 Índice de bifurcação ($Rb = Nu/Nu_{+1}$)

A análise linear refere-se aos índices e relações ao longo do fluxo da rede de drenagem, incluindo a relação de bifurcação, comprimento médio dos canais de cada ordem e o comprimento do canal principal e ainda tem como objetivo quantificar o grau de dissecação da bacia hidrográfica. Para isso, foi necessário realizar inicialmente a classificação do ordenamento dos rios, seguindo o modelo proposto por Horton (1945). Segundo esse modelo, o "tronco" da drenagem é definido como o canal de maior ordem.

Sendo assim, canais de primeira ordem são aqueles sem ramificações, localizados nos trechos iniciais da rede de drenagem. Canais de segunda ordem recebem, no mínimo, dois tributários de primeira ordem, podendo ainda receber outros tributários de primeira ordem sem alterar sua classificação. Canais de terceira ordem recebem pelo menos dois tributários de segunda ordem, além de outros de ordens menores, sem impactar a contagem do ordenamento.

Esse processo continua até alcançar o canal principal da bacia hidrográfica, estabelecendo a posição de toda a rede de drenagem. Em seguida, realizou-se a contagem do número de canais de cada ordem para e aplicou-se na seguinte equação:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Onde:

Rb → relação de bifurcação;

Nu → número de segmentos de determinada ordem;

$Nu+1$ → número de segmentos da ordem imediatamente superior.

Desta forma, trata-se o produto do cálculo é a divisão do número total de segmentos de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.

Em uma planilha, foi ordenado a quantificação de canais de primeira, segunda, terceira e quarta ordem (de forma crescente), de modo que a equação prevê a divisão do grau de dissecação do canal através da divisão da quantidade de canais de menor ordem pela quantidade

de canais da ordem seguinte. Isso mede o grau de ramificação da rede fluvial. Valores elevados indicam alto grau de dissecação do rio.

Etapas:

- a) Foi feita a numeração de todos os canais de primeira, segunda, terceira e quarta ordem no projeto dentro da ferramenta QGIS, utilizando a ferramenta de texto na criação do layout do mapa;
- b) Contagem de quantos canais de cada ordem contém na bacia e organização em planilha no Excel;
- c) Divisão da soma de canais de primeira ordem pela soma de canais de segunda ordem;
- d) Divisão da soma de canais de segunda ordem pela soma de canais de terceira ordem;
- e) Divisão da soma de canais de terceira ordem pela soma de canais de quarta ordem.

4.1.2.2 Área de Drenagem (A)

Para a delimitação da área de drenagem da bacia do Rio Urutago, foi realizado através do *Software* QGIS, com a utilização da base cartográfica do Exército Brasileiro com escala de 1.25.000.

Etapas:

- a) Para esta etapa, foi utilizado o banco de dados disponível no *plugin* BDGEx, na escala mencionada;
- b) Foi criada a camada vetorial para o posterior desenho da microbacia do Rio Urutago através das curvas de nível mais altas do entorno do rio;
- c) Através da calculadora de campo da tabela de atributos do *Software* QGIS 3.34.6, foi incluído um novo campo de valor geométrico para a delimitação da área da bacia hidrográfica do Rio Urutago em km².

4.1.2.3 Densidade hidrográfica ($D_h = N/A$)

Inicialmente definido por Horton (1945) e posteriormente empregado no Brasil por Freitas (1952), trata-se da relação existente entre o número de rios ou cursos de água e por km². De modo que a equação é expressa da seguinte forma:

$$Dh = \frac{N}{A}$$

Onde:

Dh → Densidade hidrográfica;

N → Número total de rios;

A → Área da bacia.

Lollo (1995), classifica a densidade hidrográfica em baixa, média, alta e muito alta de acordo com o resultado obtido na equação supracitada, de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação de densidade hidrográfica:

Dh (*N₁/km²)	Denominação
Até 3	Baixa
3 até 7	Média
7 até 15	Alta
Acima de 15	Muito Alta
* N ₁ = Comprimento dos rios de 1 ^a ordem conforme Strahler (1952). Fonte: Lollo (1995)	

O índice quantifica a frequência de cursos d'água (número de rios) em relação à área da bacia, sem considerar a extensão dos canais.

Etapas:

- a) Dividiu-se a quantidade de canais (soma de canais de primeira, segunda, terceira e quarta ordem), pela área da bacia em km².

4.1.2.4 Densidade de drenagem (Dd = Lt/A)

Avalia a eficiência da rede de drenagem pela razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia, indicando que valores elevados estão associados a maior disponibilidade hídrica superficial e condições favoráveis ao escoamento, enquanto valores baixos refletem menor disponibilidade hídrica, maior infiltração e relevo mais suave (Granell e Perez, 2004).

De modo que a equação é expressa pela seguinte fórmula:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

A

Onde:

Dd → Densidade de drenagem

Lt → Comprimento total dos canais

A → Área da microbacia

Etapas:

- a) Foi utilização da ferramenta de medição no projeto QGIS para o comprimento dos canais;
- b) Utilização de calculadora de campo na tabela de atributos da camada vetorial da bacia para o cálculo da área em km².

4.1.2.5 Coeficiente de manutenção ($C_m = 1/Dd \times 1000$)

Segundo Schumm (1956), o coeficiente de manutenção é uma das principais medidas numéricas para caracterizar um sistema de drenagem. Ele define uma área necessária para o desenvolvimento e sustentação dos cursos d'água, variando conforme a densidade de drenagem. Nesse contexto, à medida que ocorre a dissecação do relevo, a área disponível para o entalhamento dos canais diminui. Assim, determinando que o coeficiente de manutenção e os valores de densidade de drenagem são grandezas inversamente proporcionais. A equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$C_m = \frac{1}{Dd} \cdot 1.000$$

Onde:

C_m = Coeficiente de manutenção;

Dd = Densidade de drenagem.

O coeficiente de manutenção, foi utilizado do modelo proposto por Schumm (1956), onde através da divisão de 1 pela densidade de drenagem e em seguida a multiplicação deste resultado por 1000, traz a área mínima necessária para a manutenção de 1 metro de canal de escoamento. Trata-se de um indicador de estabilidade geomorfológica — bacias menos desenvolvidas apresentam C_m mais elevado.

Etapas:

- a) Utilizou-se o Excel, dividiu-se 1 pelo resultado da densidade de drenagem.
- b) O resultado da primeira equação multiplicou-se por 1000.

4.1.2.6 Fator de forma:

O fator de forma estabelece uma relação entre o formato da bacia hidrográfica e o de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média da bacia e o seu comprimento axial. O comprimento axial (L) foi obtido medindo-se a distância, ao longo do eixo principal de drenagem, desde o ponto de exutório até o ponto mais distante localizado na cabeceira do talvegue (Christofolletti, 1980).

Para bacias com o índice de conformação baixo, indica baixa propensão a enchentes, quanto mais alongada for a forma de uma determinada bacia associada ao valor de forma baixo, menor o risco de enchentes, quando comparada com outra de mesmo tamanho, com formato circular (Villela & Mattos, 1975). De modo que um fator de forma com valores entre 1,00 e 0,75 indica bacias hidrográficas sujeitas a enchentes; valores entre 0,75 e 0,50 indica tendência mediana a enchentes; e valores inferiores a 0,50 não estão sujeitas a enchentes.

O cálculo do fator de forma (F) foi realizado por meio da seguinte expressão:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Onde:

F é o fator de forma;

A representa a área da bacia (em km²);

L corresponde ao comprimento do eixo principal da bacia (em km).

Etapas:

- a) No *Software* QGIS utilizou-se a camada *Raster* do Modelo Digital de elevação já com o recorte vetorial da bacia, é medido em linha reta o comprimento axial da bacia, usando a ferramenta de medição, configurando para a unidade de medida em km;
- b) Para a área da bacia, foi utilizado a camada vetorial do recorte da bacia e dentro dela da tabela de atributos foi utilizado a calculadora de campo e calculado a geometria em km² da área;
- c) Com as duas medidas, no Excel finaliza-se a fórmula acima mencionada.
Para o cálculo considerou-se o produto do cálculo: 7,271/ (5,556²), o qual 5,556 é o comprimento da nascente a jusante + a distância da nascente ao divisor.

4.1.2.7 Coeficiente de Compacidade (KC)

O coeficiente de compacidade é um número adimensional que varia com o formato da bacia, independentemente do seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será esse coeficiente. Um valor próximo a 1 (um) indica uma bacia circular, que, sob condições iguais, é mais propensa a enchentes devido à rápida concentração do escoamento superficial (Villela & Mattos, 1975).

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

Kc = Coeficiente de compacidade;

P = Perímetro da bacia (km);

A = Área de drenagem da bacia (km²).

Utilizou-se dos seguintes enquadramentos: valores entre 1,00 e 1,25 - bacia com alta propensão a grandes enchentes; valores entre 1,25 e 1,50 - bacia com tendência mediana a grandes enchentes; e superiores a 1,50 - bacia não sujeita a grandes enchentes.

Todas as etapas do cálculo foram realizadas no Excel. Primeiramente, multiplicou-se o valor de 0,28 pelo perímetro da bacia do rio Urutago. Em seguida, calculou-se a raiz quadrada da área da bacia ($\sqrt{7,271 \text{ km}^2}$). Por fim, o valor obtido na primeira operação foi dividido pelo resultado da raiz quadrada ($3,661 \div 2,697$), resultando no coeficiente de compacidade final. Considerando que valores entre 1,25 e 1,50 a bacia contém uma tendência mediana a grandes enchentes.

Etapas:

- a) Dentro do projeto no *software* QGIS, na camada vetorial da delimitação da bacia, foi calculado o perímetro através da calculadora de campo da tabela de atributos;
- b) No Excel, foi multiplicado o valor de 0,28 pelo perímetro de 13,04 km;
- c) Em seguida foi calculado a raiz quadrada da área da bacia ($7,271 \text{ km}^2$);
- d) O valor obtido na primeira operação foi dividido pelo resultado da raiz quadrada ($3,661/2,697$).

4.1.2.8 Índice de Circularidade (IC)

Para Cardoso et al., (2006) e Schumm (1956), o índice de circularidade, assim como o coeficiente de compacidade, aproxima-se da unidade à medida que a bacia apresenta uma forma

mais circular e diminui conforme sua forma se torna mais alongada. Para seu cálculo, utiliza-se a seguinte equação:

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

Onde:

IC = índice de circularidade;

A = área de drenagem (km²);

P = perímetro (km).

Quanto mais próximo de um, maior a propensão a enchentes, pois sua forma se aproxima de um quadrado. Para o cálculo, o produto considerou-se: 12,57*(7,271/13,075²). Valores mais próximos de 1 indicam maior propensão a enchentes devido à forma quadrada da bacia.

Etapas:

- a) No Excel multiplicou-se 12,57 (fator fixo da equação) pela área da bacia (7,23);
- b) Dividiu-se o resultado da multiplicação pelo perímetro da bacia (13,04) elevado a dois.

4.1.2.9 Fator de Assimetria (FA)

O fator de assimetria tem como objetivo identificar alterações no eixo do rio, bem como processos fluviais internos e influências tectônicas. Ele indica a existência de basculamento e sua direção. Quando o resultado da solução é maior que 50, o basculamento ocorre para a margem direita; quando é menor que 50, ocorre para a margem esquerda. Essa análise seguiu o modelo proposto por Hare e Gardner (1985), sendo a proposta definida da seguinte forma:

$$FA = 100 \frac{Ar}{At}$$

Onde:

FA = fator de assimetria;

Ar = área da bacia à direita do rio (olhando a jusante);

At = área total da bacia de drenagem.

Para esse indicador, considerou-se o produto de: 100* (4,162/7,271). Onde 4,162 é a área da bacia à direita do rio (olhando a jusante).

Etapas:

- a) No Excel multiplicou-se o resultado da divisão da área da bacia à direita do rio pela área total;
- b) O resultado da divisão multiplicou-se por 100.

4.1.3. Metodologia etapa 3 — Determinação da Carga Suspensa:

4.1.3.1. Seleção dos Pontos de Coleta:

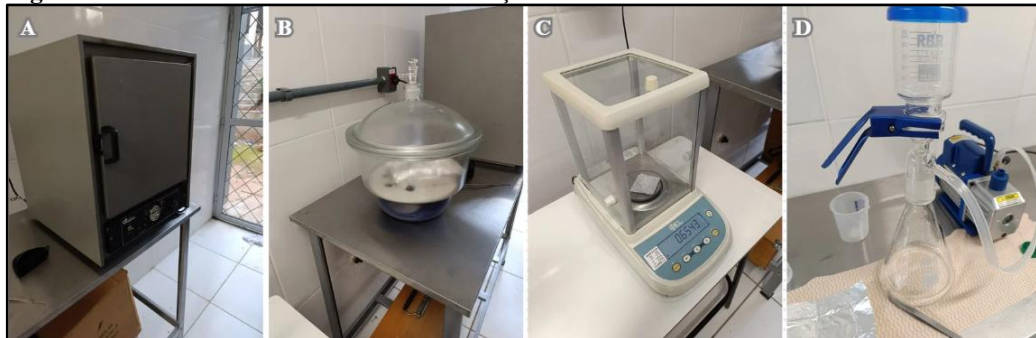
Foram selecionados pontos amostrais representativos dos trechos de baixo, médio e alto curso do rio Urutago, contemplando distintas configurações de paisagem. O ponto 1 corresponde a um segmento canalizado; o ponto 2 situa-se em área de maior adensamento urbano; e os pontos 3 e 4 localizam-se em trechos com maior presença de vegetação ripária nas margens.

Após a definição dos pontos, realizaram-se campanhas de campo [(22 de julho de 2025 (período de estiagem), 19 de outubro de 2025 (período entre safras, pós-precipitação) e 10 de dezembro de 2025 (período chuvoso)] para o levantamento da morfologia das seções transversais, a determinação da vazão e a coleta de amostras de água destinadas às análises laboratoriais.

Para a determinação da carga de sedimentos em suspensão, empregou-se o método de filtragem, utilizando filtros de membrana do tipo Millipore AP 40, constituídos de microfibras de vidro e com porosidade de 1,5 μm .

Inicialmente, os filtros foram enumerados e embalados em papel alumínio, submetidos a esterilização e secagem por 24 horas em estufa a 105 °C. Após esse período, permaneceram no dessecador por pelo menos 1 hora. Em seguida, foram pesados em balança analítica de precisão até a obtenção de peso constante (Figura 16).

Figura 16 - Estufa - A. Dessecador - B. Balança - C. Kitassato e bomba a vácuo - D.



Concluída essa etapa, os filtros ficaram prontos para a filtração das amostras de água, que deveriam estar à temperatura ambiente. Antes da filtração, as amostras foram homogeneizadas por agitação, a fim de suspender completamente os sedimentos aderidos às paredes e ao fundo do recipiente.

A filtração foi realizada com o auxílio de um Kitassato acoplado a bomba a vácuo. Utilizou-se duas amostras de 200 ml cada, que foram vertidas em Becker e filtradas. Os filtros utilizados, contendo os sedimentos retidos, foram novamente armazenados em papel alumínio e submetidos a uma nova secagem por 24 horas a 105 °C, seguida de 1 hora no dessecador.

Após essa segunda secagem, os filtros foram pesados novamente até a obtenção do peso final constante. A carga suspensa total (Cst) foi então determinada pela diferença entre o peso final (Pf) e o peso inicial (Pi) do filtro, dividido pelo volume filtrado, conforme a equação:

$$Cst = \frac{(Pf - Pi) * 1.000}{0,20}$$

Onde:

Pf = peso do filtro após a filtração e secagem (g)

Pi = peso do filtro antes da filtração (g)

1.000 = fator de conversão de gramas para miligramas

0,2 = volume filtrado (L).

A temperatura de 105 °C utilizada no processo permite a preservação da matéria orgânica presente nos sedimentos. Caso haja interesse na quantificação desse conteúdo, os filtros devem ser submetidos a queima em mufla por 4 horas a 480 °C, visando à oxidação da matéria orgânica. Posteriormente, os filtros são novamente pesados até atingirem peso constante. A diferença entre os pesos antes e após essa queima corresponde à massa de matéria orgânica contida na carga suspensa.

Etapas:

- a) Foi definido três campanhas de campo, em diferentes períodos, contemplando condições climáticas de estiagem, cheia e o período entre safras. Foram selecionados quatro pontos ao longo do rio Urutago, de forma estratégica, a fim de abranger distintos cenários ambientais e representar os trechos de alto, médio e baixo curso do rio:
- b) Ponto 1: trecho canalizado a jusante - baixo curso;
- c) Ponto 2: área urbana não canalizada - médio curso;
- d) Ponto 3: local em área preservada - médio a alto curso;

- e) Ponto 4: confluência em área rural, onde dois canais de terceira ordem formam o de quarta ordem - alto curso.
- f) Coleta de Amostras de Água e Suspensões:
- g) A coleta de amostras de água e de suspensões foi realizada com o uso da garrafa Van Dorn, apropriada para a obtenção de sedimentos e matéria orgânica em suspensão. Para a coleta das amostras de água foram utilizadas garrafas plásticas de 500ml, armazenadas em temperatura a 4°C e posteriormente processadas em laboratório.
- h) O método de análise adotado seguiu Orfeo (1995), visando à quantificação da carga suspensa. Para cada ponto de coleta também foi realizado o levantamento morfométrico e hidrodinâmico. No Ponto 1, por tratar-se de um trecho canalizado, a coleta foi feita por meio do lançamento vertical de garrafas PET com corda e peso, acessando a coluna d'água, sendo possível apenas a obtenção de uma amostra de água para a análise de carga suspensa para cada margem.
- i) Nos Pontos 2 e 3, os procedimentos foram semelhantes: utilizou-se fita métrica estendida de margem a margem para mensuração da largura do canal, realizou-se a morfologia com medições da profundidade a cada 7 cm desde a lâmina superficial até o leito, e em canais de menor corrente, medições adicionais a cada 10 cm nas margens, estendendo-se para 50 cm para a extensão das margens. Em ambos os pontos, foram coletadas duas amostras de água, sendo uma por margem para análise de carga suspensa, além da medição da velocidade de fluxo por meio do deslocamento cronometrado de um objeto flutuante (galho) em percurso de 1 m.
- j) Já no Ponto 4, localizado em área rural com maior largura de canal e a montante de uma barragem, foi aplicado o mesmo protocolo dos pontos anteriores, com adaptação na morfologia, realizada em intervalos de 50 cm. Os dados obtidos sobre a morfologia dos canais foram organizados em planilhas no Excel, possibilitando a criação de gráficos de dispersão com linhas, os quais permitiram a representação da geometria transversal do leito e do fundo dos canais amostrados.

4.1.3.2. Levantamento da geometria hidráulica por Ponto:

Em cada seção transversal foram coletados dados da morfologia do canal (profundidade e largura), velocidade de fluxo e amostras de água e sedimentos, repetidamente em cada campanha de campo.

Para a determinação da morfologia das seções transversais foram utilizados trena e régua topográfica. As mensurações foram realizadas a cada 7cm na vazante dos pontos 2 e 3 e cada 50 cm no ponto 4, para denotar maior detalhe na seção.

Descrição por ponto:

- a) Ponto 1 – Trecho Canalizado:
- b) Apenas coletou-se a água. Não foi realizado o levantamento da morfologia do canal.
- c) Ponto 2 – Área Urbana Não Canalizada:
- d) Estendeu-se fita métrica de margem a margem; medição da profundidade a cada 7 cm desde a lâmina superficial até o leito.
 Nas margens, mediu-se a morfologia do leito a cada 10 cm em canal de pouca corrente, passando para intervalos de 50 cm até o leito do canal principal;
 Foi feita a medição da largura total do canal com fita métrica;
 Foi coletada duas amostras de água por margem para análise de carga suspensa;
 Foi determinada da velocidade de fluxo pela velocidade de um objeto flutuante (galho), cronometrando o tempo para percorrer 1 m.
- e) Ponto 3 – Área Preservada:
 Procedimento idêntico ao aplicado no Ponto 2:
 Foi feita morfologia a cada 7 cm (da superfície ao leito); medição da largura do canal; coleta de duas amostras de carga suspensa por margem; medição da velocidade da corrente com objeto flutuante.
- f) Ponto 4 – Área Rural (4ª Ordem)
 Foi utilizado o mesmo protocolo do Ponto 3, com ajuste de morfologia em intervalos de 50 cm e realizado a montante de uma pequena barragem, em canal com largura significativamente maior (curso de quarta ordem).
- g) Os dados levantados em relação a morfologia dos canais, foram organizados em planilhas no Excel a fim de criar gráficos de dispersão com linhas para desenhar a feição morfológica da geometria do leito e do fundo dos canais.

4.1.3.3. Determinação da Vazão (Velocidade × Área)

A estimativa da vazão do curso d'água foi realizada utilizando-se o método simplificado da velocidade média multiplicada pela área da seção transversal do canal. Trata-se de uma aplicação do amplamente empregado em estudos hidrológicos de campo (Stevaux e Latrubesse, 2017), cujo princípio baseou-se na fórmula:

$$Q = A \cdot v$$

Em que:

Q representa a vazão (m^3/s),

A , a área da seção molhada do canal (m^2), e

v , a velocidade média do fluxo (m/s).

A partir do método de Gauss área da seção foi obtida por interpolação entre os pares de dados de largura e profundidade coletados a intervalos regulares ao longo da travessia do canal. Esse procedimento resultou na soma de áreas parciais, assumindo a forma de trapézios ou retângulos entre os pontos de medição.

A velocidade foi determinada por cronometragem do tempo necessário para um objeto flutuante (galho seco) percorrer uma distância de 1 metro, repetido nas margens e região central. O valor final foi adotado como velocidade média estimada do fluxo superficial.

A partir da multiplicação da área da seção pela velocidade média observada, obteve-se a vazão instantânea para o ponto analisado. Este método, embora simplificado, é adequado para rios de pequeno porte e estudos preliminares em bacias hidrográficas com acesso restrito a equipamentos de medição contínua.

Etapas:

- a) Para determinação da velocidade de fluxo foi utilizada a metodologia do flutuador, que consiste em colocar um flutuador para percorrer uma parte do rio. Para isso, foi utilizado a trena (1m), uma bola de isopor e um cronômetro. Assim que o flutuador era colocado na água, concomitantemente o cronômetro era acionado, ao cruzar a medida estabelecida era anotado o tempo utilizado e após, associando-se com a distância, obtém-se a velocidade do fluxo.
- b) No Excel os dados foram organizados em planilha para a realização das contas mencionadas do método. Onde na primeira coluna enumerou-se em ordem crescente cada intervalo medido em campo e a largura correspondente ao lado na segunda coluna. Na terceira a profundidade de cada ponto e a velocidade média do trecho em metros por segundo ($1/v$ pela velocidade cronometrada do objeto flutuante percorrendo 1 metro de lâmina d'água;

- c) Em seguida, às últimas duas colunas (coordenadas “x” e “y” da área do trecho) foram construídas a partir da multiplicação cruzada: largura inferior pela profundidade do ponto superior (eixo x) e depois a profundidade inferior pela largura do ponto superior, ambas calculadas para cada intervalo de modo que o primeiro intervalo (o ponto zero) foi desconsiderado e a primeira medida iniciou-se com zero e após a última finalizou-se com zero;
- d) Em seguida foi feito a soma de cada eixo (x; y) e subtrai-se o eixo “x” pelo “y”; esse resultado entra como numerador na divisão feita por dois (denominador), que deu o produto da área da seção;
- e) Para o cálculo da vazão, multiplicou-se a vazão pela velocidade da seção;
- f) Esse método é repetido para cada seção levantada (ponto 2; 3 e 4).

4.1.3.4. Filtração e Separação de Sólidos:

- a) Para a coleta das amostras de água foram utilizadas garrafas plásticas de 500ml, armazenadas em temperatura a 4°C, para posteriormente serem processadas em laboratório.
- b) O filtro seco foi inserido em recipiente do tipo Kitassato que foi utilizado para filtrar 400 ml de cada amostra de água, em 2 filtragens de 200ml, sendo 4 processos por ponto (2 para cada margem) e 16 no total para cada uma das campanhas de campo. O processo consistiu em separar os sedimentos da água por filtração a vácuo.

4.1.3.5. Secagem Pós-Filtração e Determinação da Carga Suspensa:

- a) O filtro, com sedimentos retidos, foi novamente acondicionado em estufa a 105 °C por mais 24 h, para uma nova pesagem.
- b) A diferença entre o peso do filtro seco após esta etapa e o peso inicial (antes da filtração) permitiu calcular a massa de sedimento em suspensão contida em 200 ml da amostra.

4.1.3.6. Cálculo da Concentração da carga suspensa total:

- a) A carga suspensa (g/L) foi calculada com a equação:
- b) $Cst = (Pf - Pi) \times 1000 / 0,2$

Onde:

P_f = peso do filtro após a filtragem e secagem (g);

P_i = peso do filtro antes da filtragem (g);

1.000 = fator de conversão de gramas para miligramas;

0,2 = volume filtrado (L).

- c) Em uma planilha no excel foi organizado em ordem de amostragem de campo cada filtro processado, onde a primeira coluna foi incluída a numeração do filtro, a segunda a ponto da seção correspondente, a terceira coluna referia-se ao peso inicial, a quarta o peso final com a carga de sedimentos, a quinta a diferença de peso entre o peso do filtro seco e o peso do filtro processado [$Cst = (P_f - P_i)$];
- d) Em seguida, foi aplicado a finalização da equação [Resultado de $(P_f - P_i) \times 1000 / 0,2$]. A última coluna da planilha, representou o resultado da equação para cada amostra filtrada.

4.1.4. Análise, relação e discussão dos resultados.

Os resultados foram organizados sob a forma de gráficos, mapas e tabelas e analisados para quantificação e discussão teórica de resultados de perda de solo e carga suspensa e as relações com a falta de áreas verdes na área de estudo.

Quadro - Síntese metodológica:

Item Principal	Procedimento Metodológico	Referências Utilizadas Locais de Busca
Pesquisa bibliográfica; Caracterização	Revisão sobre matas ciliares, legislação ambiental, impactos ambientais, carga suspensa, dinâmica da paisagem e pesquisas correlatas	Literatura científica especializada; Periódicos Capes; Google Acadêmico; Bibliotecas Online e física da Unioeste e outras.
Caracterização Física da microbacia do Rio Urutago	Levantamento de banco de dados vetoriais e matriciais em bases oficiais: Vetores: Hidrográficos, Geológicos, Pedológicos e Climáticos Matriciais: Geomorfológicos	Instituto de Desenvolvimento Rural o Paraná (IDR-PR); Instituto Água e Terras (IAT); Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

		(CPRM); Minerais do Paraná (Mineropar); Agência Nacional de Águas (ANA);
Delimitação da bacia hidrográfica	Criação de camada vetorial no <i>software</i> QGIS, versão 3.34.6, a partir de base de dados matricial composta por cartas topográficas do Exército Brasileiro, na escala 1:25.000, com equidistância vertical de 10 metros entre curvas de nível.	Cartas Topográficas do Exército Brasileiro (BDGEx Mobile - Exército Brasileiro).
Geração de curvas de nível	Extração de curvas com equidistância de 5 m; uso de hillshade para interpretação morfológica	QGIS; Modelo Digital de Elevação
Vetorização da drenagem e divisores	Interpretação visual das curvas; desenho manual das feições no QGIS	Procedimentos cartográficos digitais; QGIS
Índice de Bifurcação (Rb)	Classificação da rede segundo ordenamento hierárquico e aplicação da fórmula $R_b = N_u / N_{u+1}$	Horton (1945)
Área de drenagem (A)	Delimitação via MDE e cálculo geométrico no QGIS	Back (2014)
Densidade Hidrográfica (Dh)	Relação entre número total de canais e área da bacia	Horton (1945); Freitas (1952); Lollo (1995)
Densidade de Drenagem (Dd)	Relação entre comprimento total dos canais e área da bacia	Granel-Perez (2004)
Coeficiente de Manutenção (Cm)	$C_m = 1/D_d \times 1000$	Schumm (1956)
Fator de Forma (F)	Relação entre área da bacia e comprimento axial	Christofolletti (1980); Villela & Mattos (1975)
Coeficiente de Compacidade (Kc)	Relação entre perímetro e área da bacia	Villela & Mattos (1975)

Índice de Circularidade (IC)	Relação entre área e perímetro da bacia	Cardoso et al. (2006); Schumm (1956)
Fator de Assimetria (FA)	Relação entre área à direita do rio e área total	Hare & Gardner (1985)
Determinação da carga suspensa	Filtragem com filtro Millipore AP 40 (1,5 μm); secagem a 105 °C; pesagem em balança analítica	Orfeo (1995)
Geometria hidráulica	Medição de largura, profundidade e velocidade de fluxo	Procedimentos de campo; Stevaux & Latrubesse (2017)
Determinação da vazão	Método velocidade \times área; método do flutuador	Stevaux & Latrubesse (2017)
Análise dos resultados	Organização em gráficos, mapas e tabelas para interpretação da dinâmica hidrossedimentológica	Metodologia quantitativa aplicada

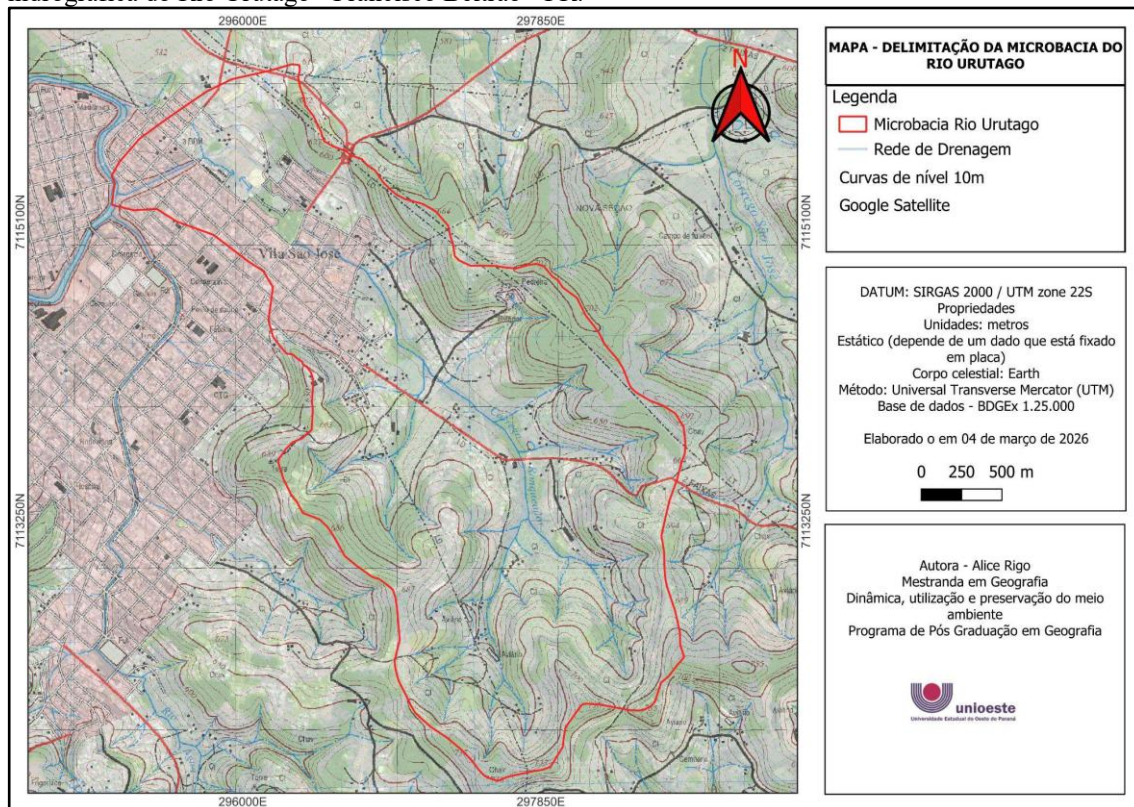
5. RESULTADOS

5.1 MAPA HIPSOMÉTRICO

A elaboração do mapa hipsométrico da microbacia, a partir da base cartográfica do Exército Brasileiro na escala 1:25.000, com equidistância altimétrica de 10 metros, possibilitou a definição do intervalo altimétrico da área de estudo, evidenciando variação de 510 a 738 metros em relação ao nível do mar.

Com as curvas de nível devidamente definidas, foi possível traçar vetores do tipo linha ao longo dos divisores d'água para a delimitação da bacia, conforme ilustrado na Figura 17, bem como calcular sua área, cujo valor foi posteriormente utilizado na aplicação de parâmetros e índices morfométricos.

Figura 17 - Mapa de delimitação de bacia hidrográfica seguindo os parâmetros de Back (2014), da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR:



5.2 ANÁLISES MORFOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS

5.2.1 Características morfométricas e de drenagem da bacia do Rio Urutago

A bacia hidrográfica analisada possui área de drenagem de 7,271 km², classificando-se como microbacia, conforme os critérios propostos por Faustino (1996), que definem como tal aquelas com área inferior a 100 km². O perímetro da bacia foi determinado em 13,075 km e o

comprimento axial, medido ao longo do curso principal, em 5,556 km, valores que refletem uma conformação relativamente alongada do sistema de drenagem.

O índice de circularidade (IC) encontrado foi de 0,5346, indicando que a bacia não apresenta forma próxima ao círculo e, portanto, tende a concentrar menos rapidamente os fluxos pluviais, resultando em menor propensão a enchentes de resposta rápida. Esse comportamento é coerente com o coeficiente de compacidade (KC) de 1,36, valor que se enquadra na faixa de 1,25 a 1,50, representando uma tendência mediana a eventos de grandes cheias, segundo parâmetros hidrológicos clássicos.

O fator de assimetria (FA) foi calculado em 57,24%, valor superior a 50%, o que caracteriza basculamento para a margem direita do rio. Esse resultado pode refletir condicionamentos estruturais ou tectônicos, sugerindo que o desenvolvimento da rede de drenagem e o direcionamento dos fluxos não se dão de forma completamente equilibrada entre as margens.

No que se refere ao fator de forma (KF), obteve-se valor de 0,2355, significativamente inferior ao limite de 0,50, o que caracteriza bacias alongadas, associadas a maior tempo de concentração e menor suscetibilidade a picos abruptos de vazão (Vilella e Matos, 1975).

Por fim, o padrão de drenagem foi identificado como dendrítico, configuração que, segundo Christofletti (1980), pode estar associada a áreas com litologia homogênea, ausência de estruturas geológicas marcantes ou, em alguns casos, à influência de processos tectônicos sutis.

A análise integrada dos parâmetros morfométricos (Quadro 3) evidencia que a bacia apresenta baixa propensão a enchentes repentinas, possivelmente maior estabilidade hidrológica, e certo grau de influência estrutural, perceptível especialmente pelo fator de assimetria e pela organização da rede de drenagem. Nesse contexto, a interpretação conjunta com o mapa geológico indica que parte da rede hidrográfica apresenta alinhamentos que coincidem com as direções das lineações e falhas identificadas na área. Esses elementos estruturais atuam como zonas de fraqueza no substrato rochoso, favorecendo o aprofundamento e a orientação preferencial de determinados canais fluviais.

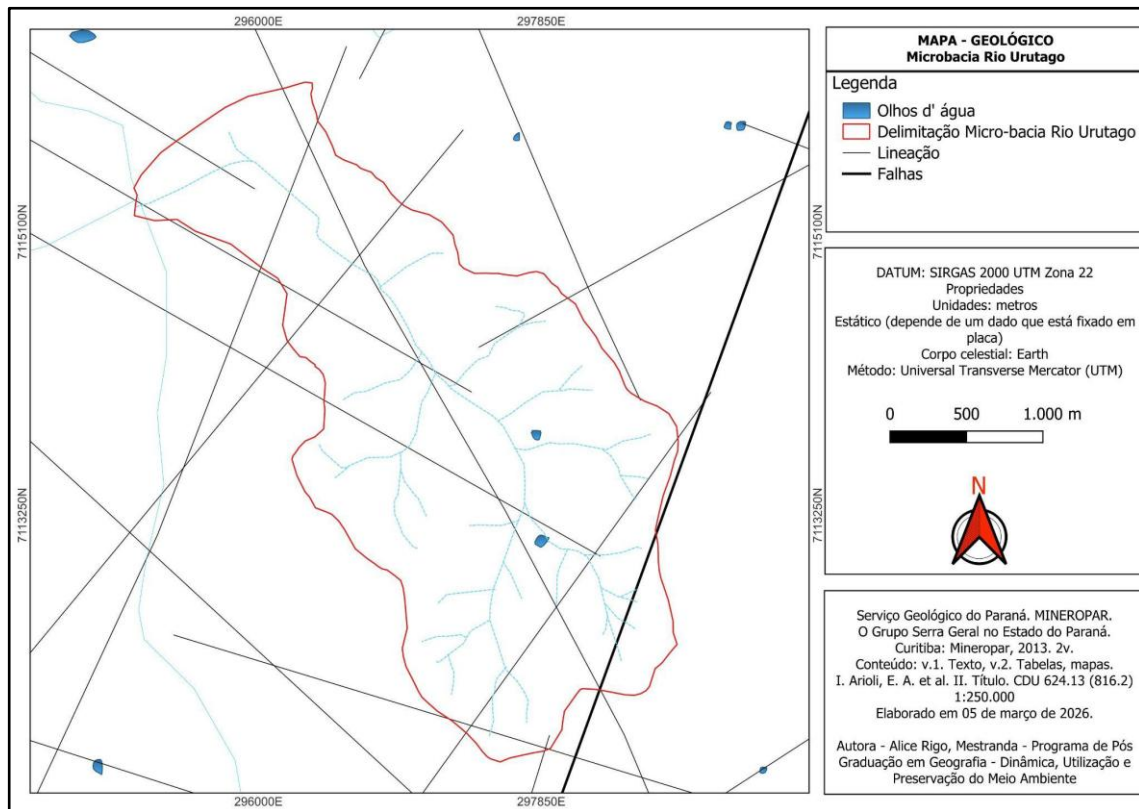
Quadro 3 - Resultados das análises das características morfométricas da microbacia do Rio Urutago:

Características Morfométricas	Parâmetro	Resultado	Unidade	Enquadramento teórico seguido da Conclusão
	Área de Drenagem (A)	7,271	km ²	Área inferior a 100 km ² (FAUSTINO, 1996). Microbacia hidrográfica
	Perímetro da Bacia (P)	13,075	km	-
	Comprimento Axial da Bacia (L)	5,556	km	-
	Índice de Circularidade (IC)	0,5346	-	Quanto mais próximo de 1 maior a tendência a enchentes. Moderada.
	Coefficiente de Compacidade (KC)	1,36	-	Valores entre: 1,25-1,50 Tendência mediana a grandes enchentes.
	Fator de Assimetria (FA)	57,24	%	>50 - Basculamento para margem direita <50 - Basculamento para a margem esquerda. Basculamento para a margem direita do rio.
	Fator de Forma	0,235542	-	Valores inferiores a 0,50 sugere - não sujeita a enchentes.
	Padrão de Drenagem	Dentritica	-	Possível influência tectônica (Christofolletti, 1980)

Embora o padrão de drenagem predominante na microbacia seja do tipo dendrítico a subdendrítico, característico de áreas com relativa homogeneidade litológica, observa-se localmente a presença de segmentos retilíneos e mudanças abruptas na direção dos cursos d'água, o que sugere condicionamento estrutural no desenvolvimento da rede de drenagem. Dessa forma, a configuração hidrográfica da microbacia do rio Urutago resulta da interação entre os processos geomorfológicos superficiais e o controle estrutural exercido pelas falhas e lineações, que influenciam a organização espacial e a evolução da drenagem ao longo do tempo geológico.

Nesse contexto, áreas com maior concentração de fraturas tendem a funcionar como zonas preferenciais para o desenvolvimento e a expansão da drenagem de baixa ordem, uma vez que esses planos de fraqueza facilitam a dissecação do relevo e a instalação dos canais. Tais cursos d'água, frequentemente caracterizados por segmentos retilíneos e alinhamentos estruturais, podem responder mais rapidamente a pequenas movimentações tectônicas e a reajustes morfoestruturais, evidenciando o controle estrutural sobre a evolução da rede hidrográfica (SORDI et al.). O que pode ser evidenciado na figura 18.

Figura 18 - Mapa de lineação e falhas da microbacia do Rio Urutago de Francisco Beltrão (PR):



A rede de drenagem da bacia hidrográfica apresenta hierarquia fluvial de 4ª ordem, conforme a classificação de Strahler, indicando um grau intermediário de desenvolvimento e complexidade do sistema de drenagem. A densidade hidrográfica (Dh) foi estimada em 5,50 canais/km², valor que se enquadra na classe de densidade média (3–7 canais/km²), segundo Lollo (1995). De acordo com Granell-Perez (2004), densidades de drenagem elevadas estão associadas à boa disponibilidade hídrica superficial, à presença de rochas pouco resistentes, solos com baixa permeabilidade, cobertura vegetal escassa ou relevo acidentado, podendo essas características ocorrer de forma conjunta ou isolada. Em contrapartida, valores baixos de densidade de drenagem indicam menor disponibilidade hídrica superficial, rochas mais resistentes, solos com alta capacidade de infiltração, cobertura vegetal densa ou relevo suave. Nesse contexto, os resultados obtidos sugerem uma adequada capacidade de captação das águas pluviais pela bacia, sem configurar uma compartimentação excessivamente densa que pudesse favorecer respostas hidrológicas demasiadamente rápidas.

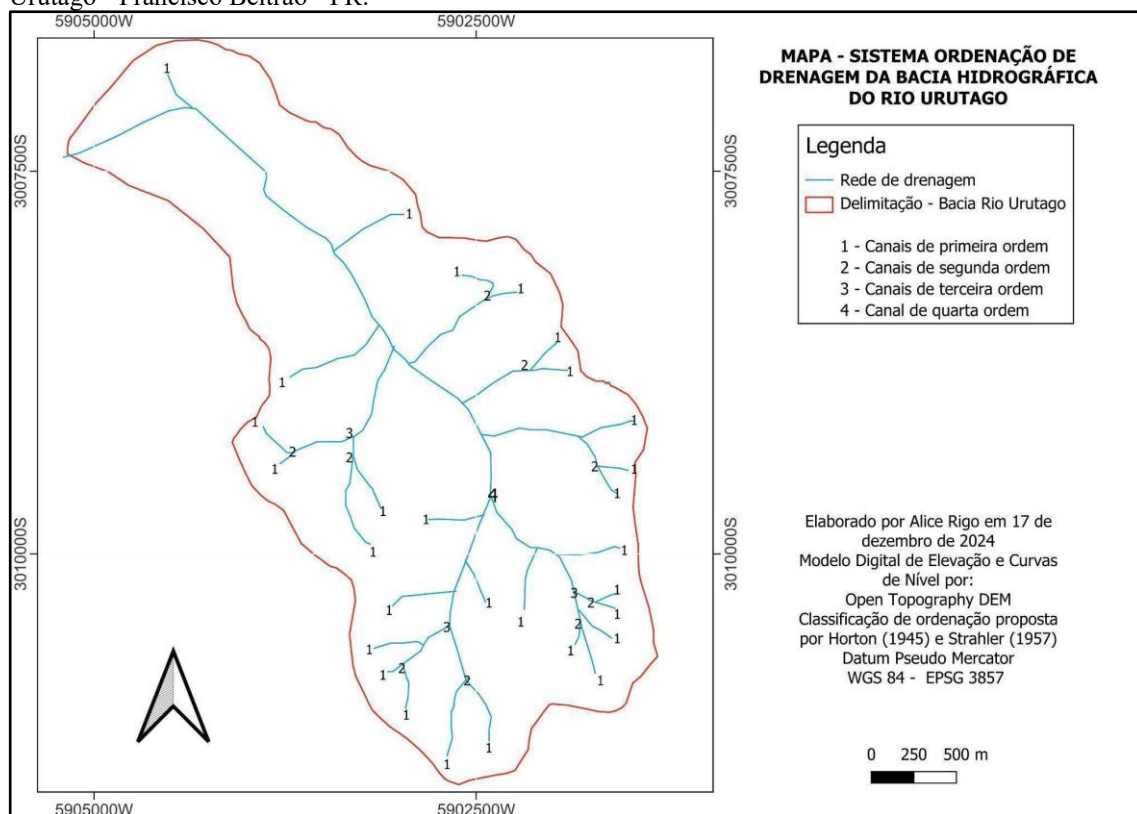
A densidade de drenagem (Dd) obtida foi de 0,7329 km/km², valor classificado como drenagem regular, conforme os intervalos definidos por Horton (1945). Essa condição sugere que a rede de drenagem é suficientemente desenvolvida para promover o escoamento

superficial, mas não a ponto de indicar dissecação intensa do relevo ou elevada suscetibilidade a processos erosivos acelerados.

O coeficiente de manutenção (CM) calculado foi de 1364,42 m², valor que, de acordo com Degrande e Firmino (2020), Silva et al. (2018) e Teixeira et al. (2019), caracteriza alta capacidade de manutenção da rede de drenagem, implicando que cada metro de canal drena uma área relativamente reduzida, o que reforça a eficiência do sistema de escoamento.

A relação de bifurcação (RB) apresentou valor médio de 3, compatível com baixo grau de dissecação do relevo. Valores dessa ordem indicam uma rede de drenagem organizada e estável, sem excessiva fragmentação dos canais (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de classificação e ordenamento segundo Horton (1945), da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR:



O índice de sinuosidade (Sin) foi calculado em 0,7626, classificado como baixo (<1,5), caracterizando canais retilíneos, conforme Riccomini et al. (2009). Esse padrão morfológico pode estar associado à presença de condicionamentos estruturais, gradiente topográfico elevado ou canalizações ajustadas ao controle litológico (Quadro 4).

Quadro 4 - Resultados das análises das características de Drenagem da microbacia do Rio Urutago:

Características de Drenagem	Hierarquia Fluvial	4ª Ordem	-	-
	Densidade hidrográfica (Dh)	5,50	canais/km2	< 3 - Baixa, 3-7 Média, 7-15 Alta, >15 Muito Alta (Lollo, 1995). Densidade hidrográfica média
	Densidade de Drenagem (Dd)	0,7329	km/km2	Drenagem pobre: < 0,5 km/km ² ; Drenagem regular: 0,5 ≤ 1,5 km/km ² ; Drenagem boa: 1,5 ≤ 2,5 km/km ² ; Drenagem muito boa: 2,5 ≤ 3,5 km/km ² ; Excepcionalmente bem drenada: ≥ 3,5 km/km ² . (Horton 1945). Drenagem regular
	Coefficiente de Manutenção (CM)	1364,42m2	-	Alta considerado por: Degrande e Firmino (2020); Silva et al. (2018); Teixeira et al. (2019) com resultados de CM próximos.
	Relação de Bifurcação (RB)	3	Nº de canais	Valores baixos, indicam baixo grau de dissecação. Valor altos, alto grau de dissecação. Baixo grau de dissecação.
	Índice de Sinuosidade (Sin)	0,7626	km	Baixa < 1,5 Alta > 1,5. Baixa, canal retilíneo (Riccomini et al. 2009).

A análise conjunta desses parâmetros revela que a bacia apresenta uma rede de drenagem de desenvolvimento intermediário, com padrão de escoamento regular, baixa sinuosidade e baixo grau de dissecação, sugerindo equilíbrio entre capacidade de escoamento e estabilidade geomorfológica. Essa estabilidade geomorfológica é fortalecida quando integrada à análise do Índice de Hack da bacia, que é representada por trechos em equilíbrios sem nenhuma anomalia.

5.2.2 Morfologia dos canais, baseada nos dados obtidos nas campanhas de campo.

A seleção dos pontos amostrais seguiu rigorosamente os critérios estabelecidos na metodologia, visando contemplar de forma representativa as diferentes porções da bacia hidrográfica. Dessa forma, foram definidos pontos distribuídos estrategicamente ao longo do baixo, médio e alto curso do rio Urutago, permitindo a captura de variabilidade espacial das características ambientais e hidrológicas. Conforme ilustrado na Figura 20, esses pontos encontram-se devidamente georreferenciados e sobrepostos à delimitação da bacia, à rede de drenagem e à imagem de satélite, possibilitando a clara visualização de sua localização e relação com as unidades fisiográficas da área de estudo.

Figura 20 - Carta imagem de localização dos pontos levantados em campo da microbacia hidrográfica do Rio Urutago - Francisco Beltrão - PR:



O Ponto 1, situado no baixo curso do rio Urutago, não teve sua morfologia analisada em virtude de restrições operacionais decorrentes das condições de acesso à margem e ao leito. Nesse local, foi possível apenas a quantificação da carga suspensa, parâmetro fundamental para a avaliação do transporte sedimentar. Esta seção encontra-se registrada na figura 21, nas linhas

1-a, 2-a e 3-a. (Para representar as características hidromorfológicas do baixo curso, adotou-se como referência o Ponto 2, posicionado na zona de transição entre o baixo e o médio curso, onde as condições topográficas e hidrodinâmicas possibilitaram o levantamento da seção transversal.

Figura 21 - Linha 1 - Campo realizado no dia 22 de julho de 2025 (período de estiagem); Linha 2 - Campo realizado no dia 19 de outubro de 2025 (período entre safras após-chuva); Linha 3 - Campo realizado no dia 10 de dezembro de 2025 (período chuvoso).



O registro fotográfico da seção referente ao Ponto 2 encontra-se apresentado na Figura 21, linha 1 (C–D), correspondente à campanha de campo realizada em 22 de julho de 2025, com representação gráfica na Figura 22-a. Na linha 2 (B–C) da mesma figura, está o registro da campanha realizada em 19 de outubro de 2025, com representação gráfica na Figura 22-b. Já o registro da linha 3 (B), referente à campanha realizada em outubro de 2025, encontra-se expresso graficamente na Figura 22-c.

O Ponto 3, localizado no médio curso do rio, foi selecionado com o objetivo de caracterizar a morfologia fluvial dessa porção da bacia. O registro fotográfico correspondente encontra-se na Figura 21, linha 1 (E), referente à campanha realizada em 22 de julho de 2025,

com representação gráfica na Figura 23-a, e na linha 3 (C), referente à campanha de 10 de dezembro de 2025, com representação gráfica na Figura 23-c.

Por fim, o Ponto 4, inserido no alto curso do rio, teve seu registro fotográfico da segunda campanha de campo, realizada em 19 de outubro de 2025, apresentado na Figura 21, linha 2 (D), com ilustração gráfica na Figura 24-b. O registro da campanha realizada em 10 de dezembro de 2025 encontra-se na linha 3 (D) da Figura 21, sendo ilustrado graficamente na Figura 24-c. Esses registros viabilizam a análise comparativa das diferentes unidades longitudinais do rio, permitindo avaliar variações no perfil transversal e nos processos sedimentares ao longo do gradiente altimétrico de cada ponto, em distintos períodos.

Ressalta-se que, apesar da ausência de alguns registros fotográficos, a metodologia foi aplicada integralmente em todos os pontos e em todas as datas definidas para as campanhas de campo: 22 de julho de 2025 (período de estiagem), 19 de outubro de 2025 (período entre safras, pós-precipitação) e 10 de dezembro de 2025 (período chuvoso).

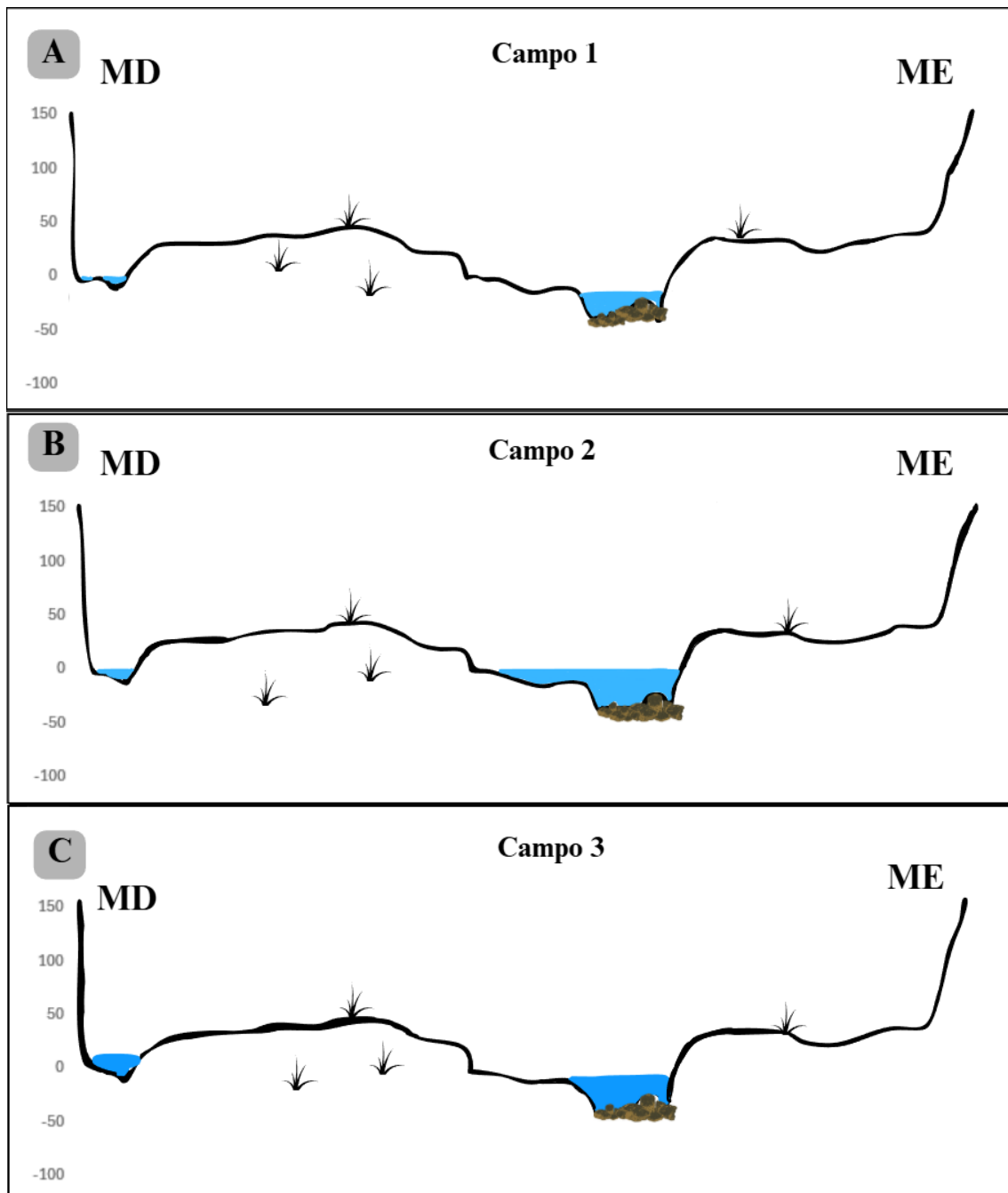
A replicação do método em diferentes períodos possibilita a comparação do nível da lâmina d'água, a verificação de eventuais alterações no leito que mereçam atenção, bem como a avaliação das variações na vazão e carga suspensa sob diferentes condições pluviométricas.

O resultado da morfologia da seção transversal do Ponto 2 (trecho mais a jusante), apresentada na Figura 22, indica uma configuração fortemente condicionada pelo uso antrópico do solo, notado pela impermeabilização decorrente da urbanização no entorno. Isso potencializa o escoamento superficial, intensifica o aporte de sedimentos finos e pode alterar a estabilidade das margens.

Nesta seção, identificam-se dois canais: um principal, localizado na zona central, e outro adjacente à margem direita, possivelmente conectado a um tributário intermitente de primeira ordem. A margem direita apresenta uma elevação topográfica, sugerindo relativa estabilidade e função de contenção lateral, enquanto a margem esquerda exibe uma depressão suave, indicativa de zona deposicional alternada com trechos erodíveis.

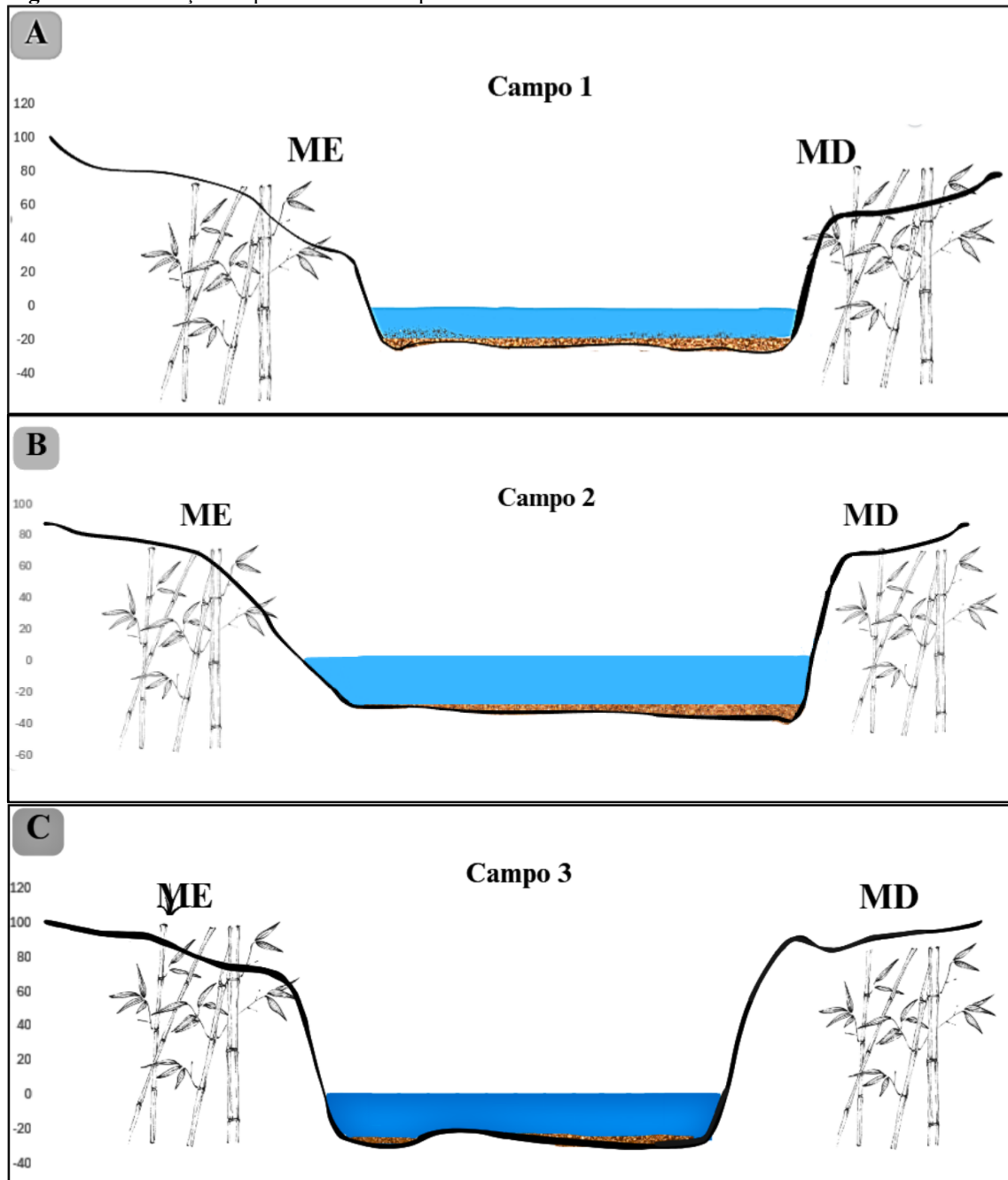
As medições indicam largura total de 11,92 m. A área molhada passou por variações entre as três campanhas de campo, na primeira medição a largura da área vazante alcançava 98 cm com 20 cm de profundidade, que passou para 2,80 m de largura e 41 cm de profundidade e por último, 1,05 m de largura e 25 cm de profundidade.

Figura 22 - Ilustração do perfil transversal ponto 2:



O resultado da morfologia da seção transversal do Ponto 3, localizado no médio curso do rio, e apresentada na Figura 23, evidencia um trecho mais vegetado em comparação ao Ponto 2, embora sinais de influência antrópica sejam perceptíveis pela presença de espécies vegetais exóticas invasoras no ponto de amostragem. Apresenta razoável simetria, porém margens apresentam indícios erosivos. Possui uma largura total de 2,10m. Na primeira campanha de campo, foi medida área molhada de 91 cm de largura e 24 de profundidade, passando para 1,10 m de largura e 36 de profundidade na segunda campanha e 1,04 m de largura e 31 de profundidade na última medição (Figura 21).

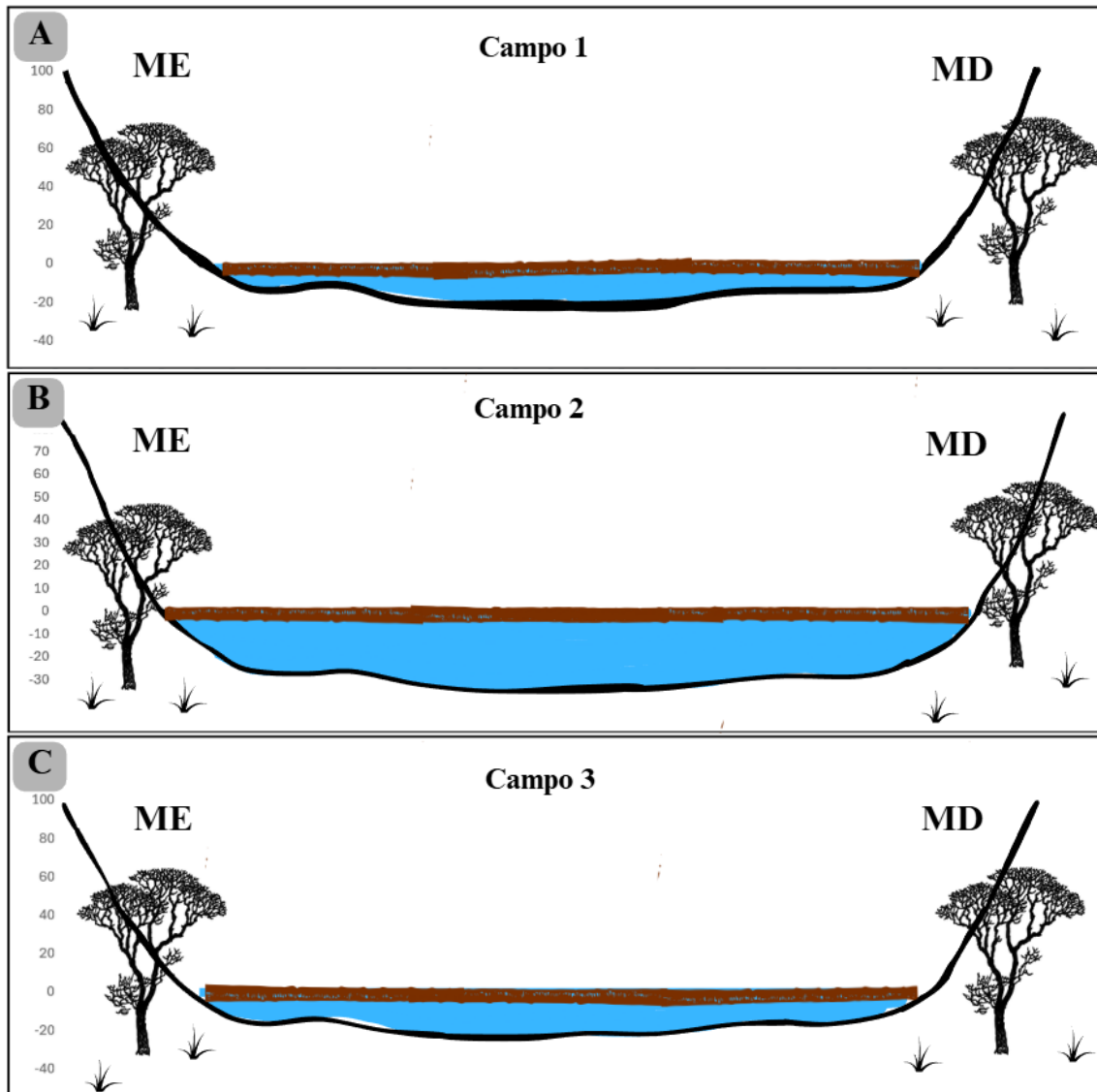
Figura 23 - Ilustração do perfil transversal ponto 3:



A análise morfológica da seção transversal do Ponto 4, localizado no alto curso do rio e apresentado na Figura 24, revela trecho com área vegetada superior ao observado no Ponto 2 e 3, característica atribuída à sua inserção em área rural com menor grau de antropização direta.

As medições indicam largura total entre as margens da seção de 6,00 m. Sendo que a área molhada, na primeira campanha de campo, apresentou largura de 4,00 m e profundidade máxima de 21 cm. Já no segundo levantamento a largura passou para 5,00 metros e a profundidade máxima registrada aumentou para 29 cm. Por fim, no último levantamento a largura voltou para 4,00m e a profundidade máxima foi de 20 cm.

Figura 24 - Ilustração do perfil transversal ponto 4:



5.2.3 Análise de carga suspensa

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos a partir da análise de carga suspensa nas amostras de água coletadas nos Pontos 1, 2, 3 e 4 ao longo do rio Urutago nas três campanhas realizadas. Os valores correspondem às medições de peso inicial (P_i) e peso final (P_f) dos filtros utilizados na filtração das amostras, bem como à diferença entre esses valores ($P_f - P_i$), representando a massa de sedimentos retida. A concentração de sólidos totais em suspensão (C_{st}), expressa em mg/L, foi calculada com base nessa diferença de massa e no volume de água filtrado.

Os resultados demonstram variação na concentração de carga suspensa entre os três momentos analisados, com amplitudes distintas conforme a condição de campo. No Campo 1 (período de estiagem), os valores oscilaram de 4,62 mg/L a 9,12 mg/L, indicando amplitude

relativamente baixa (4,50 mg/L) e comportamento mais homogêneo, compatível com a menor mobilização de sedimentos típica de períodos secos.

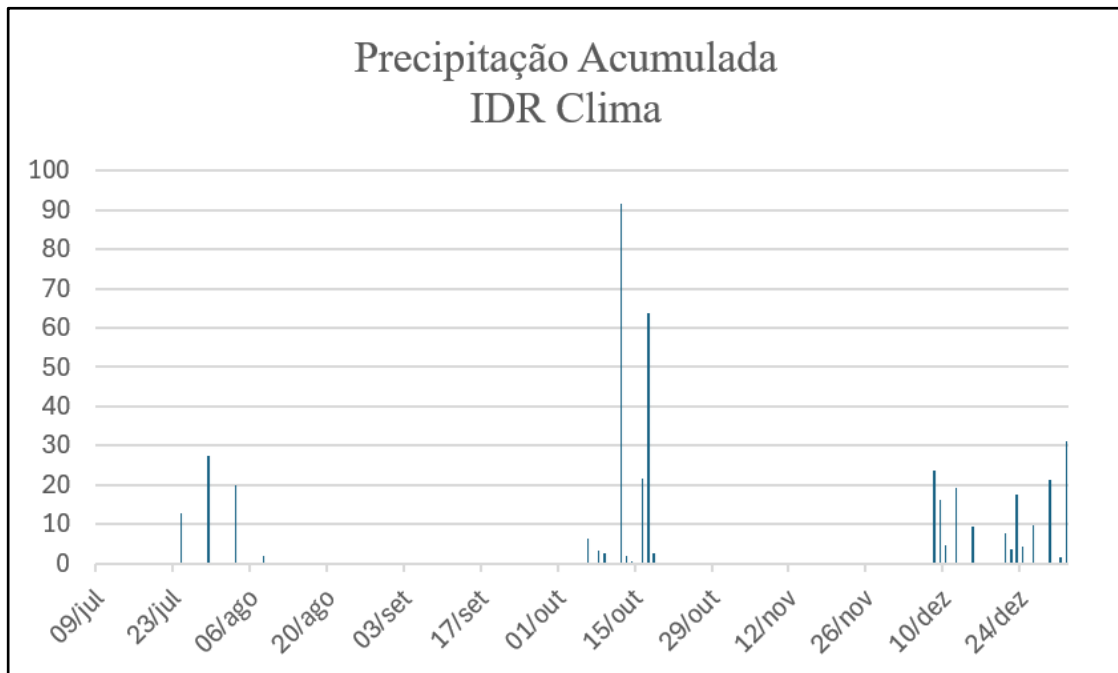
No Campo 2 (entre safras, após chuvas intensas), observou-se a maior variação, com concentrações entre 13,75 mg/L e 48,63 mg/L, resultando em amplitude expressiva de 34,88 mg/L, evidenciando forte carreamento de partículas em função do escoamento superficial intensificado pelas precipitações recentes e pela maior exposição do solo.

Já no Campo 3 (período chuvoso), os valores variaram de 1,50 mg/L a 11,25 mg/L, com amplitude de 9,75 mg/L. Embora inserido em período chuvoso, os resultados indicam menor magnitude em comparação ao Campo 2, sugerindo possível estabilização da cobertura do solo ou menor intensidade de eventos imediatamente anteriores à coleta. De modo geral, percebe-se que a maior amplitude está associada às condições pós-chuva intensa, enquanto a estiagem apresentou variação mais contida e o período chuvoso comportamento intermediário.

A comparação integrada dos resultados reflete diferenças nas condições de uso do solo, clima e dinâmica hidrossedimentológica (tabela 1). Ressalta-se que para cada campo feito, foi considerado a condição climática expressa no gráfico 3.

Tabela 1 - Dados de amostras de água coletadas em campo dos pontos 1, 2, 3 e 4, para a análise e quantificação de carga suspensa:

Análise de carga suspensa CAMPO 1				
Ponto	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	(Pf-Pi)	Cst
MÉDIA P1	0,6302	0,6321	0,0018	9,12 mg/l
MÉDIA P2	0,5790	0,5799	0,0009	4,62 mg/l
MÉDIA P3	0,6074	0,6088	0,0014	6,99 mg/l
MÉDIA P4	0,6277	0,6287	0,0010	5,00 mg/l
Análise de carga suspensa CAMPO 2				
Ponto	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	(Pf-Pi)	Cst
MÉDIA P1	0,4431	0,4521	0,0090	44,75 mg/l
MÉDIA P2	0,4229	0,4309	0,0080	40,00 mg/l
MÉDIA P3	0,4362	0,4459	0,0097	48,63 mg/l
MÉDIA P4	0,4694	0,4722	0,0027	13,75 mg/l
Análise de carga suspensa CAMPO 3				
Ponto	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	(Pf-Pi)	Cst
MÉDIA P1	0,45170	0,45360	0,00190	9,50 mg/l
MÉDIA P2	0,47560	0,47785	0,00225	11,25 mg/l
MÉDIA P3	0,45328	0,45380	0,00052	2,62 mg/l
MÉDIA P4	0,43393	0,43423	0,00030	1,50 mg/l

Gráfico 3 - Chuva acumulada para Francisco Beltrão parcial do segundo semestre de 2025:

Fonte: Aplicativo IDR Clima. Adaptado.

Na Campanha de Campo 1, os valores de CST foram relativamente baixos e homogêneos entre os pontos amostrados. As concentrações oscilaram entre 4,62 mg/L (P2) e 9,12 mg/L (P1), com valores intermediários em P3 (6,99 mg/L) e P4 (5,00 mg/L). Esses resultados indicam baixa mobilização de sedimentos, compatível com condições de menor escoamento superficial e maior estabilidade do solo.

Na Campanha de Campo 2, observou-se aumento significativo das concentrações de CST em todos os pontos, caracterizando o período de maior aporte sedimentar. Os valores variaram de 13,75 mg/L (P4) a 48,63 mg/L (P3), com destaque também para P1 (44,75 mg/L) e P2 (40,00 mg/L). Esse padrão evidencia intensa mobilização de sedimentos, associada ao aumento de área de solo exposto e a condições favoráveis à erosão hídrica.

Já na Campanha de Campo 3, as concentrações de CST voltaram a apresentar valores reduzidos, variando entre 1,50 mg/L (P4) e 11,25 mg/L (P2). Os pontos P3 (2,62 mg/L) e P1 (9,50 mg/L) indicam menor transporte de sedimentos em suspensão, sugerindo possível esgotamento temporário de material erodível e maior influência de áreas com cobertura vegetal ou APP preservada.

No ponto P1, a CST passou de 9,12 mg/L na 1ª campanha para 44,75 mg/L na 2ª campanha, correspondendo a um aumento de 390,79%. Na 3ª campanha, o valor registrado foi de 9,50 mg/L, representando uma variação de 4,17% em relação à 1ª campanha (tabela 2).

No ponto P2, a concentração aumentou de 4,63 mg/L na 1ª campanha para 40,00 mg/L na 2ª campanha, com variação de 764,15%. Na 3ª campanha, a CST atingiu 11,25 mg/L, o que

corresponde a um aumento de 143,00% quando comparado ao primeiro levantamento (tabela 2).

No ponto P3, a CST registrada na 1ª campanha foi de 7,00 mg/L, elevando-se para 48,63 mg/L na 2ª campanha, com variação de 594,71%. Já na 3ª campanha, o valor observado foi de 2,63 mg/L, representando uma variação negativa de -62,43% em relação à 1ª campanha (tabela 2).

Por fim, no ponto P4, a concentração passou de 5,00 mg/L na 1ª campanha para 13,75 mg/L na 2ª campanha, com aumento de 175,00%. Na 3ª campanha, o valor registrado foi de 1,50 mg/L, correspondendo a uma variação de -70,00% em comparação com a 1ª campanha (tabela 2).

Tabela 2 - Comparação de resultados CST entre campanhas:

Análise de carga suspensa					
Ponto	1ª Campanha de Campo - 22/07/2025	2ª Campanha de Campo - 19/10/2025	Varição Comparada com o 1º Campo	3ª Campanha de Campo - 10/12/2025	Varição Comparada com o 1º Campo
P 1	9,12 mg/l	44,75 mg/l	390,79%	9,50 mg/l	4,17%
P 2	4,63 mg/l	40,00 mg/l	764,15%	11,25 mg/l	143,00%
P 3	7 mg/l	48,63 mg/l	594,71%	2,63 mg/l	-62,43%
P 4	5 mg/l	13,75 mg/l	175,00%	1,50 mg/l	-70,00%

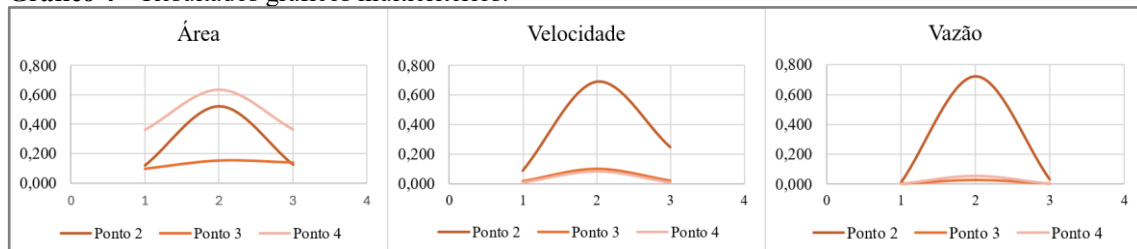
Os resultados de área molhada, velocidade e vazão apresentam padrões distintos entre os campos de amostragem e entre os pontos, evidenciando a relação direta entre essas variáveis hidráulicas (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados obtidos de Área, Velocidade e Vazão, durante as campanhas de campo:

CAMPO 1				
Ponto	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)	L/s
Ponto 2	0,120	0,091	0,011	10,8
Ponto 3	0,097	0,019	0,002	1,8
Ponto 4	0,360	0,011	0,004	4
CAMPO 2				
Ponto	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)	
Ponto 2	0,520	0,690	0,724	723,6
Ponto 3	0,152	0,100	0,030	30,4
Ponto 4	0,635	0,083	0,053	52,9
CAMPO 3				
Ponto	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)	
Ponto 2	0,125	0,250	0,031	31,4
Ponto 3	0,138	0,023	0,003	3,2
Ponto 4	0,363	0,011	0,004	4

Ressalta-se a observação de um padrão gráfico entre os resultados, refletindo em ambos os critérios, um aumento e em seguida uma queda nos valores (gráfico 4).

Gráfico 4 – Resultados gráficos multicritérios:



Campo 1: as vazões são baixas em todos os pontos, variando de 0,002 a 0,011 m³/s. O Ponto 2 apresenta a maior vazão (0,011 m³/s), associada à maior velocidade (0,091 m/s), mesmo não possuindo a maior área da seção. O Ponto 4, apesar de apresentar a maior área (0,360 m²), registra baixa velocidade (0,011 m/s), resultando em vazão intermediária (0,004 m³/s). O Ponto 3 combina área e velocidade reduzidas, refletindo a menor vazão do campo. Esse padrão indica que, no Campo 1, a velocidade exerce papel mais determinante sobre a vazão do que a área da seção.

Campo 2: concentra os maiores valores de vazão do conjunto analisado, com destaque expressivo para o Ponto 2. No Ponto 2, a combinação de grande área (0,520 m²) e alta velocidade (0,690 m/s) resulta em vazão muito elevada (0,724 m³/s). O Ponto 4 apresenta a maior área do campo (0,635 m²), porém com velocidade moderada (0,083 m/s), gerando vazão

inferior à do Ponto 2 (0,053 m³/s). O Ponto 3, com área e velocidade intermediárias, apresenta vazão proporcionalmente menor (0,030 m³/s). Neste campo, observa-se uma correlação direta e positiva entre área, velocidade e vazão, sendo o Campo 2 o que melhor expressa condições de maior capacidade de escoamento.

Campo 3: os valores são intermediários em relação aos demais campos. O Ponto 2 novamente se destaca, com a maior velocidade (0,250 m/s) e, conseqüentemente, a maior vazão (0,031 m³/s), mesmo com área semelhante aos demais pontos. Os Pontos 3 e 4 apresentam velocidades muito baixas (0,023 e 0,011 m/s), o que limita as vazões, mesmo quando a área é relativamente maior, como no Ponto 4. Assim como no Campo 1, a velocidade do escoamento é o principal fator controlador da vazão no Campo 3.

De forma integrada, os resultados indicam que a vazão responde diretamente à combinação entre área da seção e velocidade, conforme o princípio hidrodinâmico básico. Os maiores valores de vazão ocorrem nos pontos em que área e velocidade são simultaneamente elevadas, como observado no Campo 2 – Ponto 2.

A variação entre campos sugere diferenças nas condições hidráulicas locais, refletindo distintos regimes de escoamento.

6. DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos na morfologia e drenagem da bacia do rio Urutago indica que, sob a perspectiva morfométrica, a bacia não apresenta propensão natural a eventos de grandes enchentes. Parâmetros como a forma alongada da bacia favorecem o tempo de concentração mais elevado, o que implica em uma resposta hidrológica mais lenta, característica típica de bacias com menor potencial para picos abruptos de cheia.

No entanto, esse enquadramento baseia-se nas características naturais da bacia hidrográfica, desconsiderando as intervenções antrópicas ao longo do curso fluvial — o que contrasta de forma significativa com as modificações evidenciadas na área de estudo. Grande parte do curso do rio encontra-se inserida em zona urbana ou em áreas de expansão urbana, tendo passado por diversas intervenções antrópicas ao longo do tempo. Tais modificações alteraram substancialmente a dinâmica fluvial e o comportamento hidrológico da bacia.

Evidências empíricas obtidas durante as atividades de campo reforçam esse diagnóstico. Na etapa de levantamento de dados para a caracterização morfológica dos canais e análise da carga suspensa, um morador da localidade correspondente ao ponto 4 — residente na área desde 1973 — relatou que, na década de 1970, ocorreu a retificação de um trecho originalmente sinuoso do rio. Segundo seu relato, “o rio fazia uma curva muito grande e então fizeram a retilinização do canal”, com o objetivo de ampliar a área produtiva da propriedade rural. Atualmente, segundo o mesmo morador, a principal alteração observada é o assoreamento progressivo do leito fluvial.

Esse tipo de intervenção, comum no passado e ainda recorrente em áreas rurais e urbanas, está frequentemente associado à tentativa de aumentar a produtividade agrícola, aumentar a área útil de terrenos e loteamentos, ou ainda de promover, de forma empírica e desassistida, o escoamento mais rápido das drenagens naturais.

Esse tipo de modificação gera impactos significativos sobre a hidrodinâmica fluvial, como o aumento da velocidade de escoamento e a perda da capacidade natural do rio em amortecer cheias, além de favorecer processos erosivos e deposicionais que comprometem a estabilidade do canal ao longo do tempo. Fujimoto (2005) afirma que interferências de ordem antrópica modificam a permeabilidade do solo por meio da remoção da vegetação, implantação equipamentos urbanos, canalizações e aterros modificam a dinâmica morfodinâmica da paisagem e intensifica processos de vertentes, fluviais, de escoamento concentrado e de

assoreamento, além de intensificar processos de erosão e deposição que provocaram a criação de novas formas de relevo associadas a *depósitos tecnogênicos*.⁶

Práticas recorrentes de canalização de trechos do curso d'água, mesmo que pontuais, quando acumuladas na bacia, aumentam significativamente a eficiência do escoamento superficial, reduzindo o tempo de concentração e elevando a velocidade de chegada das águas à foz, o que potencializa picos de vazão e o risco de enxurradas. Santos e Pinheiro (2002), no estudo do Rio Itajaí-Açu, demonstram que intervenções como canalizações e dragagens alteraram as dinâmicas fluviais, causando desestabilização de margens, escorregamentos, aceleração do transporte sedimentar, alargamento da calha, aprofundamento do leito, redução da rugosidade, erosão marginal e diminuição das ilhas fluviais. Na várzea, essas ações elevaram o nível de base local, geraram áreas alagadas, evidenciadas pela abertura de valas que promoveram a retificação dos canais, agravando a frequência e intensidade das cheias.

Outro relato relevante foi fornecido por uma moradora próxima ao ponto 4, que afirmou que, em décadas anteriores, não havia histórico de alagamentos causados pelo escoamento das vertentes. No entanto, atualmente, sua residência já foi atingida por enxurradas, o que segundo ela, o cenário foi agravado pela construção da rodovia asfaltada localizada no topo do morro adjacente. A impermeabilização de topos de morros, ao reduzir a infiltração e aumentar o escoamento superficial, intensifica o volume e a velocidade da água que escoam em direção às áreas mais baixas da bacia, alterando significativamente a dinâmica natural do sistema.

Esses relatos, aliados às observações de campo e resultados da pesquisa, evidenciam a descaracterização progressiva do regime hidrológico e morfodinâmico do rio Urutago. As intervenções antrópicas — como a urbanização das áreas de várzea, a impermeabilização das vertentes e a retificação de trechos fluviais — impactam diretamente a hidrodinâmica do curso d'água, tornando-o mais suscetível a eventos extremos e rompendo com o equilíbrio geomorfológico originalmente estabelecido (Oliveira e Vestena, 2017).

Quanto ao levantamento morfológico *in loco* das seções P2, P3 e P4, não foram identificadas mudanças transversais significativas, considerando o intervalo métrico adotado e o tipo de perfil analisado.

Quanto aos resultados obtidos para a carga suspensa (Cst), as três campanhas de campo obtiveram resultados diferentes em cada um dos pontos de coleta, condicionado por eventos

⁶ Chemekov (1983) propõe uma classificação geral dos depósitos tecnogênicos em três tipos principais: **construídos**, formados pela deposição direta de materiais pela ação humana, como aterros e rejeitos; **induzidos**, resultantes de processos naturais alterados pela intervenção antrópica, como assoreamentos e aluviões modernos; e **modificados**, decorrentes de transformações em depósitos naturais preexistentes, a exemplo da contaminação do solo.

climáticos e de atividades agrícolas. O estudo evidencia maior concentração e aumento de sólidos suspensos em todas as seções analisadas durante a segunda campanha de campo, realizada no período entre safras. Com destaque para os pontos 1, 2 e 3, que apresentaram os valores mais elevados. A definição da data da campanha baseou-se na observação das fases de colheita e plantio, bem como nas condições climáticas, priorizando um intervalo com ocorrência de chuva após a colheita. Essa situação favorece a identificação de processos erosivos, uma vez que o escoamento superficial atua diretamente sobre o solo exposto e à condução ao longo da bacia hidrográfica.

Ressalta-se que, mesmo sob o sistema de plantio direto, foram observados processos erosivos, evidenciado justamente pelo aumento de carga sedimentar em suspensão. Tal fato se explica pela ocorrência de chuvas significativas antes do trabalho de campo e pela topografia acentuada da área, que contribui para o aumento da velocidade do escoamento superficial.

Na segunda campanha de coleta, o ponto P4 apresentou valor aproximadamente 69% inferior à média dos demais pontos amostrados nessa campanha. Esse resultado evidencia a eficiência da Área de Preservação Permanente (APP) na redução do aporte de sedimentos em suspensão e reflete, ainda, condições locais do canal, como maior rugosidade do leito e menor inclinação, que favorecem os processos de deposição sedimentar. Tais mecanismos são compatíveis com os resultados obtidos por Dalpiaz (2014), que, a partir de ensaios numéricos em canais inclinados, demonstrou que variações na geometria e na energia do escoamento influenciam diretamente a retenção e a deposição de sedimentos.

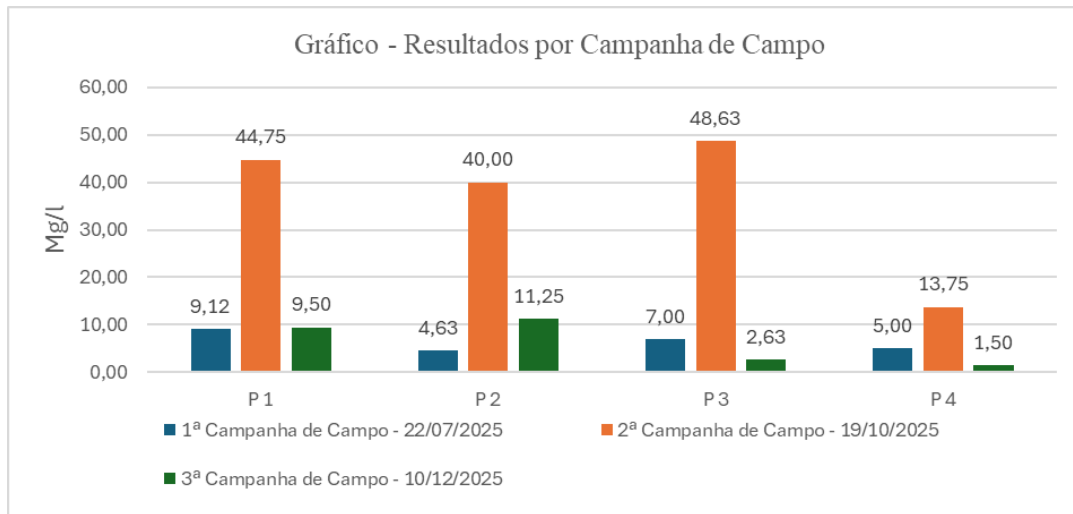
Durante o terceiro levantamento, realizado em período chuvoso, foi registrado incremento relevante de carga suspensa no ponto 2, o qual apresentou aumento de 143% de CST em relação ao primeiro campo. Esse ponto localiza-se em área urbana, cujo entorno apresenta elevada impermeabilização do solo, favorecendo o escoamento concentrado de águas carregadas de sedimentos bem como pela própria drenagem pluvial urbana.

Por outro lado, os pontos 3 e 4 não apresentaram aumento da carga sedimentar durante o período chuvoso; ao contrário, observou-se redução de -62,43% e -70,00%, respectivamente. Esse comportamento pode estar associado, a um esgotamento temporário da oferta de sedimentos, decorrente de eventos pluviométricos intensos ocorridos anteriormente, que promoveram a remoção do material superficial mais facilmente mobilizável, reduzindo a disponibilidade de sedimentos para transporte nos eventos subsequentes. Tal dinâmica é característica de sistemas fluviais controlados pela oferta de sedimentos, nos quais a quantidade de material disponível passa a limitar o transporte sedimentar, independentemente do aumento da energia do escoamento (Topping; Rubin; Vierra Jr., 2000).

Em escala local, as características do tipo de leito exercem papel fundamental na modulação da carga suspensa, uma vez que a mobilização das partículas depende da relação entre a velocidade de cisalhamento do escoamento e a velocidade crítica de erosão do material. Conforme discutido por Stevaux e Latrubesse (2017), partículas de tamanho silte e argila constituem a carga em suspensão e tendem a permanecer suspensas na maior parte do tempo, depositando-se apenas sob condições de fluxo de muito baixa energia. No P3, o predomínio de leito lamoso pouco consolidado, composto majoritariamente por sedimentos finos, favorece a deposição em períodos de menor velocidade do fluxo. Embora essas partículas possam entrar facilmente em suspensão quando a relação entre a velocidade do fundo e a velocidade crítica de erosão se aproxima ou ultrapassa a unidade ($v^*/v_{c^*} \geq 1$), a baixa energia média do escoamento no trecho limita a manutenção dessa suspensão ao longo do tempo, resultando em deposição recorrente e baixos valores médios de carga suspensa.

No P4, por sua vez, a presença de leito predominantemente cascalhento indica um sistema em que a carga de fundo é dominante, sendo composta por partículas de maior diâmetro, que permanecem depositadas quando a velocidade do fundo é inferior à velocidade crítica de erosão ($v^*/v_{c^*} < 1$). Mesmo quando essas partículas podem ser mobilizadas por arraste, rolamento e saltação durante eventos de maior energia, sua entrada em suspensão ocorre de forma episódica. Além disso, a elevada rugosidade hidráulica do leito cascalhento contribui para a dissipação da energia do escoamento, reduzindo a eficiência da ressuspensão de sedimentos finos. Soma-se a isso o fato de que grande parte da carga suspensa fina — caracterizada como carga de lavado (*wash load*) — têm origem predominantemente externa ao canal, associada ao escoamento superficial e aos processos de vertente, os quais são atenuados nos trechos com Áreas de Preservação Permanente relativamente bem conservadas (Stevaux; Latrubesse, 2017). Para esses autores, quanto maior a intensidade do fluxo de fundo, maior é a chance e tempo de ocorrer a movimentação de carga sedimentar suspensa.

Em contraste, os pontos 1 e 2, na terceira campanha de campo, apresentaram aumentos de 4,17% e 143%, respectivamente, em relação à primeira campanha. Isso indica que, no período analisado, embora chuvoso, a intensidade e o volume das precipitações não foram suficientes para gerar energia hidráulica capaz de manter grande quantidade de sedimentos em suspensão por períodos prolongados. Ainda assim, observa-se um incremento nos valores, evidenciando que ambos os pontos apresentam comportamento semelhante quanto à energia hidráulica, diferentemente dos pontos 3 e 4, caracterizados por trechos de menor energia.

Gráfico 5 - Ilustrativo/Comparativo de resultados:

No P1 – Área Canalizada, observam-se valores relativamente elevados de carga suspensa mesmo durante o período de estiagem, aproximando-se daqueles registrados no período chuvoso. A canalização e os altos valores de Cst contrariou a expectativa inicial. Considerando que esse trecho possui margens revestidas com lajes, o processo erosivo local é minimizado, mas são carregados pelo canal de forma mais eficiente, pois não há barreiras de amortecimento nas margens e leito, além do fato que esse ponto é o mais próximo da jusante, recebendo toda a drenagem da bacia. A elevada carga suspensa indica contribuição de sedimentos provenientes do montante, demonstrando que o controle da erosão em um ponto não impede o aporte de materiais oriundos de outras áreas da bacia.

Esse comportamento pode ser explicado pelas condições hidrodinâmicas impostas pela canalização do curso d'água, que tende a aumentar a velocidade do escoamento e a reduzir a eficiência dos processos naturais de decantação. A ausência de irregularidades no leito e de obstáculos geomorfológicos limita a deposição de sedimentos, favorecendo o transporte contínuo de partículas em suspensão.

Adicionalmente, o rebaixamento e a inclinação da foz do rio Urutago, decorrentes da obra de contenção de cheias, podem intensificar a aceleração do fluxo e a geração de turbulência, sobretudo pelo atrito da água com as paredes da canalização. Estudos de modelagem numérica, como o desenvolvido por Dalpiaz (2014), demonstram que o aumento da inclinação do canal promove elevação da energia cinética do escoamento, formação de vórtices e intensificação das velocidades verticais, mecanismos que contribuem para a maior difusão das partículas e para a manutenção da carga sedimentar em suspensão por períodos mais prolongados. Isso também explica a redução no resultado de CST da segunda coleta feita no P4, o qual possui maior rugosidade de leito e inclinação inferior.

Nesse contexto, à medida que o escoamento se aproxima da foz, o ganho de energia associado à aceleração do fluxo e à turbulência gerada pelo confinamento do canal tende a dificultar a sedimentação, favorecendo a permanência dos sedimentos em suspensão mesmo em condições de baixa vazão. Assim, os resultados obtidos no P1 indicam que a configuração canalizada do trecho exerce papel determinante no controle da dinâmica sedimentar, reduzindo a dependência direta das condições pluviométricas para a ocorrência de elevadas concentrações de sedimentos em suspensão.

No P2 – Área Urbanizada, observou-se um acréscimo de 143% nos valores de carga suspensa entre as campanhas realizadas em período de estiagem e de cheia, resultado compatível com o aumento do escoamento superficial associado à elevada impermeabilização do entorno e à presença de Área de Preservação Permanente (APP) reduzida na seção. Essas condições favorecem o rápido aporte de sedimentos finos ao canal durante eventos chuvosos, intensificando a carga em suspensão.

Outro fator que pode ter contribuído para esse comportamento é o estrangulamento da seção, que promove a aceleração do fluxo e o aumento da energia hidráulica, criando condições favoráveis à mobilização e manutenção de partículas em suspensão, conforme discutido anteriormente. Além disso, por representar um trecho de transição entre o médio e o baixo curso do rio, o P2 concentra a contribuição hídrica e sedimentar proveniente das áreas a montante, configurando-se como um ponto de maior vazão relativa dentro da bacia.

A redução dos valores observada na terceira campanha, em relação à segunda, é compatível com a menor vazão registrada nesse período, o que implica diminuição da energia do escoamento e, conseqüentemente, menor capacidade de transporte de carga suspensa. Adicionalmente, a hipótese de esgotamento temporário da oferta de sedimentos nas áreas de montante pode ser considerada como fator complementar para explicar esse decréscimo, uma vez que parte do material facilmente mobilizável pode ter sido removida em eventos de precipitações mais intensas ocorridas anteriormente.

No P3 – Área Preservada em Meio Urbano, embora a APP apresenta cobertura vegetal em grande parte de sua extensão, os valores de Cst mostraram-se relativamente elevados em comparação às demais seções analisadas. O ponto apresentou o segundo maior valor na primeira campanha de campo, superando os pontos 2 e 4, e o maior valor na segunda campanha. Na terceira campanha, por sua vez, foi registrado o segundo menor valor de CST, evidenciando variabilidade temporal associada às condições hidrológicas do período.

Esse comportamento pode estar relacionado às características locais da seção transversal, como variações na largura do canal e na composição do leito, que apresenta textura

predominantemente mais fina e lamosa em relação aos demais pontos. A presença desses sedimentos sugere condições favoráveis à deposição local, associadas a velocidades de escoamento relativamente baixas, possibilitando o acúmulo temporário de material fino no leito. Esse material pode ser remobilizado durante eventos de maior energia, contribuindo para o aumento pontual dos valores de CST.

Adicionalmente, a ocorrência de espécies vegetais exóticas, como pinus e bambu, no entorno do ponto pode influenciar indiretamente a dinâmica hidrossedimentológica. Essas espécies tendem a alterar a estrutura do solo e a dinâmica da serapilheira, reduzindo a cobertura do sub-bosque e favorecendo o aumento do escoamento superficial (Barbosa; Fearnside, 2000; Ross; Thornes; Nortcliff, 1990 apud Stevaux e Latubresse, 2017; Ramos et al., 2019), o que pode intensificar o aporte de sedimentos finos ao canal, assoreamento ou até mesmo influenciando em margens instáveis passíveis de quedas de agregados.

Nesse contexto, o conjunto de evidências sugere a possibilidade de um processo de assoreamento local, condicionado pela combinação entre baixa energia hidráulica, características geométricas da seção e influência da cobertura vegetal. Contudo, essa interpretação deve ser considerada como hipótese, uma vez que a confirmação do assoreamento requer análises complementares, como avaliações morfométricas detalhadas, monitoramento temporal do leito ou estimativas diretas de taxas de sedimentação.

No P4 – Área Rural Preservada, o ambiente com cobertura de solo preservada, contribuiu para valores de CST relativamente baixos, confirmando a importância da vegetação na contenção de sedimentos. A cobertura natural reduz a energia das enxurradas e promove a infiltração, minimizando o transporte de partículas para o curso d'água. A amplitude entre os resultados da área urbana e rural é esperada e encontrada em outros estudos, como o caso da pesquisa feita por Dalla Villa (2011), que utilizou do mesmo método e discute ainda que essa diferença entre os dois tipos de paisagem está condicionada ao fato de que pontos urbanos tendem a apresentar quantidades maiores de matéria orgânica.

Esse comportamento também pode estar associado à presença de um barramento abaixo do ponto de coleta, que altera a dinâmica natural do escoamento e modifica o transporte e deposição de sedimentos (Fujimoto, 2005). Além disso, o ponto apresenta uma área de vazante ampla e não sinuosa, com carga de fundo cascalhenta, sugerindo que o fluxo mais próximo do fundo possui maior energia, o que favorece maior transporte sedimentar por rolamento do que através da suspensão.

Analisando a totalidade da bacia, não se deve descartar a influência antrópica nos resultados haja visto os padrões observados e a inserção espacial onde encontra-se. Os pontos

1 e 2 - pontos mais urbanizados e os pontos 3 e 4 - pontos mais distantes da cidade. O que sugere que áreas mais urbanizadas recebem mais influências das atividades antrópicas do que aquelas que ocorrem em áreas menos antropizadas.

A média obtida na análise da carga suspensa dos pontos amostrados na primeira campanha pode ser considerada baixa quando comparada aos resultados de outros estudos realizados em bacias hidrográficas com características de tamanho e uso de solo semelhantes. Um exemplo relevante é o estudo de Ilha et al. (2015), que realizou 12 campanhas de monitoramento na bacia do rio José Barin (10,06 km²), localizada no Rio Grande do Sul. Nas duas primeiras campanhas, as concentrações de carga suspensa foram inferiores a 5 mg/L, valor abaixo da média observada na bacia do rio Urutago. No entanto, nas dez campanhas subsequentes, os valores superaram os 20 mg/L, com destaque para picos próximos a 100 mg/L, como registrado na décima campanha. Disparo esse relacionado a épocas de maior pluviosidade. O mesmo padrão observado no Rio Urutago nas campanhas 2 e 3.

De forma sintética, as vazões registradas nos três pontos evidenciam forte variabilidade temporal e espacial do escoamento, controlada principalmente pela interação entre área da seção, velocidade média e condições hidrológicas antecedentes, sobretudo a precipitação. O Ponto 2 apresentou as maiores vazões, com aumento expressivo na segunda campanha, refletindo maior eficiência hidráulica sob condições de maior aporte hídrico. O Ponto 3 manteve os menores valores ao longo das campanhas, caracterizando um trecho de baixa energia e reduzida capacidade de escoamento, compatível com sua posição em relação a bacia (afluente de baixa ordem hierárquica entre o médio e alto curso da bacia). Já o Ponto 4 apresentou comportamento intermediário, com elevação da vazão na segunda campanha associada à maior largura do canal e à influência da confluência de cursos d'água, além de efeitos locais de represamento. Em conjunto, os resultados indicam um gradiente longitudinal de aumento de vazão dos Ponto 3 e 4 em direção ao Ponto 2, modulando-se por controles morfométricos, conectividade hidrológica e condições hidrodinâmicas específicas de cada trecho.

Por trás dos resultados obtidos, evidencia-se uma problemática de ordem estrutural que merece atenção. As alterações nos dispositivos legais que regulamentam as Áreas de Preservação Permanente (APPs) no Brasil têm gerado ambiguidades interpretativas, fragilização da proteção ambiental e impactos socioambientais significativos, sobretudo em áreas naturalmente vulneráveis. Os resultados desta pesquisa indicam que trechos com APPs reduzidas apresentam maiores variações nos valores de CST durante períodos chuvosos e entre safras, quando comparados às áreas efetivamente preservadas, o que sugere maior atuação de processos erosivos na bacia hidrográfica.

A regulamentação das chamadas áreas rurais consolidadas em APPs foi instituída pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), que passou a permitir a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas desmatadas até 22 de julho de 2008, condicionando a recomposição vegetal a faixas reduzidas, definidas conforme o tamanho da propriedade rural (art. 61-A). Embora esse dispositivo tenha sido concebido com o objetivo de regularizar passivos ambientais preexistentes, na prática ele não garante a proteção integral dessas áreas, resultando na diminuição da largura efetiva das APPs e, conseqüentemente, na redução de sua função ambiental.

Adicionalmente, a efetivação do Programa de Regularização Ambiental (PRA), previsto nos artigos 59 e 60 da Lei nº 12.651/2012, ainda se apresenta como um desafio. Passados mais de dez anos da promulgação do novo Código Florestal, a implementação do PRA permanece limitada em diversos estados, uma vez que sua execução depende da análise e homologação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) pelos órgãos ambientais competentes. De acordo com informação noticiada pelo G1, em 2024, “apenas 3,3% das análises do Cadastro Ambiental Rural (CAR) foram concluídas desde a implementação da lei, em 2012, aponta relatório do Climate Policy Initiative (CPI), da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), obtido com exclusividade pelo G1.”. A baixa taxa de cadastros analisados compromete o início dos processos de recuperação ambiental, postergando a recomposição das APPs degradadas e mantendo a vulnerabilidade dos sistemas naturais.

Ainda nesse contexto, o art. 61-A, inciso IV, da Lei nº 12.651/2012 estabelece a possibilidade de “plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recomposta”, aplicável aos imóveis a que se refere o inciso V do caput do art. 3º, ou seja, às pequenas propriedades rurais. Tal dispositivo autoriza a recomposição das APPs com espécies que, em muitos casos, não são adequadas à manutenção plena das funções ecossistêmicas, sobretudo quando se trata de áreas que já sofreram redução legal de sua faixa de proteção.

Dessa forma, a flexibilização permitida pelo Código Florestal pode comprometer a efetividade da recuperação ambiental, uma vez que a introdução de espécies exóticas em áreas legalmente protegidas tende a alterar a dinâmica ecológica, a estrutura da vegetação e os processos hidrogeomorfológicos, enfraquecendo o papel das APPs na proteção dos recursos hídricos e na estabilidade ambiental.

No contexto urbano, a situação revela-se igualmente preocupante. A legislação vigente permite que os municípios regulamentem as Áreas de Preservação Permanente (APPs) urbanas com base em diagnósticos socioambientais locais (art. 4º, §10º, da Lei nº 12.651/2012),

possibilitando a flexibilização das faixas de proteção. Embora o dispositivo legal estabeleça, entre outros critérios, a observância das diretrizes dos planos de recursos hídricos, de bacia, de drenagem ou de saneamento básico, quando existentes (art. 4º, inciso II, incluído pela Lei nº 14.285/2021), tal exigência se mostra, na prática, condicionada à existência desses instrumentos, não se configurando como requisito obrigatório em muitos municípios.

Ademais, o art. 4º, inciso III, da referida lei, também incluído pela Lei nº 14.285/2021, prevê que as atividades ou empreendimento a serem instalados em APPs urbanas devem se enquadrar nos casos de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental. No entanto, a ampla abrangência conceitual dessas categorias permite interpretações flexíveis, o que frequentemente resulta na autorização de usos diversos em áreas ambientalmente sensíveis. Associada à fragilidade metodológica de parte dos estudos ambientais que embasam os diagnósticos socioambientais locais, essa condição contribui para reduções injustificadas das APPs urbanas e para o comprometimento de suas funções ecológicas e hidrogeomorfológicas.

Dessa forma, observa-se um cenário de fragilização generalizada das APPs, tanto em áreas rurais — onde as faixas de proteção são reduzidas conforme o tamanho da propriedade — quanto em áreas urbanas, nas quais a legislação municipal pode flexibilizar os limites legalmente estabelecidos. Essa conjuntura contribui para o aumento dos processos erosivos, da instabilidade do sistema fluvial e da degradação ambiental, conforme evidenciado pelos resultados hidrogeomorfológicos desta pesquisa.

7. CONCLUSÃO

Considerando a problemática relacionada à redução das Áreas de Preservação Permanente em decorrência da expansão urbana e das alterações introduzidas pelo atual Código Florestal, os resultados desta dissertação atendem de forma integrada aos objetivos propostos, permitindo compreender as respostas hidrogeomorfológica da microbacia do rio Urutago frente às transformações antrópicas e ao arcabouço legal vigente.

Em relação ao primeiro objetivo específico, que consistiu em determinar a carga de sedimentos em suspensão do rio Urutago, os dados obtidos evidenciaram padrões espaciais e temporais distintos entre os pontos monitorados e entre as campanhas realizadas. Nos pontos 1 e 2, observou-se aumento da carga de sedimentos em suspensão (CST) entre as campanhas 1 e 2, redução entre as campanhas 2 e 3 e novo aumento na comparação entre as campanhas 1 e 3. Já nos pontos 3 e 4, verificou-se comportamento semelhante nas comparações entre as campanhas 1-2 e 2-3, porém com redução da CST quando comparadas as campanhas 1 e 3. Esses resultados indicam que a carga suspensa responde de maneira sensível às condições locais de energia do escoamento, disponibilidade sedimentar e uso e cobertura do solo.

O segundo objetivo, voltado à análise hidrogeomorfológica de pontos selecionados e sua relação com os parâmetros morfométricos da bacia, permitiu compreender como as características naturais do sistema condicionam, mas não determinam isoladamente, o comportamento hidrogeomorfológico. Sob a ótica morfométrica, da bacia do rio Urutago apresenta forma alongada, maior tempo de concentração e rede de drenagem relativamente estável, indicando baixa predisposição natural a enchentes rápidas. No entanto, as análises demonstraram que essa condição potencial é significativamente alterada pelas intervenções antrópicas acumuladas ao longo do sistema fluvial. O aprofundamento do leito, a retificação e a canalização de trechos do rio modificaram a energia da vazão e conseqüentemente, da carga suspensa ao longo do perfil longitudinal.

Ainda nesse contexto, o comportamento observado nos pontos 3 e 4 pode ser explicado pelo possível esgotamento temporário de sedimentos associado à menor energia hidráulica, uma vez que ambos se localizam em áreas mais elevadas da bacia e apresentam maior cobertura vegetal. Esses fatores contribuem para maior estabilidade morfodinâmica e menor variabilidade da carga suspensa, ainda que sujeitos a processos pontuais de deposição.

Por fim, o terceiro objetivo, que buscou relacionar os dados de carga suspensa e as análises morfométricas com as alterações nas APPs à luz do Código Florestal vigente, evidenciou que a flexibilização das faixas de proteção exerce papel central na intensificação dos impactos hidrogeomorfológicos. As evidências de campo e os resultados analíticos indicam

que a redução das APPs, associada à impermeabilização das vertentes e ao uso intensivo do solo, modifica a hidrodinâmica fluvial, intensificando a velocidade do escoamento, o transporte de sedimentos e a instabilidade morfodinâmica, especialmente nos trechos urbanizados representados pelos pontos 1 e 2.

Em contraste, os pontos 3 e 4, inseridos em áreas mais preservadas, reforçam o papel fundamental da cobertura vegetal, da rugosidade do leito e da manutenção das APPs na regulação dos fluxos hídricos e sedimentares, funcionando como elementos de amortecimento hidrológico e de controle da erosão.

De forma integrada, conclui-se que a dinâmica atual do rio Urutago resulta da interação entre suas características geomorfológicas originais e as transformações antrópicas condicionadas, em parte, pelo arcabouço legal que flexibiliza a proteção das APPs tanto em áreas rurais quanto urbanas. A fragilização dessas faixas de proteção contribui para o aumento dos processos erosivos, da instabilidade fluvial e da vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos, indicando que a recuperação e a efetiva proteção das APPs constituem elementos centrais para a restauração do equilíbrio da bacia.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS (AEN), Disponível em <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Com-tunel-finalizado-obras-em-canal-de-contencao-de-cheias-de-Francisco-Beltrao-chegam-50>> acesso em 01 de agosto de 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), Definição de Bacias Hidrográficas, Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica#:~:text=Bacia%20hidrogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20um%20territ%C3%B3rio,ponto%20mais%20baixo%20da%20regi%C3%A3o.>> acesso em 04 de junho de 2024.
- ALBUQUERQUE, L. B., ALONSO, A. M., AQUINO, F. G., REATTO, A., SOUSA-SILVA, J. C., LIMA, J. E. F. W., SOUSA, A. C. S. A., SOUSA, E. S. *Restauração Ecológica De Matas Ripárias: Uma Questão De Sustentabilidade*. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, p. 31-33, 2010.
- ALMEIDA, F. F. M. De. O planalto basáltico da bacia do Paraná. **Boletim Paulista de Geografia**, [S. l.], v. 24, p. 3–34, 1956.
- ALVES, Ana Karina da Silva; GONÇALVES, Ruth Maria de Paula; COSTA, Frederico Jorge Ferreira. **Trabalho e ser social: uma reflexão ontológica do trabalho na relação homem x natureza**. Revista LABOR, Fortaleza, v. 1, n. 12, p. 78-87, 2014.
- ALVEZ, T.L.B; LIMA, V.L.C; FARIAS, A.A. **Impactos Ambientais no Rio Paraíba na Área Do Município de Caraúbas –PB: Região Contemplada Pela Integração com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 13, n. 43 out/2012 p. 160–173. Disponível em:< <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/16758/10524>> . Acessado em: Julho de 2021.
- ANSCHAU, Ângelo Rohr; RECKZIEGEL, Tatiana; SILVEIRA, Franco da; MACHADO, Filipe Molinar; AMARAL, Fernando Gonçalves. **Avaliação da expansão urbana e seu impacto na dinâmica de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim de Santo Ângelo – RS**. Engevista, Niterói, v. 20, n. 5, p. 772–791, dez. 2018.
- AQUINO, Fabiana de Góis; ALBUQUERQUE, Lidiamar Barbosa; ALONSO, Araci Molnar; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; SOUSA, Evie dos Santos de. *Cerrado: restauração de matas de galeria e ciliares*. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 40 p. ISBN 978-85-7035-003-4.
- ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; MORAES NETO, J. M.; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. L. R. **Bacias hidrográficas e impactos ambientais**. Qualitas, v. 8, n. 1, p. 1–18, 2009. DOI: <https://doi.org/10.18391/qualitas.v8i1>
- ARAÚJO, R., SILVA, A. C., GUIMARÃES, R. B. (2009) **Observatório de Geografia, 1 ED. – SP: Moderna**. Disponível em:

<<https://professormarcianodantas.blogspot.com/2015/01/regiao-hidrografica-do-parana.html>> acesso em 08 de agosto de 2024.

BANCO DE DADOS PROPRIEDADES CAR, disponível em <<https://www.car.gov.br/#/>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

BARBOSA, L. M.; BARBOSA, J. M.; BARBOSA, K. C.; POTOMATI, A.; MARTINS, S. E., ASPERTI, L. M.; MELO, A. C. G.; CARRASCO, P. G.; CASTANHEIRA, S. A.; PILIACKAS, J. M.; CONTIERI, W. A.; MATTIOLI, D. S.; GUEDES, D. C.; SANTOS JÚNIOR, N. A.; SILVA, P. M. S.; PLAZA, A. P. Recuperação florestal com espécies nativas no Estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. *Floresta Estatístico*, v. 6, p. 28-34, 2003.

BILUCA, J., AGUIAR, C. R., (2017). **Mapeamento De Áreas Susceptíveis A Erosão Na Bacia Hidrográfica No Rio Urutago, Francisco Beltrão – Pr: Encontro Internacional de Produção Científica.** Disponível em <http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/1239/1/epcc--80290.pdf>. Acesso em 21 junº 2021.

BISHOP, P. **Stability or change: a review of ideas on ancient drainage in eastern New South Wales.** *Australian Geographer*, v. 15, p: 219-230. 1982.

BLUM, Christopher Thomas; RODERJAN, Carlos Velloso; GALVÃO, Franklin. O clima e sua influência na distribuição da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná. *Floresta*, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 589-600, jul./set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v41i3.24052>.

BLUM, Christopher T.; RODERJAN, Carlos V. **Gradientes altitudinais e a composição florística de floresta ombrófila mista no sul do Brasil.** *Revista Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 103–115, jan./mar. 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/720>. Acesso em: 17 jul. 2025.

BRASIL. **Decreto Nº 23.793/1934. Código Florestal.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm>. Acesso em 11 de setembro de 2021.

BRASIL. Lei 4.771/1965. **Código Florestal.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm> Acesso em 11 de setembro de 2021.

BRASIL. Lei 7.803/1989. **Código Florestal.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7803.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%207.803%2C%20DE%2018,Art.> Acesso em 11 de setembro de 2021.

BRASIL. Lei 12.651/2012. **Código Florestal.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. > Acesso em 11 de setembro de 2021.

- BRASIL.** Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** Agudo: folha SH.22-VCV. Estado do Rio Grande do Sul. Brasília: MME, 2007.
- BRIERLEY, G.J.; HICKIN, E.J. Channel planform as a non-controlling factor in fluvial sedimentology: the case of the Squamish River floodplain, British Columbia. *Sedimentology Geology*, n. 75, p. 67-83, 1991.
- CANDIOTTO, L. Z. P. Natureza, ambiente e espaço geográfico: reflexões iniciais. Material não publicado, 2021.
- CARDOSO, C. A., DIAS, H. C. T., SOARES, C. P. B., & MARTINS, S. V., (2006). **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ.** *Revista Árvore*, 30(2), 241–248. doi:10.1590/s0100-67622006000200011
- CARVALHO, Newton de Oliveira; MENDES, Anderson Braga. Proteção e controle de sedimentos em reservatórios de barragens devido ao assoreamento. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13., 2018, Vitória. **Anais [...].** Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.
- CHEMEKOV, Y. F. Technogenic deposits. In: INQUA Congress, 11, 1983, Moscou. Abstracts... Moscou: INQUA, v. 3, 1983, p. 62
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1980
- CHRISTOPHERSON, Robert; BIRKELAND, Ginger H. **Geossistemas.** 9ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2017. *E-book.* pág.540. Cap. 4. p. 526-620. ISBN 9788582604441. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582604441/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- CORREIA et al., REGNE, Vol. 5, Nº 2 (2019) **Mata Ciliar, Conservação E Sustentabilidade. Fundamentos De Sua Importância Para O Semiárido Paraibano: Estudo De Caso No Alto Curso Do Rio Paraíba.**
- CORDEIRO, G. G., GUEDES, N. M., KISAKA, T. B., & NARDOTO, G. B. (2016). **Avaliação rápida da integridade ecológica em riachos urbanos na bacia do rio Corumbá no Centro-Oeste do Brasil.**
- GLOBO.COM. *Em 12 anos, apenas 3% das análises do Cadastro Ambiental Rural foram concluídas, apontam dados obtidos com exclusividade pelo G1.* G1, 05 dez. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2024/12/05/em-12-anos-apenas-3percent-das-analises-do-cadastro-ambiental-rural-foram-concluidas-apontam-dados-obtidos-com-exclusividade-pelo-g1.ghtml>. Acesso em: 17 de Janeiro de 2026.
- GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Barros da. **Geomorfologia do Brasil 2.** ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 392p.

GRANELL-PEREZ, M. D. C. *Trabalhando geografia com as cartas topográficas*. Editora Unijuí: Ijuí, 2004.

DALPIAZ, Diego. *Simulação numérica de transporte e depósito de sedimentos em suspensão em canal inclinado*. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DEGRANDE, E. J. S.; FIRMINO, G. V. Análise morfométrica e do uso da terra da bacia hidrográfica do córrego da onça, Presidente Prudente-SP. *Revista Geonorte*, v. 11, n. 38, p. 125-145, 2020. (ISSN 2237-1419)
<https://doi.org/10.21170/geonorte.2020.V.11.N.38.125.145>

DIAS, René Lepiani; FILHO, Archimedes Perez. **Geocronologia de terraços fluviais na bacia hidrográfica do rio Corumbataí-SP a partir de luminescência opticamente estimulada (LOE)**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16, n. 2, p. 327–340, 2015.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. (1978). *Water in Environmental Planning*. San Francisco: W. H. Freeman.

EMBRAPA, (2006; 2007). **Mapa de solos do Paraná – Documentos (96)**. Mapa PR-600 disponível em
<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79306/1/PR-600.pdf>>

ENGELBRECHT, Bruno Zanon; GONÇALVES, Roger Dias; TERAMOTO, Elias Hideo; CHANG, Hung Kiang. **Disponibilidade hídrica e balanço hídrico da bacia do rio Cachoeira na região de Itabuna/BA**. *Revista Geociências*, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 661-671, 2014.

FARIAS, A. D., (2019). **Inundações Urbanas Em Francisco Beltrão/Pr: Riscos E Vulnerabilidades Socioambientais**. Disponível em Sistema de Bibliotecas/UFPR, Biblioteca de Ciências Agrárias Fernando Moreira - CRB9/1665 acesso em 09 de setembro de 2021.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FLÁVIO, L. C., (2011). **Memória(s) e território: elementos para o entendimento da constituição de Francisco Beltrão-PR**. Tese de doutorado. Pág. 62

FLORENZANO, Teresa G. *Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais*. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2008 E-book. pág.8. ISBN 9788579752056. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788579752056/>. Acesso em: 07 out. 2025.

FRANCISCO BELTRÃO _ Disponível em

<<https://www.franciscobeltrao.pr.gov.br/index.php?s=bacias+hidrograficas>>. Acesso em 19 de jun de 2021.

FRANCISCO BELTRÃO (PR). Plano Diretor Municipal de Francisco Beltrão – 2017: revisão – O macrozoneamento e zoneamento urbano. Francisco Beltrão: Secretaria Municipal de Planejamento / IPPUB, 2017. Disponível em: <https://franciscobeltrao.pr.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/PDM-2017-V2-22-ZONEAMENTO-Final-1.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2026.

FREITAS, R. O. de. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. Boletim Paulista de Geografia. São Paulo, v.11, p. 53-57, 1952.

FUJIMOTO, N. S. V. M., **Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana**. *Revista do Departamento de Geografia*, 16 (2005) 76-80. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43578>. Acesso em 11 de agosto de 2025.

GOMES, T. C., (2021). **Avaliação Da Evolução Do Uso Da Terra Nas Microbacias Dos Rios Lonqueador, Jacaré E Alto Curso Do Rio Cotegipe, Município De Francisco Beltrão/Pr (1985-2020)**. Cáp. 4 – A IMPORTÂNCIA DO CÓDIGO FLORESTAL NO DIRECIONAMENTO DE OCUPAÇÃO DA TERRA EM ESTABELECIMENTOS RURAIS: DA TEORIA Á PRÁTICA.

GONÇALVES, F. A. **Validação do Modelo WEPP na Predição de Erosão Hídrica para Condição Edafoclimática da Região de Viçosa-MG**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. **Para entender a Terra**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2023. 784p.

HACK, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 1(4), 421–429.

Hare, PW e Gardner, TW (1985) **Indicadores geomorfológicos de neotectonismo vertical ao longo de margens de placas convergentes, Península de Nicoya, Costa Rica**. In: Morisawa, M. e Hack, JT, Editores, Geomorfologia Tectônica. Anais do 15º Simpósio Anual de Geomorfologia de Binghamton, Allen e Unwin, Boston, 123-134.

HORTON, R. E. (1933). *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Transactions, American Geophysical Union, 14, 446–460.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of The Geological Society of America*, v. 56, p. 275-370, 1945.

IDRPR, Atlas Climático do Paraná (2009) Disponível em

<<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>> acessado em 03 de junho de 2024.

- ILHA, Róbson; PAIVA, João Batista Dias de; SCHIMITT FILHO, Osmar; CABRAL, Helenésio Borges; SCHUCK, Aline; WILHELM, João Pedro Roos. **Caracterização da carga suspensa fluvial em um ambiente urbano – estudo de caso.** In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 21., 2015, Brasília. Anais [...]. Brasília: ABRH, 2015. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP019832.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). (2020). *Geologia do Paraná - História Evolutiva*. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br>. Acesso em: 01 abr. 2020.
- INSTITUTO DE ÁGUA E TERRA (IAT), Recorte de afluentes do Baixo Iguaçu, disponível em <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Comite-da-Bacia-dos-Afluentes-do-Baixo-Iguacu>> acesso em 03 de junho 2024.
- INSTITUTO DE ÁGUA E TERRA (IAT), Mapa Temático de Geomorfologia_ Carta nº SG22- Y_ A, Unidade 2,4,15. Disponível em <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematico>> acesso em 01 de agosto de 2024.
- INSTITUTO DE ÁGUA E TERRA (IAT), Geodados para a elaboração de Mapa Temático de Geologia_ Disponível em <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematico>> acesso em 01 de agosto de 2024.
- INSTITUTO DE ÁGUA E TERRA (IAT), MAPA CLIMA - ESTADO DO PARANÁ https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_climas_a3.pdf. Elaborado pelo Instituto de Terra, Cartografia Geociências (ITCG) com fonte de dados do SIMEPAR, 2008.
- JORNAL DE BELTRÃO. Sutilezas do Diário de Miguel Fankhauser, 2019. Disponível em<<https://jornaldebeltrao.com.br/geral-arquivo/sutilezas-do-diario-de-miguel-fankhauser>> Acesso em 11 de dezembro de 2024.
- Nicolau, R., Kawakubo, F., Polo, M., & Mincato, R. (2018). IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS DO NOVO CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO. *Jornal do Brasil e desenvolvimento de ciências (Online)*, (48), 38-51. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180326> _acesso em 05 de junº de 2021.
- KUNTSCHIK, D. P., EDUARTE, M., UEHARA, T. H. K., (2011). **MATAS CILIARES**, Governo Do Estado De São Paulo Secretaria Do Meio Ambiente
- COORDENADORIA DE BIODIVERSIDADE E RECURSOS NATURAIS.
KNIGHTON, D. Fluvial forms & processes. **A new perspective**. London: Arnold, 1998.
- LANE, E. W. *The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, v. 81, n. 745, p. 1–17, 1955.
- LELI, Isabel Terezinha; STEVAUX, José Cândido; NÓBREGA, Maria Teresa da. **Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte.** *Boletim de Geografia*, Maringá, v. 28, n. 1, p. 43-58, 2010.

LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G., & MILLER, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.

LOLLO, J. A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: José Olympio, 1968.

MAACK, R. Mapa fitogeográfico do Estado do Paraná. Curitiba: IBPT-SAIC/INP. **Um mapa 115 x 80 cm**. 1:750.000. 1950.

MACHADO, Alexandre Ricardo; **SALEME**, Edson Ricardo. Cadastro Ambiental Rural, Sustentabilidade e o Programa de Regularização Ambiental. *Revista de Direito e Sustentabilidade*. Maranhão, v. 3, n.2, p.125-140. Jul/dez. **2017**.

Marcuzzo, F. F. N., e Pinto, E. J. A., (2023). Tempo de retorno das vazões de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação do SACE em Uruguaiana/RS. In Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (19 a 24 de novembro de 2023, Centro de Convenções AM Malls, Sergipe). Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ISSN: 2318-0358. Disponível em: <http://www.abrhidro.org.br/xxvsbrh> .

MARTINI, L. C. P.; TRENTINI, E. C. Agricultura em zonas ripárias do sul do Brasil: conflitos de uso da terra e impactos nos recursos hídricos. *Sociedade e Estado*, v. 26, n.3, p. 613-630, 2011.

MACHADO, Alexandre Ricardo; SALEME, Edson Ricardo. Cadastro ambiental rural, sustentabilidade e o programa de regularização ambiental. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, Florianópolis, v. 3, n. 2, p. 125–140, jul./dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9687/2017.v3i2.2595>.

MIALL, A. D. A review of the braided-rivers depositional environment. *Earth Sciences Review*; 1977, v. 13, pp. 1-62. MIALL, A. D. *Fluvial Sedimentology*. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, 1978. pp.187- 193.

MIALL, A. D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary, in: MIALL, A. D. (ed.). *Fluvial Sedimentology*. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, 1978, p. 597-604.

MORGAN, R.P.C. (2005). **"Soil Erosion and Conservation" (3rd ed.)**. Blackwell Publishing.

MÜLLER, R.D.; ROYER, J.; LAWVER, L.A. Revised plate motions relative to the hotspots from combined Atlantic and Indian Ocean hotspots tracks. *Geology*, n. 191, p. 27-53, 1993.

OLIVEIRA, Ederson Dias de; VESTENA, Leandro Redin. Expansão urbana e a canalização de trechos fluviais: estudo de caso da cidade de Guarapuava, PR. *Revista Perspectiva*

Geográfica, v. 11, n. 13, p. 54-74, 2017. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica>. Acesso em: 11 ago. 2025.

RIGO, A. SORDI, M. V., CANDIOTTO, L. Z. P. (no prelo). **Diagnóstico das áreas de preservação permanente microbacia hidrográfica do rio Urutago, município de Francisco Beltrão-PR**. Submetido em 10 de dezembro de 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; DEL PRETTE, Marcos Estevan. **Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 12, p. 89–121, 1998.

SANTOS, Gilberto Friedenreich dos; PINHEIRO, Adilson. **Transformações geomorfológicas e fluviais decorrentes da canalização do rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar (SC)**. *Revista Brasileira de Geografia*, Blumenau, jul. 2002.

SANTOS, Leonardo José Cordeiro et al. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 2, p. 3-12, 2006Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.74>. Acesso em: 27 ago. 2025.

SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. 2. ed. rev. ampl. São Carlos, SP: RiMa, 2007. 153 p. ISBN 9788576560999.

SILVA, M. S. da et al. **Comparison of sediment rating curves and sediment yield in subbasins of the Itacaiúnas River Watershed, Eastern Amazon**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 26, e18, 2021. DOI:10.1590/2318-0331.2621202100009

SILVA, G. C. et al. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 15 n. 28; p. 244, 2018. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B22

SILVEIRA, A. L.L (2012) – CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA, 2º Capítulo. Livro: **Hidrologia - Ciência e Aplicação 4 Ed** - TUCCI, C. E. M. - <https://pt.scribd.com/document/520179125/Hidrologia-Ciencia-e-Aplicacao-4%C2%AA-Ed-Tucci>

SOCIEDADE E ESTADO - VOLUME 26 NÚMERO 3 SETEMBRO/DEZEMBRO 2011.

SORDI, Michael Vinicius de; SALGADO, André Augusto Rodrigues; PAISANI, Julio Cesar; PAGOTTO, Dayane. **Controle litoestrutural no desenvolvimento de vales na área do rebordo da Bacia do Paraná no estado de Santa Catarina, sul do Brasil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, nº 4 (2017) <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1189>

STRAHLER, A. N., (1952), Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. America Bulletin*.

- Schumm, S. (1956) **Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badland at Perth Amboy**, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, 597-646.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- TELLES, T. S. (2015). **Conservação dos solos e preços de terras agrícolas no Brasil**.
TEIXEIRA, L. F. da C. et al. M. **Gestão ambiental de bacias hidrográficas: aplicação de geoprocessamento como contribuição para a análise morfométrica de uma sub-bacia do Rio Jaguaribe**, Ceará. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL FORTALEZA/CE - 04 a 07/11/2019
- PASSOS DE FREITAS, Vladimir; MOROMIZATO YOSHIDA, Consulo Yatsuda; SILVA JUNIOR, Genésio Alves da., **Medidas legais protetivas de bacias hidrográficas e seus reflexos na preservação ambiental dos recursos hídricos**, (2002). 673638AS
- PASQUATTO, M. C., & TOMAZONI, J. C. (2016). **Estudo do Processo Erosivo Laminar na Bacia de Captação do Rio Barro Preto, em Coronel Vivida-PR** (Study of Laminar Erosion in the Basin River Catchment Barro Preto, in Coronel Vivida-PR). *Revista Brasileira De Geografia Física*, 9(2), 555–570.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p555-570>
- RAMOS, M. et al. Dispersão e impacto de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* em área ripária na Floresta Nacional de Capão Bonito - SP. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 19-32, jan./mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509825789>.
- RODERJAN, C. V. GALVÃO, F., KUNIYOSHI, Y. S., HATSCHBACH, G. G., (2002) **AS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL**.
- ROSS, Jurandyr Luciano S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9ª edição. São Paulo: Editora Contexto, 1990. *E-book*. Cáp. 4. p. 31-53. ISBN 9788585134822. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788585134822/>. Acesso em: 29 nov. 2024.
- SANTOS JUNIOR, V. J., SANTOS, C. O., (2013). **A EVOLUÇÃO DA URBANIZAÇÃO E OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**. Disponível em <Estação Científica (UNIFAP) <http://periodicos.unifap.br/index.php/estacao> ISSN 2179-1902 Macapá, v.3 n. 1, p. 19-30, jan.-jun. 2013>. SILVA, A. M., SHULZ, H. E., CAMARGO, P. B., (2007), Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.
- SANTOS, Juliano Boeck; PEZZONI FILHO, José Carlos; DANTAS, Maria Jorgiana Ferreira; ZIMBACK, Célia Regina Lopes; LESSA, Luís Gustavo Frediani. **Avaliação da adequação da ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente (APPs)**. *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 333-344 (2014).
- SILVA, M. S.; CAVALCANTE, R. L.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SILVA JÚNIOR, R. O.; PONTES, P. R.; DALLAGNOL, R.; ROCHA, E. J. P. **Comparação da curva-chave de sedimentos e produção de sedimentos em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas, Amazônia Oriental**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 26, e18, 2021.

- SOUZA, A. P. S. de; OLIVEIRA, R. V. (2024). **Conflitos de uso e ocupação das terras em áreas de preservação permanente no município de São Félix, BA.**
- STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions, American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.
- TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, Maria Cristina Motta de; TAIOLI, Fábio (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- TOMASELLA, Javier; ROSSATO, Luciana. Balanço hídrico. São José dos Campos: INPE, 2005. (Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas, INPE-13140-PRE/8399).
- TOPPING, David J.; RUBIN, David M.; VIERRA JR., L. E. **Natural sediment supply limitation and the influence of Glen Canyon Dam.** *Water Resources Research*, v. 36, n. 2, p. 515–542, 2000.
- TUCCI, C. E., HESPANHOL, I., NETTO, O. M. C., (2001) **Gestão da Água no Brasil.**
- Tucci, Carlos E. M. (2005). *Gestão de Águas Pluviais Urbanas/ Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco 2005.*
- VARGAS, Fábio Alves. **Análise Crítica dos potenciais impactos ambientais derivados das alterações do código florestal brasileiro em 2012** (2018). p.49.
- VESTENA, Leandro Redin. Análise da dinâmica hidrossedimentológica em uma bacia hidrográfica no sul do Brasil. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 525–538, set./dez. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/FtvPs3WyNmSSFRYswWZJS4x/?lang=pt>. Acesso em: 4 mar. 2026.
- VIEIRA, I. C. B., (2019). Mapeamento da Área de Preservação Permanente na Margem Norte do Rio Itajaí-Açu em Área Urbana Consolidada.
- VILLA, Maria Estela Casale Dalla. Avaliação da carga suspensa total (CST) e de metais na bacia do córrego Pinhalzinho II no município de Umuarama – PR. *Geografia: Ensino & Pesquisa*, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 65–74, maio/ago. 2011. ISSN 2236-4994.
- VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.
- VOGEL, H. F., ZAWADZKI, C. H., METRI, R., (2009). **Florestas Ripárias: Importância E Principais Ameaças:** Disponível em https://www.researchgate.net/publication/278006474_FLORESTAS_RIPARIAS_IMPORTANCIA_E_PRINCIPAIS_AMEACAShttps://www.researchgate.net/publication/278006474_FLORESTAS_RIPARIAS_IMPORTANCIA_E_PRINCIPAIS_AMEACA. Acesso em 21 agos, 2021.
- Walling, D. E., & Webb, B. W.** (1987). *Suspended sediment fluxes in river basins: a global perspective.* In Walling, D. E., & Webb, B. W. (Eds.), *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins* (pp. 53-69). IAHS Publication.

WISCHMEIER, W.H., & SMITH, D.D. (1978). **"Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning."** USDA Agriculture Handbook No. 537. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture.

W, HARE P; GARDNER, I. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: M, Morisawa; T, Hack J (Ed.). *Tectonic Geomorphology: 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp.* Binghamton: Proceedings, 1984. p. 390