



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Campus Regional Montes Claros
Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais



BRUNO LAMOUNIER MALAQUIAS CAMPOS

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS APLICADAS AO
PLANEJAMENTO TERRITORIAL.**

Montes Claros
2025

Bruno Lamounier Malaquias Campos

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS APLICADAS AO
PLANEJAMENTO TERRITORIAL.**

Monografia de Especialização apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Flávia Mazzer Rodrigues

Montes Claros
2025

Campos, Bruno Lamounier Malaquias.

C198a Análise morfométrica e caracterização ambiental de bacias hidrográficas aplicadas
2025 ao planejamento territorial [manuscrito]/ Bruno Lamounier Malaquias Campos.
Montes Claros, 2025.
71 f.

Monografia (especialização) - Área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientadora: Flávia Mazzer Rodrigues da Silva.

Banca examinadora: Flávia Mazzer Rodrigues da Silva, Flávio Pimenta de Figueiredo, Lucas Emanuel Servidoni.

Inclui referências: f. 64-71

1. Geoprocessamento -- Teses. 2. Recursos hídricos -- Desenvolvimento -- Teses. 3. Dimensões -- Teses. 4. Política ambiental -- Teses. I. Silva, Flávia Mazzer Rodrigues da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 556.1

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE MORFOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
APLICADAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL

BRUNO LAMOUNIER MALAQUIAS CAMPOS

Trabalho Final de Curso de Especialização (TFCE) submetido à Comissão de Avaliação designada pela Comissão de Coordenação do curso de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

TFCE aprovado no dia vinte e cinco de março de 2025 pela comissão de avaliação constituída pelos membros:

Flávia Mazzer Rodrigues da Silva
Orientadora - ICA/UFMG

Flávio Pimenta de Figueiredo
Avaliador - ICA/UFMG

Lucas Emanuel Servidoni
Avaliador - Externo

Montes Claros, data da assinatura eletrônica.

Dalton Rocha Pereira
Coordenador de Pós-graduação *Lato Sensu*



Documento assinado eletronicamente por **Dalton Rocha Pereira, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 28/07/2025, às 09:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4413568** e o código CRC **808C077C**.

Dedico este trabalho àqueles que de forma direta ou indireta contribuem para a preservação, uso sustentável e/ou recuperação dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

São várias as pessoas que de alguma forma acompanharam a minha trajetória na elaboração deste trabalho.

Agradeço a Deus o dom da Vida, proporcionando assim a oportunidade deste presente momento. A minha esposa Amanda, por compreender as minhas ausências nos momentos de dedicação ao desenvolvimento deste trabalho e me incentivar a todo momento para a conclusão. Aos meus pais, irmãos e afilhados, que deram apoio e entenderam as minhas ausências de momentos em família para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço à minha orientadora Flávia Mazzer que aceitou o desafio de me acompanhar nesse desenvolvimento, me proporcionando uma evolução intelectual com seus ensinamentos e profissional ao expandir meu conhecimento nessa área, que a cada dia se torna essencial para o desenvolvimento das minhas atividades profissionais.

“Crê em ti mesmo, age e verás os resultados. Quando te esforças, a vida também se esforça para te ajudar.”

(Chico Xavier).

RESUMO

O crescimento urbano em distintas cidades brasileiras não foi acompanhado por um planejamento adequado, resultando em uma ocupação desordenada do espaço geográfico. Esse processo tem causado prejuízos aos recursos hídricos, além dos efeitos danosos relacionados ao uso e manejo do solo. Para avaliar essas alterações em bacias hidrográficas, a análise de parâmetros morfométricos é uma etapa fundamental para compreender o comportamento hidrológico e as características físicas que influenciam alguns processos do ciclo hidrológico, como o escoamento superficial, a infiltração e a susceptibilidade a inundações e secas. Esses parâmetros descrevem a forma, o relevo e a rede de drenagem da bacia hidrográfica, permitindo caracterizar a dinâmica hídrica de forma quantitativa que aliada ao mapeamento do uso e ocupação do solo possibilita o planejamento de conservação das unidades integradoras, as bacias hidrográficas, as quais possuem papel estratégico na gestão territorial. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo a caracterização ambiental e as análises morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, localizada no Município de Itapecerica, Estado de Minas Gerais, que é uma das áreas que atua no fornecimento de água potável para o município. Os resultados indicaram que a bacia apresenta uma rede hidrográfica bem estruturada, com alta densidade de drenagem ($2,17 \text{ km/km}^2$) e predominância de cursos d'água de 1ª ordem, tornando-a vulnerável a erosão hídrica ocasionando assoreamento em cursos de água. A análise hipsométrica identificou altitudes entre 800m e 900m (56,28% da área total), com áreas de maior declividade que demandam práticas de manejo conservacionistas no solo. A análise temporal do uso e ocupação do solo entre 1992 e 2022 apresentou um aumento das formações florestais e da silvicultura, confrontando com a redução das áreas de pastagem. Conclui-se que, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama representa um sistema hidrográfico de grande relevância para o Município de Itapecerica. Os resultados obtidos neste estudo representam uma contribuição substancial para o planejamento racional do uso e ocupação do solo, bem como para a fundamentação de decisões estratégicas voltadas à adoção de práticas de manejo que promovam a conservação efetiva do solo e da água na área investigada.

Palavras-chave: geotecnologias; recursos hídricos; morfometria; planejamento ambiental.

ABSTRACT

Urban expansion across various Brazilian cities has largely occurred without adequate planning, leading to the disorderly occupation of geographic spaces. This unregulated development has resulted in significant degradation of water resources, alongside detrimental impacts on soil use and management. In this context, the analysis of morphometric parameters serves as a fundamental tool for assessing alterations in watershed dynamics, providing critical insights into hydrological behavior and the physical attributes influencing key processes of the hydrological cycle, such as surface runoff, infiltration, and susceptibility to flooding and drought. These parameters quantitatively describe the shape, relief, and drainage network of watersheds and, when combined with land use and land cover mapping, support the strategic planning of conservation initiatives within these integrative territorial units. Accordingly, this study aimed to conduct an environmental characterization and morphometric analysis of the Ribeirão do Gama Watershed, located in the municipality of Itapeçerica, Minas Gerais State, Brazil, which plays a crucial role in the municipality's potable water supply. The results demonstrated that the watershed possesses a well-structured hydrographic network, characterized by a high drainage density (2.17 km/km^2) and a predominance of first-order streams, rendering the area particularly susceptible to water erosion and consequent sedimentation of watercourses. Hypsometric analysis revealed that 56.28% of the watershed area lies between elevations of 800 and 900 meters, with steeper slope regions requiring the implementation of soil conservation practices. Land use and land cover analysis from 1992 to 2022 indicated an increase in forest formations and silviculture activities, accompanied by a decrease in pasture areas. It is concluded that the Ribeirão do Gama Watershed constitutes a hydrographic system of critical importance for the municipality of Itapeçerica. The findings of this study provide a robust scientific basis for the rational planning of land use and occupation and offer strategic guidance for the adoption of management practices aimed at ensuring the effective conservation of soil and water resources within the watershed.

Keywords: geotechnologies; water resources; morphometry; environmental planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração de uma bacia hidrográfica e seus principais elementos.....	15
Figura 2. Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Município de Itapecerica, Estado de Minas Gerais.....	25
Figura 3. Processo de Extração da Rede de Drenagem e Segmentação de Cursos d'Água, por meio do método D8.....	29
Figura 4. Mapa de Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	40
Figura 5. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	43
Figura 6. Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	47
Figura 7. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 1992.....	50
Figura 8. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 2002.....	52
Figura 9. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 2012.....	53
Figura 10. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 2022.....	54
Figura 11. Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes do Uso e Ocupação do Solo, de acordo com o Projeto MapBiomias.....	32
Tabela 2. Características Morfométricas Estudadas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	33
Tabela 3. Características Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	38
Tabela 4. Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais..	41
Tabela 5. Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	45
Tabela 6. Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	49
Tabela 7. Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	55
Tabela 8. Características Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APP – Área de Preservação Permanente

BDiA – Banco de Dados e Informações Ambientais

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CBHRSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável

GIS – *Geographic Information System*

GRASS – *Geographic Resources Analysis Support System*

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDHC – Modelo Digital Hidrologicamente Consistente

MMA – Ministério do Meio Ambiente

OSGeo – *Open Source Geospatial Foundation*

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

QGIS – *Quantum Geographic Information System*

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

SEMA-DF – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Bacias Hidrográficas	15
2.2 Características Morfométricas	16
2.3 Uso e Ocupação do Solo	19
2.4 Geotecnologias	20
2.5 Projeto MapBiomias	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Caracterização da Área de Estudo	25
3.2 Coleta de Dados	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Mapa de Hidrografia	36
4.2 Mapa de Declividade	41
4.3 Mapa de Hipsometria	44
4.4 Mapa de Uso e Ocupação do Solo	48
4.5 Mapa de Solos	55
4.6 Características Morfométricas	58
5 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas são definidas como uma região drenada por um rio principal e seus afluentes, em que ocorre a captação natural de precipitação da chuva, que converte os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório ou ainda podem infiltrar no solo formando as nascentes e lençóis freáticos (MENDES, 2018; DUARTE *et al.*, 2019; ALBUQUERQUE *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2022; CARVALHO *et al.*, 2023).

Ademais, as bacias hidrográficas podem ser entendidas como uma unidade de gestão territorial importante para os estudos ambientais, pois todos os componentes constituintes do espaço físico, como geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, clima e rios, estão intimamente integrados (FAUSTINO *et al.*, 2014). Desse modo, a admissão da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento assume uma atribuição primordial para a manutenção e preservação dos recursos hídricos, pois as modificações associadas à disponibilidade destes apresentam impactos diretos no ambiente e nas formas de ocupação do solo pelas atividades socioeconômicas (MELLO; SILVA, 2013).

No Brasil, as bacias hidrográficas são constituídas como unidades territoriais de planejamento político, hídrico e social, conforme a Lei Federal nº 9.433/97, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997). Estas áreas apresentam elementos físicos, biológicos e humanos, os quais compartilham, abrangendo processos geomorfológicos, hidrológicos e socioambientais (VALE; BORDALO, 2020; SANTOS *et al.*, 2023). De acordo com Parente *et al.*, (2020), entende-se a bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento que envolve características particulares e abrangendo vários elementos naturais e antrópicos, que estão em constante interação. Logo é indispensável o conhecimento de sua dinâmica.

Complementarmente, a bacia hidrográfica é conceituada como uma unidade que incorpora atributos tanto naturais quanto socioeconômicos, oferecendo uma abordagem abrangente para fins de planejamento e administração (WANKLER *et al.*, 2022).

Neste contexto, observa-se que o uso inadequado do solo pode provocar impactos deletérios ao ambiente, como a intensificação dos processos erosivos, a impermeabilização do solo, a perda de biodiversidade, inundações e o assoreamento de cursos d'água (SANTOS; SANTOS, 2010; VAEZA *et al.*, 2010). Moreira *et al.*, (2015) enfatizam que o uso do solo, incluindo o tipo de vegetação e as atividades antrópicas, influenciam a qualidade do recurso

hídrico. Esse fator deve ser considerado no manejo integrado e sustentável de bacias hidrográficas.

Com esse propósito, a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, auxiliam no planejamento territorial, como o uso e ocupação do solo e a preservação dos recursos naturais (FRAGA *et al.*, 2014). Leal e Tonello (2016) destacam a importância do estudo morfométrico em bacias hidrográficas, através do cálculo e análise dos parâmetros ligados ao relevo e a rede de drenagem, ao considerar a capacidade de categorizar os riscos associados a eventos como enchentes e a aceleração da erosão hídrica, contribuindo para o manejo conservacionista do solo e da água e com o planejamento territorial.

Para essa finalidade, Martins e Oliveira (2015), discutem o uso de geotecnologias em estudos do meio ambiente e da sociedade, uma vez que permitem analisar o espaço geográfico de forma sistêmica e integrada. Logo, contribuem na elaboração, implantação e monitoramento de políticas públicas para o desenvolvimento territorial. Em geral, as geotecnologias são compreendidas como um conjunto de instrumentos que tem como finalidade coletar, processar, analisar e ofertar dados georreferenciados gerando informações indispensáveis para a elaboração de soluções e tomada de decisões (ROSA, 2005).

Em estudo realizado por Santos *et al.*, (2019), que analisou a dinâmica temporal do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim com o auxílio das geotecnologias, observou perdas significativas de floresta nativa. Essa supressão se dá, sobretudo, em razão da conversão das áreas de floresta nativa em áreas destinadas a atividades socioeconômicas, como a agropecuária e a silvicultura.

Sob essa perspectiva, o presente estudo teve como objetivo realizar a caracterização ambiental e morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, situada no Município de Itapeçerica, Estado de Minas Gerais, considerada uma área estratégica para a garantia do abastecimento de água potável local. A compreensão da dinâmica, das potencialidades e das fragilidades dessa unidade territorial é essencial para subsidiar o manejo ambiental adequado, respeitando a capacidade de uso do solo e da água, e orientando ações estratégicas voltadas à conservação e preservação dos recursos hídricos, assegurando, assim, a disponibilidade e a qualidade desse recurso vital para a região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bacias Hidrográficas

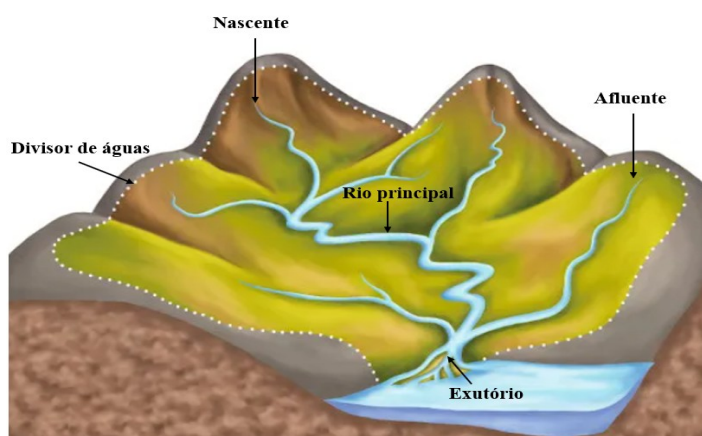
Ao longo do tempo, vários pesquisadores têm abordado a definição de bacias hidrográficas, deixando por meio de suas obras as suas interpretações acerca desse conceito. Entretanto, é perceptível entre esses autores uma convergência em suas abordagens, conforme demonstrado a seguir:

Segundo Viessman *et al.*, (1972), a bacia hidrográfica é compreendida como uma porção de terreno demarcada pela topografia, por onde fluem os cursos d'água, sejam eles principais ou parte de uma complexa rede de drenagem, direcionando-se para uma única saída, permitindo o escoamento de toda vazão efluente.

De conceito relativamente simples, uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem pode ser entendida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

De acordo com Silveira (1993), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (Figura 1).

Figura 1. Ilustração de uma bacia hidrográfica e seus principais elementos.



Fonte: Adaptado de Matias (2019).

Cada bacia hidrográfica possui características distintas que interferem em sua dinâmica hídrica, dessa forma, é importante analisar o seu comportamento morfométrico para dar suporte ao planejamento da sua ocupação e utilização (LEANDRO, 2024).

Em conformidade com a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos

Hídricos, definiu a bacia hidrográfica como a unidade territorial elementar de trabalho para gestão de recursos hídricos.

Machado (1998) *apud* Carvalho (2004) ratifica a adoção da bacia hidrográfica como unidade espacial de planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois sendo a água de um manancial o resultado da drenagem da área, sua qualidade e, portanto, suas características físicas, químicas, biológicas e ecológicas, encontram-se sempre na dependência direta das ações de uso e ocupação do solo, bem como do grau de controle sobre essas fontes.

Pode-se afirmar que considerar uma bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, portanto, impõe abordar todos seus elementos (água, solo, flora, fauna, uso e ocupação do solo) e compreendê-la como uma totalidade composta por elementos naturais e sociais inter-relacionados e dinâmicos (LEAL, 2003).

Botelho e Silva (2004) corroboram essa ideia, afirmando que, entendida como célula básica de análise ambiental, a bacia hidrográfica permite conhecer e avaliar suas características, processos e interações de forma sistêmica. Portanto, a bacia hidrográfica torna-se um elemento pertinente para o estudo de inúmeros processos que ocorrem na superfície terrestre, definido por Chandrashekar *et al.*, (2015) como sendo uma unidade ideal para gestão sustentável dos recursos naturais, permitindo a compreensão da influência da morfometria de drenagem sobre formas terrestres e suas características.

Diante deste contexto, percebe-se que antes da definição formal estabelecida pela Lei nº 9.433/97, diferentes autores abordam o conceito de bacias hidrográficas sem necessariamente relacioná-lo diretamente à gestão de recursos hídricos. Desta maneira, optou-se nessa pesquisa por adotar a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, o que constitui um dos fundamentos da legislação brasileira.

Por fim, observa-se a importância da definição da unidade de gerenciamento territorial nos estudos de Oliveira *et al.*, (2021), uma vez que as bacias hidrográficas com áreas maiores geralmente têm maior capacidade de captar e gerir águas pluviais, influenciando a disponibilidade hídrica e o risco de inundações. Além disso, o perímetro desta unidade, que reflete a complexidade da sua forma, pode impactar a eficiência do escoamento. De maneira adicional, perímetros mais longos tendem a ter uma rede de drenagem mais complexa, o que pode afetar o tempo de concentração e a velocidade do escoamento (MILLER e HESS, 2022).

2.2 Características Morfométricas

De acordo com Campanharo (2010), a morfometria pode ser definida como uma análise quantitativa das formações e configurações da superfície de uma bacia hidrográfica. Os índices

morfométricos podem indicar as características geométricas, características da rede de drenagem e do relevo. A obtenção das características físicas da bacia auxilia a compreensão do seu ciclo hidrológico e tomada de decisão para alerta de desastres naturais, além de ser uma ferramenta no diagnóstico de suscetibilidade à degradação ambiental.

Ademais, o estudo morfométrico de bacias hidrográficas é definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica. A análise de parâmetros morfométricos têm grande importância nos estudos de bacias hidrográficas pois, através da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que, os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (NUNES *et al.*, 2006).

Os primeiros trabalhos de morfometria fluvial foram realizados por HORTON (1945), que procurou estabelecer leis do desenvolvimento dos cursos d'água e suas respectivas bacias. Para isso se utilizou de uma abordagem quantitativa das bacias, o que favoreceu uma nova concepção metodológica (GUERRA, 1996).

Diversos pesquisadores utilizaram em seus estudos sobre bacias hidrográficas parâmetros morfométricos variados (PINTO, 2022; TONIOLO *et al.*, 2021; DE SALIS *et al.*, 2019; VALE e BORDALO, 2020; DE CARVALHO *et al.*, 2020; SANTANA, 2018), dentre os mais utilizados estão: comprimento da rede de drenagem, área, perímetro, número de segmentos, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, altitude, dentre outros, possibilitando uma análise temporal da evolução dos canais fluviais, a qual é fundamental para a aplicação de medidas mitigadoras direcionadas para o gerenciamento dos recursos hídricos.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas auxilia na compreensão dos processos hidrológicos e geomorfológicos, conforme evidenciado em estudos conduzidos em Minas Gerais. Na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, os índices morfométricos, como a densidade de drenagem ($Dd=29 \text{ km/km}^2$) e o coeficiente de compacidade ($Kc=0,89$), foram determinantes para compreender a alta susceptibilidade da bacia a enchentes. Esses índices indicam a influência direta do relevo dissecado e declivoso na dinâmica do escoamento superficial, especialmente em áreas à montante (ALMEIDA *et al.*, 2024). A observação do índice de rugosidade (I_r) e a relação de relevo (R_r) destaca a importância de incluir análises quantitativas na gestão de bacias com alta vulnerabilidade a eventos extremos.

De forma semelhante, a Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí apresentou características que evidenciam a relevância da integração de índices morfométricos para a avaliação hidrológica. Com valores de Kc (1,92), fator de forma ($Kf=0,42$) e índice de circularidade ($Ic=0,27$), a análise indicou que o formato alongado da bacia hidrográfica contribui para um menor

risco de enchentes, em contraste com áreas mais circulares, que apresentam maior predisposição a picos de vazão e escoamento concentrado (ALMEIDA *et al.*, 2017). Esses estudos ilustram que a declividade média e o tempo de concentração podem auxiliar no planejamento de zonas urbanas e rurais vulneráveis.

O estudo da Bacia Hidrográfica do Córrego Manhauçuzinho corrobora a importância de parâmetros morfométricos na identificação de áreas prioritárias para conservação. Apesar do formato alongado ($K_c=1,78$; $K_f=0,23$; $I_c=0,32$), características como alta declividade média (20,90%) e amplitude altimétrica elevada (731-1630 metros) indicam maior susceptibilidade a escoamentos superficiais intensos. Sendo assim, nota-se que esses fatores são relevantes para o manejo do uso do solo, incluindo o controle de acesso do gado e a delimitação de áreas de preservação permanente (MESQUITA *et al.*, 2017).

Ademais, pesquisas realizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga destacam o impacto de uma baixa densidade de drenagem ($0,6491 \text{ km/km}^2$) e de um formato extremamente alongado ($K_c=2,13$) na mitigação de enchentes, evidenciando a influência do tempo de concentração prolongado no comportamento hidrológico (LOPES *et al.*, 2018). Em contraste, análises morfométricas no Rio do Peixe demonstraram que rupturas de declividade, identificadas pelo Índice Relação Declividade em relação à Extensão, podem apontar anomalias geomorfológicas e variações altimétricas significativas, destacando a interação entre litologia e relevo na formação de padrões fluviais (GIAROLA, 2018).

Por fim, a Bacia Hidrográfica do Rio Claro, com coeficiente de compacidade elevado ($K_c=2,74$) e densidade de drenagem baixa ($0,578 \text{ km/km}^2$), exemplifica como a permeabilidade do solo e o relevo suavemente ondulado influenciam o escoamento superficial e a conservação do solo (SILVA *et al.*, 2004). O estudo da Bacia Hidrográfica do Córrego Entre Folhas complementa esses achados, indicando que características como densidade de drenagem mediana ($1,4 \text{ km/km}^2$) e gradiente topográfico reduzido (2,94%) favorecem condições de manejo sustentável, desde que associadas a práticas conservacionistas adequadas (SILVA *et al.*, 2023).

Os resultados apresentados destacam a importância dos índices morfométricos como ferramenta essencial para o diagnóstico ambiental, planejamento sustentável das bacias hidrográficas e fornecem subsídios para a tomada de decisão em projetos relacionados ao uso dos recursos naturais, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável (MENEZES *et al.*, 2014; MACEDO *et al.*, 2024).

2.3 Uso e Ocupação do Solo

A análise do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas é fundamental para entender as interações entre os componentes naturais e antrópicos que moldam sua dinâmica socioambiental. O uso do solo influencia diretamente os processos hidrológicos, como infiltração, escoamento superficial e recarga de aquíferos, além de afetar a qualidade da água e a estabilidade dos ecossistemas locais. Por isso, a avaliação detalhada dessas características é imprescindível para o planejamento e a gestão sustentável das bacias hidrográficas (SANTOS *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Segundo Silva *et al.*, (2020), a ocupação inadequada do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP's) pode agravar problemas como erosão, assoreamento e fragmentação de habitats. Estudos como o realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Água Branca evidenciam que práticas insustentáveis, como pastagem em APP's, comprometeram 68,24% dessas áreas. Tais práticas influenciam a qualidade da água e a integridade do solo, destacando a importância de reflorestamento e criação de corredores ecológicos para mitigar os impactos ambientais.

A análise histórica de alterações no uso e cobertura do solo, como a conduzida por Fiorese (2021) na Bacia Hidrográfica do Rio Fruteiras, evidencia a relevância de monitorar essas modificações. Entre 2007 e 2015, foi observada uma leve redução na vegetação nativa, enquanto a silvicultura apresentou crescimento significativo. Embora a silvicultura seja uma alternativa econômica, sua expansão pode afetar negativamente a biodiversidade e os recursos hídricos, reforçando a necessidade de ação de práticas de manejo sustentável.

Na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Salobra, Oliveira *et al.*, (2010) identificaram a eficácia do uso do modelo digital de elevação (MDE) obtido através de imagens do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM para caracterizar áreas de baixa suscetibilidade a enchentes devido à sua forma alongada e baixa densidade de drenagem. A forma e o uso do solo na bacia hidrográfica consolidam a influência de variáveis morfométricas e ocupacionais nos processos hidrológicos. Por outro lado, Silva *et al.*, (2017), ao estudar a Bacia Hidrográfica do Rio Cobra, destacaram que mesmo áreas com predominância de vegetação podem apresentar vulnerabilidades quando há presença de solo exposto e degradação de matas ciliares, agravando os processos erosivos.

Ademais, o manejo inadequado de pastagens, identificado como uma situação crítica na Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira II, mostrou impactos diretos na capacidade do reservatório local. O estudo de Santos *et al.*, (2021) revela como o aumento de áreas de pastagem, aliado à redução de vegetação nativa, favorece o transporte de sedimentos, reduzindo a capacidade hídrica do açude e comprometendo sua função de abastecimento.

A urbanização crescente em bacias hidrográficas é outro fator de destaque. Na microbacia hidrográfica do córrego Marivan, Teodoro *et al.*, (2007) apontaram que a ocupação urbana representa mais de 70% da área, alterando significativamente os processos hidrológicos e aumentando o risco de enchentes rápidas devido à impermeabilização do solo e à baixa densidade de drenagem. Tais impactos ilustram a demanda de planejamento urbano que considere a preservação ambiental e a gestão integrada dos recursos hídricos.

Por fim, a avaliação associada do uso e ocupação do solo e de variáveis morfométricas, é uma ferramenta indispensável para orientar estratégias de manejo sustentável. Tecnologias como o QGIS, utilizadas por Silva *et al.*, (2017) e Fiorese (2021), oferecem subsídios para mapear áreas críticas, monitorar mudanças no uso do solo e propor intervenções baseadas em resultados analíticos. Ainda, segundo Fiorese (2021), a implantação de políticas públicas, como o pagamento por serviços ambientais e o fortalecimento da fiscalização, são medidas essenciais para apoiar o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes para a preservação ambiental.

2.4 Geotecnologias

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações sobre o espaço geográfico, voltadas para o planejamento e tomada de decisão. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que, juntos, constituem poderosas ferramentas para gestão territorial. Dentre as geotecnologias, podemos destacar dentre outros: os sistemas de informação geográfica, a cartografia digital, o sensoriamento remoto e os sistemas de posicionamento global (ROSA, 2005).

As geotecnologias podem contribuir na elaboração de produtos para fins de planejamentos ambientais, envolvendo pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, em uma perspectiva integrada, aliando dados físicos a dados socioeconômicos de uma dada região (AQUINO e VALLADARES, 2013).

Um SIG (*Geographic Information System* – GIS) permite a análise, a gestão e a modelagem de variáveis e processos espaciais, bem como organizar camadas de informações de modo a ajudar os usuários a tomar decisões assertivas (TAVEIRA e CUBAS, 2021).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são programas computacionais que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), unindo a base espacial de referência (mapa) e as informações (banco de dados) em torno de objetos geograficamente representados no mapa. Desta forma, o SIG é o sistema que executa atividades que envolvem o

geoprocessamento para cada aplicação, isto é, para cada interpretação da realidade (RIBEIRO *et al.*, 2006).

O projeto QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), tendo início em fevereiro de 2002, sendo que em junho deste mesmo ano foi lançada sua primeira versão. É um SIG gratuito, funcionando em sistema *Linux, Unix, Mac OSX, Windows* e *Android* (QGIS, 2020). O QGIS detém a capacidade de integrar ferramentas de *softwares* de SIG externos em sua interface. Utilizou-se como *plugin* o GRASS, originalmente desenvolvido na década de 80, é amplamente utilizado para conduzir pesquisas ambientais, avaliações, monitoramento e gestão de terras. Com o tempo, evoluiu para se tornar uma plataforma completa de SIG, que possuem ferramentas hidrológicas capazes de realizar a extração e delimitação de bacias hidrográficas, modelagem de fluxo de água, análise de escoamento superficial, cálculo de parâmetros hidrológicos, entre outros (GRASS *Development Team*, 1998-2023).

O avanço tecnológico humano produziu ferramentas para aprofundar seus conhecimentos de áreas em que seu acesso era difícil ou impossibilitado, estes instrumentos além de apresentarem confiabilidade de dados coletados aumentam a eficiência da obtenção destes. Sonares, sismógrafos e satélites são exemplos destes instrumentos que realizam medições remotas (NOVO, 2008).

Sensoriamento Remoto é o conjunto de técnicas e instrumentos para adquirir dados sobre objetos sem que haja contato direto com tais objetos (GONÇALVES, 2023).

De acordo com Gonçalves (2023), sensoriamento remoto pode ser descrito como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Conforme Cunha *et al.* (2012), as imagens de satélites oriundas do sensoriamento remoto combinadas com o geoprocessamento dos SIGs, possibilita a identificação de mudanças do uso e cobertura do solo, além de registrar a evolução das paisagens ao longo do tempo.

O geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, através de tecnologias que envolvem a coleta e tratamento das informações espaciais, buscando uma representação simplificada do mundo real e generalizando suas características e relações para um objetivo específico (MENDES; CIRILO, 2001).

A integração dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com o Sensoriamento Remoto abre uma infinidade de aplicações ao usuário. A possibilidade de visualizar e cruzar informações espaciais revela correlações, padrões e tendências de dados, fornecendo informações necessárias para tomar decisões estratégicas e adequadas (LEONARDI, 2020).

É possível observar no estudo realizado por Furtado *et al.* (2020), modificações no uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Murucupi, no Município de Barcarena, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, ocorridas nos últimos 29 anos e comprovou que as dinâmicas do uso e cobertura do solo estão intrinsecamente baseadas na consolidação das áreas urbanas. Uma vez que esta área que compõe o núcleo urbano triplicou de tamanho no ano de 2019, devido avanço do agronegócio na região, restando apenas pequenos mosaicos fragmentados de vegetação florestal ao sul e ao norte da bacia hidrográfica.

Já a pesquisa de Bertotti (2024), utilizou as ferramentas de geoprocessamento para obter informações e parâmetros para caracterizar o espaço geográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Xarquinho – PR. Os resultados indicaram que o uso e ocupação do solo é predominantemente para lavoura temporária e ao se analisar os parâmetros morfométricos calculados, o valor do coeficiente de compacidade indica para uma suscetibilidade mediana às enchentes. Por fim, Bertotti (2024) afirma que as técnicas do geoprocessamento de dados por meio do SIG são uma ferramenta muito eficiente e robusta que permitiu a obtenção de dados importantes para representação espacial e produtos temáticos.

2.5 Projeto MapBiomias

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos do solo, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que emprega processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil (MapBiomias, 2024).

O Projeto - MAPBIOMAS surgiu em um seminário realizado em março de 2015 onde especialistas em sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação se reuniram em São Paulo para verificar a possibilidade de produzir mapas anuais de cobertura e uso do solo para todo o Brasil de forma significativamente mais barata, rápida e atualizada, comparativamente aos métodos e práticas atuais, e que possibilitem recuperar o histórico das últimas décadas. O MapBiomias é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é produzido por uma rede colaborativa de

cocriadores formado por ONGs, universidades e empresas de tecnologia organizados por biomas e temas transversais (MapBiomias, 2024).

Desde então, o MapBiomias produziu oito conjuntos de mapas digitais anuais de cobertura e uso do solo, denominadas Coleções. A classificação da imagem do satélite *Landsat* métodos e algoritmos para cada coleção evoluíram ao longo dos anos. Coleção 1, publicado em 2016, consistiu na primeira etapa do processo de mapeamento, abrangendo o período de 2008 a 2015 e possuindo sete classes: floresta, agricultura, pastagem, plantação florestal, mangue e água. Coleção 2, lançada em 2017, mediante aplicação classificação empírica da árvore de decisão, abrangendo o período de 2000 a 2016 e incluiu 13 classes com subclasses de floresta, savana, pastagem, mangue, praia, infraestrutura urbana e muito mais. A atual Coleção 8 possui 29 classes e está incluída: floresta inundável e óleo de palma, além de acrescentar melhorias na cobertura do solo e na classificação (MapBiomias, 2024).

Na Coleção 9, 28 classes foram mapeadas. A classe Outras Formações Não Florestais presente na Coleção 8 foi excluída, e sua área foi mapeada como Zona Úmida ou Vegetação Herbácea de Banco de Areia. O mapeamento de Recifes de Coral Rasos agora está disponível como um novo módulo na plataforma, separadamente dos dados de cobertura e uso do solo. Também foi disponibilizado um novo módulo de dados dentro de diferentes categorias de variáveis ambientais, incluindo geomorfologia, hipsometria, pedologia, vegetação (todos na escala 1:250.000; IBGE 2023), declividade e orientação de declividade. Por fim, dados relacionados a transições de classes associadas à mineração industrial e artesanal foram incluídos no módulo de mineração.

Os algoritmos desenvolvidos para pré-processamento e classificação de imagens *Landsat* prometem revolucionar a produção de mapas de Uso e Ocupação do Solo. Com base no *Google Earth Engine* e à tecnologia de código aberto, é possível acessar e processar conjuntos de dados de imagens orbitais em grande escala. A iniciativa MapBiomias se expandiu para outras regiões como Amazônia, Chaco, Pampa, Mata Atlântica e Indonésia. Além disso, a equipe do MapBiomias continuará melhorando as coleções seguintes nos anos subsequentes. O MapBiomias de acesso aberto proporcionou diversas publicações científicas no Brasil e no exterior (MapBiomias, 2024).

De fato, é possível observar que Francisco *et al.*, (2023) em estudo realizado com o objetivo de avaliar dados temporais da cobertura e uso do solo do Estado da Paraíba no período de 1985 a 2021, concluíram que a utilização de uma série do Projeto MapBiomias proporcionou resultados com rapidez e precisão além da simplicidade e com boa qualidade dos dados obtidos em relação a outras metodologias.

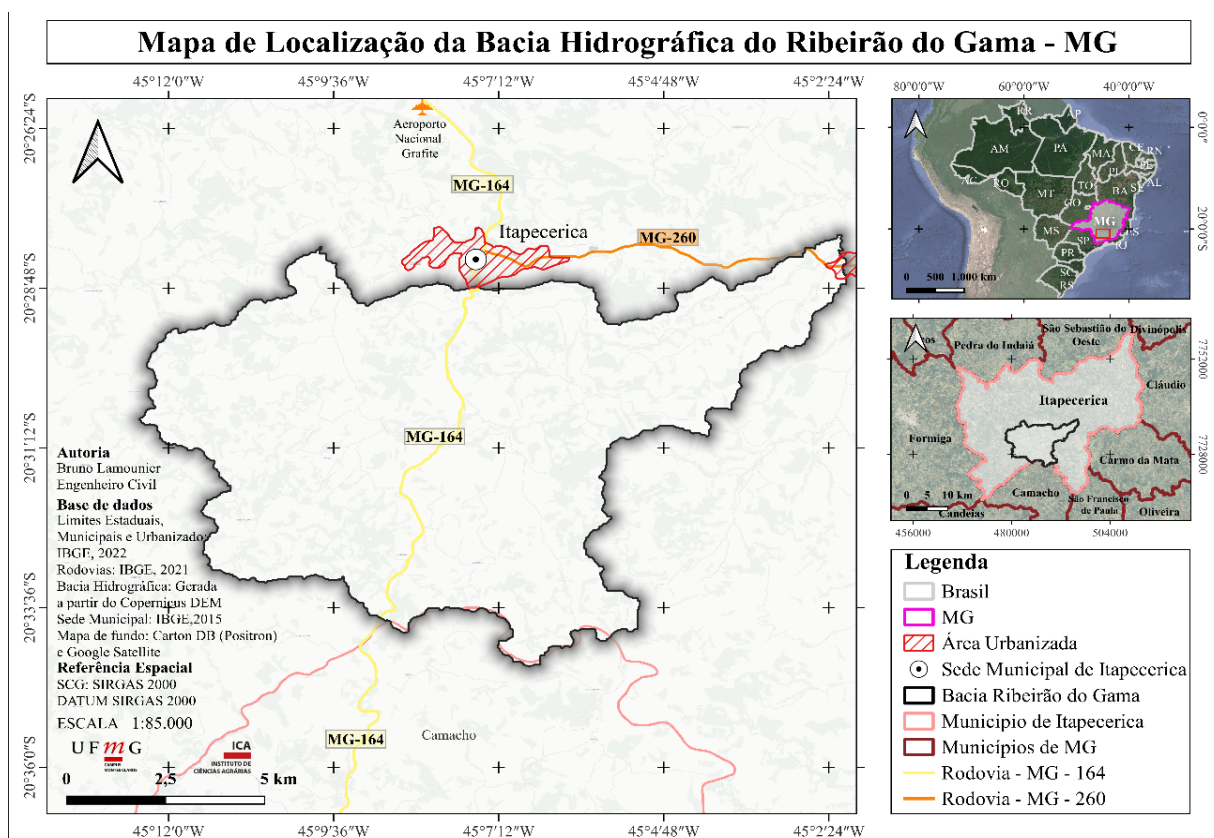
Por fim, o estudo realizado na zona costeira do Município de Esplanada, no Estado da Bahia, com base na análise de séries temporais de dados do Programa MapBiomas ao longo de 37 anos, evidenciou transformações expressivas no uso e ocupação do solo, revelando a influência das atividades antrópicas na configuração e dinâmica da paisagem. Em 1985, a Formação Florestal ocupava 40,29% da área de estudo, constituindo o uso predominante. Esse percentual sofreu variações ao longo das décadas, com um crescimento observado até 1995, possivelmente associado à criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Litoral Norte, que pode ter contribuído para a conservação dos remanescentes vegetais. No entanto, uma redução acentuada foi identificada em 2005, indicando significativa perda de cobertura natural, resultado de pressões antrópicas como a expansão urbana, a agricultura intensiva e o turismo não controlado. A partir de então, os dados apontam uma recuperação parcial da vegetação até o ano de 2022, o que pode ser interpretado como reflexo de avanços na gestão ambiental, maior eficácia na fiscalização e na implementação de políticas públicas voltadas à preservação dos ecossistemas costeiros (DE SOUZA SANTOS *et al.*, 2025). Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo por meio de geotecnologias e da formulação de estratégias integradas de planejamento ambiental sob pressão antrópica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Localizada em Itapequerica-MG, cidade pertencente ao Centro-Oeste Mineiro, que segundo dados do IBGE, possui uma área territorial de 1.040,519 km² e população estimada em 21.046 habitantes, perfazendo uma densidade demográfica de 20,23 hab/km² (IBGE, 2024), a Bacia Hidrográfica, em estudo é a do Ribeirão do Gama, na zona rural do município (Figura 2).

Figura 2. Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Município de Itapequerica, Estado de Minas Gerais.



A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama é um elemento essencial para a sustentabilidade ambiental, social e econômica da região. A área atua no abastecimento de água potável, sendo fonte de recursos hídricos indispensáveis para a população local e para o suporte às atividades agrícolas e pecuárias. Além disso, é uma área estratégica para a silvicultura, a conservação da biodiversidade e para a manutenção dos processos ecossistêmicos fundamentais para a qualidade de vida das comunidades humanas e do meio ambiente (BRASIL, 1997; MESQUITA *et al.*, 2017).

A localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama no contexto do Bioma Cerrado e sua interação com os recursos naturais disponíveis tornam a região de grande interesse para pesquisadores e especialistas na área de recursos hídricos. Além disso, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama sustenta práticas agrícolas e pecuárias que são pilares da economia local. Portanto, é necessário adotar práticas agrícolas sustentáveis para equilibrar a produção econômica com a conservação ambiental. Estudos como o de Silva *et al.*, (2004) enfatizam que solos bem manejados e áreas preservadas resultam em maior infiltração de água e melhor controle do escoamento superficial, beneficiando tanto a produção agrícola quanto a disponibilidade de recursos hídricos para outros usos.

A área também representa um laboratório natural para estudos sobre sustentabilidade e gestão de bacias hidrográficas. Pesquisadores da área têm destacado a importância de utilizar ferramentas tecnológicas, como geoprocessamento e análise de dados hidrológicos, para mapear as fragilidades e potencialidades de regiões hidrográficas. Exemplos de aplicação prática incluem o uso de índices morfométricos para planejar a ocupação do solo e minimizar impactos ambientais (ALMEIDA *et al.*, 2017).

O Ribeirão Gama juntamente com o Rio Santo Antônio, no Município de Itapecerica, no morro do Calado passa à sua denominação de Itapecerica. Banha os Municípios Itapecerica, São Sebastião do Oeste e corta Divinópolis em uma extensão de 29 Km. O Rio Itapecerica, ainda rico em paisagens naturais, situa-se em altitudes de 680 m a 750 m em sentido norte percorrendo aproximadamente 123 km e atravessa a área urbana do município de Divinópolis até o encontro com o Rio Pará (MINAS GERAIS, 2016).

A Bacia Hidrográfica do Rio Pará é uma das mais importantes da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (MINAS GERAIS, 2016).

O vale do Rio Pará tem clima quente e semiúmido conforme Köppen (1936), classificado em Aw, Cwa e Cwb, caracterizado em geral por invernos secos e verões chuvosos, com temperatura média no inverno de 16,5°C, no verão, de 29°C, e nas outras estações de 23,8°C. O mês mais seco tem precipitação inferior à décima parte da precipitação do mês mais chuvoso com índice pluviométrico entre 1.200mm a 1.700mm anuais. O Rio Pará, afluente pela margem direita do Rio São Francisco, localiza-se no setor centro oeste de Minas Gerais. Suas nascentes encontram-se próximas ao município de Resende Costa, MG, adjacentes ao divisor norte da cabeceira do Rio Brumado. O talvegue apresenta extensão total de cerca de 210 km, desenvolvendo-se desde a altitude de 600m até 1.340m (RODRIGUES *et al.*, 2015).

3.2 Coleta de Dados

A metodologia utilizada neste trabalho consiste na aplicação de geotecnologias para a constituição de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), na organização de bases georreferenciadas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, no processamento digital de imagens para análise ambiental e na confecção de mapas temáticos que retratam os resultados obtidos. Portanto, o mapeamento de bacias hidrográficas se constitui, especialmente, em um trabalho de interpretação visual de dados, realizado por meio da manipulação e estudo de imagens orbitais. Considerando o objetivo proposto, o presente trabalho utilizou como base cartográfica a Carta Planialtimétrica em formato digital, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1971).

Na manipulação dos dados orbitais foi utilizado o QGIS, um programa computacional que, desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), permite manipular os dados espaciais e suporta vários formatos de imagens e vetores. Dentre os vários programas que permitem a manipulação de dados geoespacializados, o QGIS se destaca pela sua versatilidade e acessibilidade, já que é um programa computacional gratuito e livre, ou seja, é disponibilizado sem custo algum e possui código aberto para que programadores contribuam, desenvolvendo atualizações e correções, aprimorando cada vez mais seu desempenho (BRUNO, 2017).

A delimitação da bacia hidrográfica foi definida utilizando o provedor GRASS a partir da definição do ponto exutório do Ribeirão do Gama.

A delimitação da bacia hidrográfica e a extração da rede de drenagem foram realizadas, utilizando o *OpenTopography*, desenvolvido pela comunidade científica e mantido pela *OpenTopography Facility*, uma organização sediada na Universidade da Califórnia, San Diego. A missão do *OpenTopography* é fornecer acesso aberto e fácil a dados topográficos e recursos relacionados para a comunidade científica, pesquisadores e o público em geral. A plataforma *OpenTopography* oferece dados topográficos, como modelos digitais de elevação (MDE), imagens e perfis topográficos. Esses dados são essenciais para estudos de geologia, análise de riscos naturais, modelagem hidrológica, planejamento urbano, entre outros (OPENTOPOGRAPHY, 2024).

No QGIS, o plugin *OpenTopography* possibilitou selecionar o modelo digital de elevação o *Copernicus Global* - (DEM), lançado em 2019, produzido por organizações governamentais europeias. É um modelo digital de elevação que representa a superfície da Terra, incluindo edifícios, infraestrutura e vegetação. Este modelo é resultado da Composição do conjunto de dados *WorldDEM™* preenchido localmente com os seguintes MDE: ASTER, SRTM90, SRTM30, SRTM30plus, GMTED2010, TerraSAR-X Radargramétrico MDE, ALOS

World 3D-30m e MDE Nacional da Noruega (ESA, 2022). A fonte dos dados primária é o *WorldDEM*, da missão espacial de radar de abertura sintética (InSAR) em banda X da missão TanDEM-X e TerraSAR-X entre os anos de 2011 e 2015, sendo financiado por uma parceria público-privada entre o governo alemão, representado pelo Agência Aeroespacial Alemã (DLR) e a *Airbus Defence and Space* (Cremon *et al.*, 2022).

O Copernicus é um projeto mais recente que o SRTM, ASTER e ALOS. A versão utilizada neste trabalho tem resolução espacial média de 30 metros. O MDE COP-30 pode ser adquirido pelo repositório de dados por meio da ferramenta *Planetary Data Accesss* (PANDA) da *European Space Agency* (ESA) ou ainda pelo repositório *OpenTopography* (ESA, 2021)

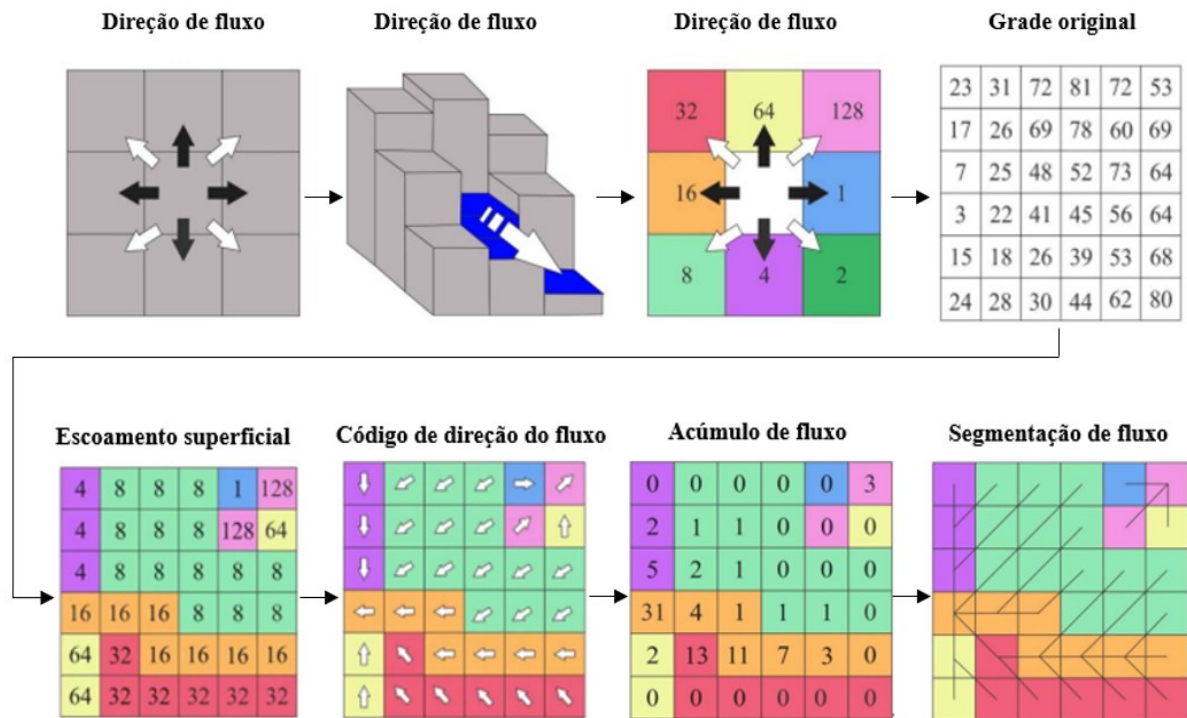
Primeiramente, realizou-se o pré-processamento do dado do *Copernicus* DEM para corrigir suas inconsistências, tais como áreas com depressões espúrias, a fim de obter um modelo digital hidrológicamente consistente (MDHC).

As depressões relatadas são pixels cercados por outros com maior altitude, que interrompem o escoamento superficial para o pixel vizinho, o que pode resultar em acumulação de água e isso compromete o estudo hidrológico de superfície (PARANHOS FILHO *et al.*, 2021). Para corrigir essas inconsistências, preencher as depressões, executou-se as ferramentas *r.fill.dir* (GRASS). Deste modo obteve-se um MDHC. Na segunda etapa, para cada MDEHC, obteve-se a extração da rede de drenagem através da ferramenta *r.watershed* (GRASS).

Paranhos e Filho *et al.*, (2021), aborda a compreensão dos processos de obtenção da direção de fluxo e acúmulo de fluxo, que são etapas fundamentais para a definição e segmentação das linhas que compõem a rede de drenagem utilizando os provedores GIS. O primeiro confere o sentido do escoamento de uma célula central para a célula vizinha, através de um método pré-definido e o segundo consiste na quantidade total de fluxo de água que passa por cada célula do MDHC, sendo o resultado da contribuição de células vizinhas a montante.

Como parte do processo para execução da ferramenta *r.watershed*, escolheu-se um método para determinar a direção de fluxo. O método mais utilizado é o *single flow direction* (SFD), que também é conhecido como *deterministic 8* (D8) e assume que o escoamento ocorrerá em uma única direção a partir de cada célula central do MDHC, buscando a descida mais íngreme dentre suas oito células vizinhas (O'CALLAGHAN e MARK, 1984). Com base nessas informações de direção de fluxo e fluxo acumulado, a ferramenta *r.watershed* segmenta os cursos de água (Figura 3).

Figura 3. Processo de Extração da Rede de Drenagem e Segmentação de Cursos d'Água, por meio do método D8.



Fonte: Adaptado de Motta *et al.*, 2021.

A extração da rede de drenagem realizada pelo provedor GRASS, seguiu a ordenação fluvial proposta por Strahler (1989), permitindo identificar tanto o canal principal quanto suas conexões secundárias com base na hierarquia de suas ordens.

Para a terceira etapa, utilizou-se a ferramenta *r.water.outlet* (GRASS) que gerou uma bacia hidrográfica a partir de um mapa de direção de drenagem (um dos produtos gerados no procedimento anterior) e um conjunto de coordenadas representando o exutório (GRASS Development Team, 2023).

Os dados gerados com o GRASS foram predominantemente no formato *RASTER*, o que demandou a aplicação da ferramenta *r.to.vect* para a conversão da rede de drenagem e do limite da bacia de contribuição em representações vetoriais.

Com o objetivo de aprimorar a visualização e conferir um aspecto mais coerente de corpos hídricos, também foi empregada a ferramenta de suavização disponível no QGIS. A vetorização dos dados desempenhou um papel fundamental como suporte para a análise morfométrica. A vetorização dos dados forneceu suporte à análise morfométrica, uma vez que os dados no formato vetorial subsidiaram a realização precisa de cálculos no ambiente do QGIS.

A identificação dos solos ocorreu tendo como base o Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA), uma base de informações geoespaciais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O BDiA reúne uma coleção de bases temáticas sobre os recursos naturais do território nacional, incluindo informações detalhadas sobre solos (pedologia) oriundos do projeto RADAMBRASIL e legendas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS, 2018). Esta metodologia encontra-se no Manual Técnico de Pedologia (3ª edição), produzido pelo IBGE (2015). Para a confecção do mapa fez-se a extração de cada tipo de solo existente dentro dos limites da bacia seguido da indicação das tipologias correspondentes em cada polígono.

Para a realização do mapa temático de declividade, que é a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, ou seja, a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos, expressos em porcentagem, utilizou-se como base o modelo digital de elevação o Copernicus Global - (DEM), também utilizado para extrair a drenagem. As cenas do MDE adquiridas foram mosaicadas, recortadas para a área de estudo e no sistema de informação geográfica – QGIS, foi gerado a declividade utilizando uma rampa de cores específica para cada classe de acordo com os trabalhos realizados na EMBRAPA (2018):

Plano: superfície de topografia onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%.

Suave Ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 a 100 m), apresentando declives suaves, variando de 3 a 8%.

Moderadamente Ondulado: superfície de topografia moderadamente movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros apresentando declives moderados, variando de 8 a 13%.

Ondulado: superfície de topografia movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros apresentando declives moderados, variando de 13 a 20%.

Forte Ondulado: superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100 metros e de 100 a 200 metros de altitude relativas) e raramente colinas com declives fortes, variando de 20 a 45%.

Montanhoso: superfície de topografia movimentada com declives fortes, maiores que 45%.

Escarpado: áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente com declividades superiores a 75%.

Para a elaboração do mapa temático de hipsometria no QGIS, foi utilizado o mesmo Modelo Digital de Elevação como imagem de entrada. A partir desse MDE, aplicou-se uma classificação em 4 classes de elevação. Desta maneira, gerou-se o mapa com base na legenda de cores, onde cores mais quentes representam maiores elevações e cores mais frias indicam as menores elevações, destacando a variação altimétrica da bacia hidrográfica estudada.

A determinação desse parâmetro é importante, visto que ele pode interferir na intensidade de escoamento, devido à influência que exerce na distribuição da vegetação, nos tipos de solos, no clima e consequentemente na rede de drenagem (DUARTE *et al.*, 2007).

No mapeamento do uso e ocupação do solo foi utilizado dados do projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - Coleção 8, para o recorte da área de estudo. Ao acessar a plataforma do projeto, na parte superior tem-se o menu de Mapas e Dados, onde apresenta-se as opções de: cobertura e uso do solo, e posteriormente a partir da ferramenta de pesquisa, é possível se fazer a consulta para a área de estudo. O acesso aos dados pode ser diretamente no *Google Earth Engine*, quando for necessário fazer cortes territoriais ou temporais específicos e também acessar os dados do Mosaico *Landsat* e os mapas de transição (MapBiomias, 2024). Através da plataforma *Dashboard* do MapBiomias (2024), foram adquiridos os arquivos em formato *shapefile* dos limites do Estado de Minas Gerais com escala de 1:250.000 de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no qual toda a bacia hidrológica de interesse está inserida (MapBiomias, 2024).

O Projeto Mapbiomas na Coleção 8 utilizou mosaicos de recursos pré-processados gerados a partir das coleções de arquivos *Landsat* (*Landsat 5*, *Landsat 7* e *Landsat 8*). (resolução espacial de 30 metros), elaborados a partir da mediana do conjunto de imagens anuais, onde foram retiradas nuvens e sombras. Assim, cada pixel em cada ano foi classificado de acordo com a quantidade de observações disponíveis, podendo ter de 0 a 23 observações por ano. A análise de avaliação de precisão foi baseada na aquisição de 85.000 amostras independentes por ano, de 1985 a 2022. As transições e estatísticas de cada classe foram derivadas dos mapas anuais de uso e ocupação do solo. A análise estatística abrangeu diferentes categorias espaciais, como bioma, estado, município, bacia hidrográfica e áreas protegidas. A Coleção 8 resultou não apenas em uma longa série temporal, adicionando o ano de 2022, mas também em mapas anuais de uso e ocupação do solo do Brasil mais consistentes espacial e temporalmente. Melhorias consideráveis foram feitas na Coleção 8, aprimorando a classificação

por floresta aleatória, como a suavização de transições nas variações de área de cada classe ao longo da série temporal (MapBiomias, 2024). As classes utilizadas na área de estudo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Classes do Uso e Ocupação do Solo, de acordo com o Projeto MapBiomias.

Nível 1	Nível 2, 3 e 4	Descrição
Floresta	Formação Florestal/ Formação Savânica	- Predominância de árvores espécies, com contínuo formação do dossel (Riparia Floresta, Floresta Da Galeria, Seco Floresta e Floresta Savana), bem como Semidecidual Sazonal Florestas. - Formações de savana com árvore definida e estrato arbustivo-herbáceo (Cerrado Stricto Sensu: Densa, típica, esparsa e Savana Rupestre).
Formação Natural não Florestal	Campo Alagado/ Formação Campestre	- Predomínio de estrato herbáceo sujeita ao alagamento sazonal (ex. Campo Úmido) ou sobre influência fluvial/lacustre (ex. Brejo). Em algumas regiões a matriz herbácea ocorre associada às espécies arbóreas de formação savânica (ex. Parque de Cerrado) ou de palmeiras (Vereda, Palmeiral). - Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como o Cerrado rupestre.
	Afloramento Rochoso	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupestre e alta declividade.
Agropecuária	Pastagem	Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo.
	Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto).
	Lavoura Perene	Áreas ocupadas com culturas agrícolas com ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem a necessidade de novos plantios.
	Café	Áreas cultivadas com a cultura do café.
	Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
	Cana	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar.
	Mosaico de Usos	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
Área Não Vegetada	Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
	Outras Áreas não Vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entressafrá.
Corpos d'Água	Rio, Lago, Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Fonte: Do Autor, 2024.

No Projeto MapBiomias foi possível exportar dados de cobertura do solo, no período de 30 anos, com análises a cada 10 anos (1992, 2002, 2012 e 2022). Após o *download* da área de estudo no sistema de informação geográfica ArcGIS 10, versão ArcMap 10.1 (ESRI ArcGIS 10®) as informações de uso e ocupação do solo foram obtidas em um arquivo *raster*, houve a necessidade da conversão para o formato vetor (polígono), visando a realização dos cálculos de cada área de uso pertencentes a área de estudo.

Todos os mapas temáticos gerados foram atualizados para o Datum Horizontal SIRGAS 2000, com projeção UTM, Fuso 23S.

Para a análise morfométrica foi elaborado o banco de dados no sistema de informação geográfica para cada bacia hidrográfica estudada, sendo determinadas as características dimensionais, do padrão de drenagem e do relevo. A Tabela 2 apresenta as variáveis calculadas no presente trabalho, com as respectivas metodologias.

Tabela 2. Características Morfométricas Estudadas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Características Morfométricas Geometria			
Variáveis	Descrição	Fórmula	Fonte
Área (A)	Superfície total da bacia (km ²)	-	Horton (1945)
Perímetro (P)	Comprimento do divisor topográfico (km)	-	Smith (1950)
Maior Comprimento (C)	Linha reta sobre o vale principal que une a foz ao ponto extremo do divisor (km)	-	Schumm (1956)
Menor Largura (L)	Maior dimensão linear em um eixo transversal ao vale formado (km)	-	Strahler (1957)
Fator de Forma (Ff)	Razão entre a área da bacia e um retângulo	$Ff = A/C^2$	Horton (1945)
Coefficiente de Compacidade (Kc)	Relação entre perímetro e círculo de área igual à da bacia (=1, enchente)	$Kc = 0,28 * (P/A^{1/2})$	Oliveira et al., (2010)
Índice de Circularidade (Ic)	Tende para a unidade na forma circular, diminui à medida em que a forma torna-se mais alongada	$IC = 12,57 * A/P^2$	Torres et al., (2007)
Características Morfométricas Padrão de Drenagem			
Variáveis	Descrição	Fórmula	Fonte
Número de Segmentos de Rios (Nt)	Serão considerados o número de segmentos dos rios em cada ordem e o total da bacia, sendo identificados por Nw (Nw1, Nw2) e Nt, respectivamente	-	Horton (1945)
Comprimento da Rede de Drenagem (Cr)	Comprimento total dos segmentos de rios que formam as bacias (km)	-	Horton (1945) (Continua)...

(Continua)...

Densidade de Drenagem (Dd)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem e a área da bacia (km/km²)	Dd=Cr/A	Horton (1945)
Frequência de Rios (F)	Relação entre número de segmentos de rios e área da bacia (Nt/km²)	F=Nt/A	Horton (1945)
Características Morfométricas Padrão de Drenagem			
Variáveis	Descrição	Fórmula	Fonte
Número de Segmentos de Rios (Nw)	Número de segmentos dos rios em cada ordem, sendo identificados por Nw (Nw1, Nw2) e Nt	-	Horton (1945)
Comprimento Total de Rios (Ctw)	Comprimento total de todos os segmentos de rios em cada ordem que forma a rede de drenagem da bacia hidrográfica (km)	-	Horton (1945)
Razão de Textura (Rt)	Razão entre número de segmentos de rios e perímetro da bacia (Nt/km²)	Rt=Nt/P	França (1968) Smith (1950)
Extensão de Percurso Superficial (Eps)	Função da densidade de drenagem (km/km²). Indica o comprimento do caminho percorrido pelas águas da precipitação pluviométrica, antes de se estabilizar ao longo do canal (km)	Eps= 1/(2Dd)	Horton (1945)
Coeficiente de Manutenção (Cm)	Função da densidade de drenagem, proporcionando uma estimativa da área mínima que é exigida para que o canal de drenagem possa se implementar e desenvolver (km²/km)	Cm=(1/Dd)x1000	Schumm (1956)
Razão de Bifurcação (Rb)	Relação entre o número de segmentos de uma ordem e a imediatamente superior	Rb=N/N+1	Horton (1945)
Características Morfométricas Relevo			
Variáveis	Descrição	Fórmula	Fonte
Declividade (D)	A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (%)	-	Villela e Mattos (1975)
Altitude Máxima (Alt Max)	A variação de altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, consequentemente sobre o deflúvio médio.	-	Horton (1945)
Altitude Mínima (Alt Min)	Grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração.		
Altitude Média (Alt Med)	Mais significativas, porém, são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação (m)		
(Continua)...			

Amplitude altimétrica (H)	Diferença entre a maior cota e sua foz (m)	-	... (Conclusão) Strahler (1952)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre amplitude altimétrica e maior comprimento da bacia (m/km)	$Rr = H/C$	Schumm (1956)
Características Morfométricas Releva			
Variáveis	Descrição	Fórmula	Fonte
Razão de relevo relativo (Rrl)	Relação entre amplitude altimétrica e perímetro da bacia (m/km)	$Rrl = H/P$	Strahler (1958)
Gradiente do Canal Principal (Gcp)	Relação da cota máxima encontrada no curso do canal selecionado, correlacionando com o comprimento do mesmo (m/km)	$Gcp = \frac{Alt\ máx}{Crp}$	Christofolletti (1969)
Índice de rugosidade (Ir)	Relação entre amplitude altimétrica (km) e densidade de drenagem, empregado para a determinação da declividade média das encostas	$Ir = H \cdot Dd$	Strahler (1958)

Fonte: Do autor (2024).

A caracterização morfométrica da área de estudo foi realizada a partir da seleção de feições relevantes para a dinâmica hidrológica e geomorfológica da bacia hidrográfica. Em seguida, procederam-se aos cálculos morfométricos, utilizando-se o provedor GRASS no ambiente QGIS. As análises foram conduzidas com o apoio das ferramentas nativas 'Calculadora de Campo' e 'Estatísticas Zonais', que permitiram a extração de métricas fundamentais, como área de drenagem, densidade de drenagem, comprimento e ordem dos cursos d'água, declividade média, entre outras variáveis.

Para assegurar a robustez dos resultados, foi realizada uma avaliação qualitativa, baseada na análise da consistência visual dos dados gerados em relação aos mapas temáticos de referência, bem como uma avaliação quantitativa, com a comparação direta dos valores numéricos dos parâmetros morfométricos obtidos. Esta abordagem integrada permitiu validar a qualidade dos produtos gerados e garantir a confiabilidade das informações utilizadas nas etapas subsequentes de análise e interpretação ambiental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência, são apresentados os resultados gerados a partir do processamento e interpretação dos dados, evidenciando as principais características observadas.

4.1 Mapa de Hidrografia

Sabe-se que a análise morfométrica de bacias hidrográficas é um elemento fundamental para compreender sua dinâmica hidrológica, morfológica e ambiental, fornecendo subsídios para a gestão de recursos hídricos e a implementação de políticas de conservação (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957). Nesse sentido, a Bacia do Ribeirão do Gama caracteriza-se por uma rede hidrográfica complexa, evidenciada por sua estrutura de drenagem e pelo número expressivo de nascentes cadastradas. A compreensão detalhada dessas características é capaz de permitir avaliar a capacidade de escoamento da bacia, sua vulnerabilidade a eventos climáticos e a efetividade das metodologias de monitoramento hidrológico.

Quanto aos padrões de drenagem Villela e Mattos (1975) escreve que são indicadores fundamentais da organização da rede hidrográfica e de sua relação com fatores fisiográficos, como relevo, declividade e geologia da região. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, apresenta 640 segmentos de rios, totalizando um comprimento de 239,3802 km. E nesse contexto, o extenso desenvolvimento da rede hidrográfica configura um sistema bem estruturado e potencialmente responsivo a eventos de precipitação intensa (STRAHLER, 1957).

A densidade de drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama é equivalente a 2,1675 km/km² e sugere um elevado grau de escoamento superficial. Segundo Horton (1945), esse escoamento é influenciado pelas características do solo e da cobertura vegetal, e acaba sendo fator determinante para a vazão dos cursos d'água, podendo impactar tanto a disponibilidade hídrica quanto os processos erosivos na região de Itapecerica, onde está localizada a área de estudo.

Os resultados obtidos para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama indicaram uma densidade de drenagem de 2,17 km/km², apontando para uma rede hidrográfica bem desenvolvida e uma potencialidade elevada de escoamento superficial. Esse comportamento está associado às características topográficas da região, notadamente as áreas de maior declividade, e à configuração atual da cobertura do solo.

Estudo conduzido por Mesquita *et al.*, (2017) na Bacia Hidrográfica do Córrego Manhuaçuinho, também em Minas Gerais, registrou uma densidade de drenagem de 1,92

km/km², valor próximo ao identificado neste trabalho. A bacia hidrográfica analisada, caracterizada por relevo montanhoso e pela presença de Latossolos bem drenados, apresentou comportamento hidrológico semelhante, com predominância de escoamento superficial e baixa capacidade de infiltração.

De forma corroborativa, Silva *et al.*, (2020), em análise da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, no Distrito Federal, observaram que bacias com maior densidade de drenagem e relevo mais acidentado respondem rapidamente aos eventos de precipitação, intensificando os processos erosivos e aumentando o risco de assoreamento dos cursos d'água (SILVA; BATISTA; OLIVEIRA, 2020).

Da mesma forma, a análise morfométrica realizada por Almeida *et al.*, (2024) na Bacia do Alto Sapucaí, no sul de Minas Gerais, revelou uma densidade de drenagem ainda mais elevada (29 km/km²), associada a um relevo altamente dissecado e declivoso. Essa configuração contribui para o aumento da velocidade do escoamento superficial e da vulnerabilidade a inundações, especialmente em eventos de chuvas intensas. Embora a Bacia do Ribeirão do Gama apresente um valor inferior, os padrões morfométricos discutidos no estudo do Alto Sapucaí corroboram a correlação entre elevada densidade de drenagem e risco hidrológico acentuado.

Ainda, estudos realizados por Christofolletti (1980) destacam que bacias hidrográficas com densidade de drenagem elevada tendem a apresentar menor tempo de concentração, implicando respostas hidrológicas mais rápidas e maior susceptibilidade a eventos extremos, como inundações e enchentes.

Esses resultados convergem com o trabalho de Rodrigues *et al.*, (2021), que ao estudarem bacias hidrográficas no estado de São Paulo, reforçaram a importância da preservação da cobertura vegetal em áreas de maior declividade para minimizar o escoamento superficial e reduzir a erosão hídrica.

Portanto, os achados do presente estudo, alinhados à literatura científica, evidenciam que a adoção de práticas conservacionistas no uso e manejo do solo como reflorestamento de áreas degradadas, manutenção de matas ciliares e técnicas de terraceamento são essenciais para a conservação dos recursos hídricos e para a sustentabilidade das bacias hidrográficas.

Em relação à frequência dos rios, após estudos foi possível notar o valor de 5,7951 rios/km², indicando um padrão de drenagem altamente fragmentado, característico de áreas com topografia acidentada e solos de baixa permeabilidade, como disserta Villela e Mattos (1975). No entanto, percebe-se que a topografia acidentada é recente, sendo que o relevo recente indica

novos micro tectonismos na região do estudo, desencadeando diversas falhas, soerguimentos e dobras no local.

Strahler (1957) ressalta que a distribuição hierárquica da rede é evidenciada pela predominância de rios de 1ª ordem ($N1 = 343$), que representam as nascentes e pequenos cursos d'água responsáveis pela alimentação do sistema fluvial. A Tabela 3 apresenta as principais características morfométricas do padrão de drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, os quais são fundamentais para a avaliação de sua dinâmica hidrológica.

Tabela 3. Características Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Grupo	Variáveis	Valores	
Padrão de Drenagem	Número de Segmentos de Rios (Nt)	640	unid
	Comprimento da Rede de Drenagem (Cr)	239,38	km
	Densidade de Drenagem (Dd)	2,17	km/km ²
	Frequência de Rios (F)	5,80	(Nt/km ²)
	Número de Segmentos de Rios de 1ª ordem (N1)	343	unid
	Comprimento Total de Rios de 1ª ordem (Ct1)	116,52	km
	Número de Segmentos de Rios de 2ª ordem (N2)	170	unid
	Comprimento Total de Rios de 2ª ordem (Ct2)	57,71	km
	Número de Segmentos de Rios de 3ª ordem (N3)	101	unid
	Comprimento Total de Rios de 3ª ordem (Ct3)	37,72	km
	Número de Segmentos de Rios de 4ª ordem (N4)	25	unid
	Comprimento Total de Rios de 4ª ordem (Ct4)	11,13	km
	Número de Segmentos de Rios de 5ª ordem (N5)	1	unid
	Comprimento Total de Rios de 5ª ordem (Ct5)	16,31	km
	Razão de Textura (Rt)	11,24	Nt/km
	Extensão de Percurso Superficial (Eps)	0,25	km
	Coefficiente de Manutenção (Cm)	491,59	km ² /km

Fonte: Do autor (2025).

Observa-se que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama possui 94 nascentes cadastradas, conforme dados da FBDS (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável). A relação dessas nascentes com a rede hidrográfica evidencia a importância dos cursos d'água de 1ª ordem na sustentação da dinâmica hídrica da bacia hidrográfica. A predominância de rios de menor ordem (1ª e 2ª) reforça o caráter disperso do fluxo hídrico, onde a recarga superficial se dá de forma distribuída, impactando diretamente a vazão (STRAHLER, 1957).

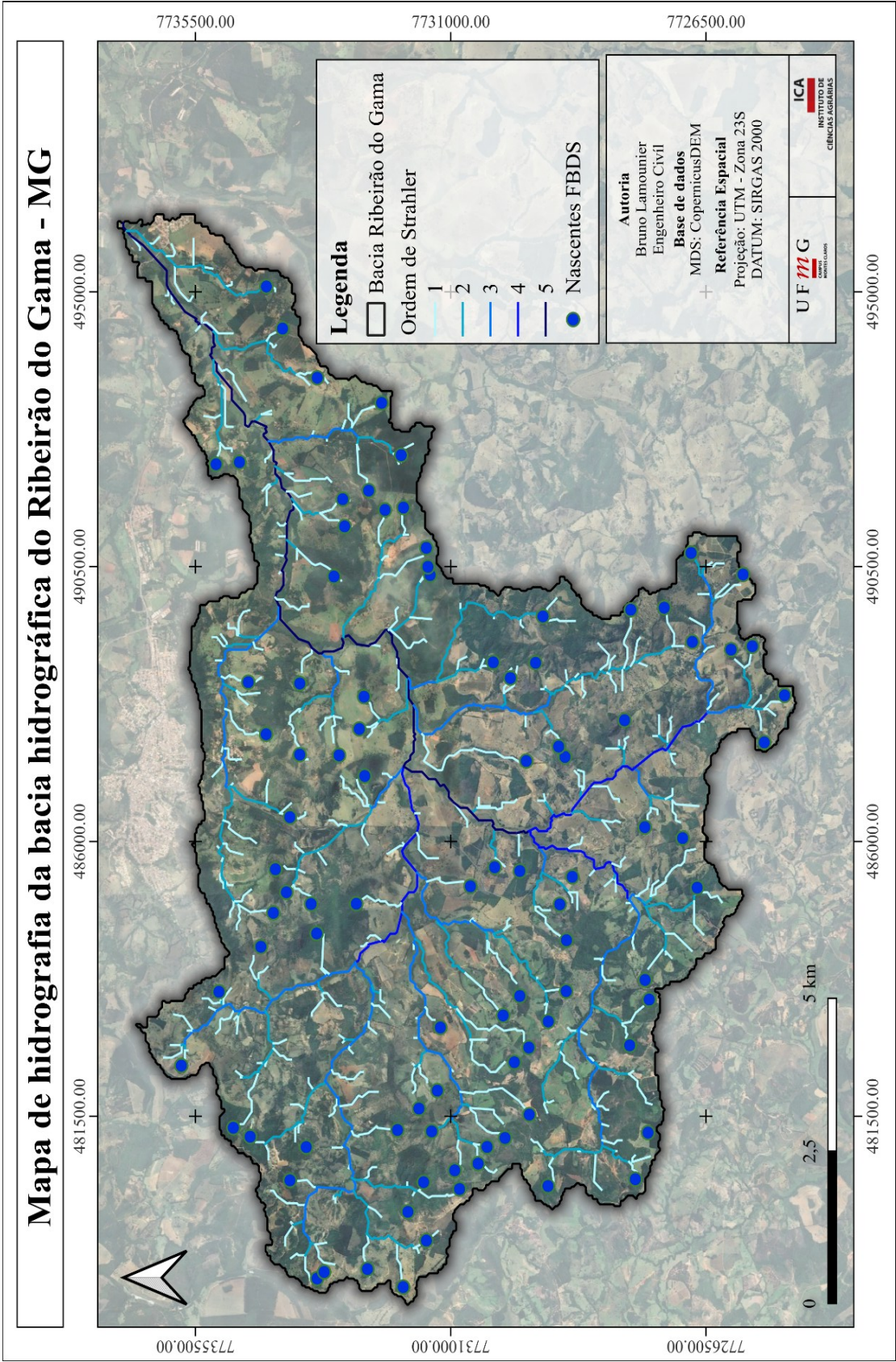
Também observa-se compatibilidade entre as nascentes cadastradas e os cursos d'água gerados pelo modelo digital indicando um alto grau de coerência entre as metodologias. Em geral, canais de primeira ordem são rios efêmeros, que só possuem fluxo durante e após grandes chuvas, isso explica as discrepâncias encontradas. Entretanto, foram identificadas discrepâncias em pontos específicos, onde a hidrografia gerada automaticamente apresenta cursos d'água sem correspondência nas bases do FBDS. Sendo assim, de acordo com Tarboton *et al.*, (1991) esse achado pode ser explicado por variações na escala e na resolução do Modelo Digital de Terreno.

Sobre o levantamento da hidrografia da área de estudo, foi realizado por meio da ferramenta GRASS do QGIS, que emprega modelos digitais de terreno para a extração automática de redes de drenagem. A comparação desses dados com os registros da FBDS aponta para a necessidade de aprimoramento das metodologias de levantamento, especialmente no que se refere à calibração dos parâmetros de limiar para definição dos cursos d'água (MAIDMENT, 1993).

Tucci (2002) indica que a integração de dados de sensoriamento remoto com levantamentos de campo é uma abordagem eficaz para aumentar a acurácia das análises hidrológicas. E segundo Maidment (1993), a utilização de sensores de alta resolução pode reduzir os desvios observados e proporcionar uma representação mais fidedigna da rede hidrográfica.

Por fim, a análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama apoiada pela Tabela 3, evidencia um sistema hidrográfico complexo e bem estruturado, com uma elevada densidade de drenagem e uma rede predominantemente composta por cursos d'água de 1ª ordem (Figura 4). A correlação entre os parâmetros de drenagem, o número de nascentes e a hierarquia da rede reforça a necessidade de monitoramento contínuo para garantir a precisão das bases de dados hidrológicas.

Figura 4. Mapa de Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2025).

4.2 Mapa de Declividade

A análise da declividade na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama (Tabela 4) apresenta a distribuição espacial das classes de relevo segundo os critérios da Embrapa (2018), evidenciando a predominância de áreas com declividades que variam entre plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso. Essa caracterização é fundamental para o entendimento das condições geomorfológicas da bacia e para o planejamento do uso e manejo do solo na região.

Tabela 4. Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Classe de declividade	Descrição	Km ²	%
0 - 3%	Plano	5,64	5,11
3 - 8%	Suave ondulado	13,69	12,40
8 - 20%	Ondulado	23,24	21,04
20 - 45%	Forte ondulado	38,19	34,58
45 - 75%	Montanhoso	29,69	26,88
Total		110,44	100

Fonte: Do autor (2024).

Observa-se que a classe de declividade forte ondulado (20% - 45%) ocupa a maior proporção da área da bacia, correspondendo a 34,58% do total. A seguir, destaca-se a classe montanhoso, presente em 26,88% da área, enquanto a classe ondulado representa 21,04%. As áreas com menor declividade, classificadas como plano e suave ondulado, abrangem conjuntamente 19,33 km², equivalentes a 17,51% da área total da bacia, indicando uma extensão restrita de terrenos planos na região estudada. Tal distribuição revela uma heterogeneidade morfométrica significativa, com predomínio de áreas de relevo acentuado, aspecto relevante para análises de suscetibilidade à erosão, manejo hídrico e planejamento do uso do solo na bacia hidrográfica.

Os autores Kaliraj, Chandrasekar e Magesh (2015) discutem a importância da declividade como um fator crucial para a avaliação das inundações e enchentes, afirmando que a inclinação do terreno influencia diretamente a velocidade do escoamento superficial. De acordo com estes autores, áreas com maior declividade tendem a apresentar um escoamento mais rápido, enquanto terrenos com inclinações mais suaves proporcionam uma infiltração maior da água, resultando em menor risco de enchentes. Além disso, por se tratar de um relevo acentuado, muitas vezes os solos não são desenvolvidos e com perfis curtos. Sendo assim, há

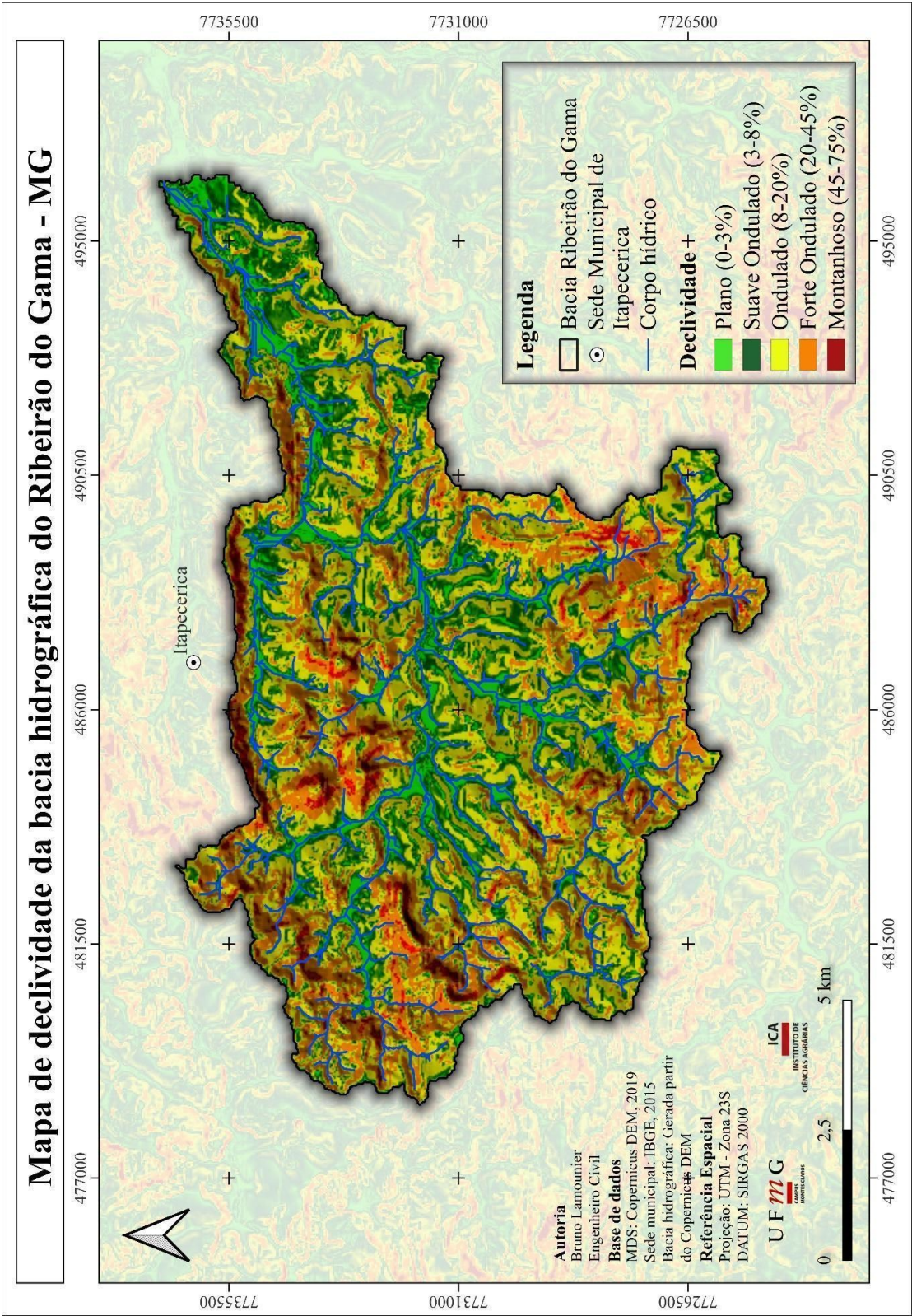
um favorecimento do escoamento superficial e do escoamento subsuperficial, favorecendo os movimentos de massa.

A área de estudo, com extensão total de 110,44 km², apresenta uma distribuição heterogênea de classes de declividade. É possível observar no mapa de declividade (Figura 5) que as regiões nordeste e central variam predominantemente de plano (0 - 3%) à suave ondulado (3% - 8%). A região sudoeste apresenta relevo predominantemente ondulado (8% - 20%). As regiões norte, noroeste, sul e sudeste exibem declividades que variam de ondulado a montanhoso (45%-75%).

A presente análise contribui para a compreensão das características geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, onde a predominância de áreas montanhosas e fortemente onduladas indica um potencial elevado para escoamento superficial acelerado. Essa condição pode exercer influência significativa na dinâmica hídrica regional, afetando processos como a resposta hidrológica, o transporte de sedimentos e a gestão dos recursos hídricos. (Figura 5).

Nesta condição também é o estudo de Severo *et al.*, (2024), que analisaram as Bacias Hidrográficas dos Rios Beni e Mamoré, afluentes do Rio Madeira, utilizando dados altimétricos do SRTM e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os resultados indicaram que, apesar das diferenças em suas áreas, ambas as bacias hidrográficas apresentam características morfométricas semelhantes, como formas alongadas, baixa densidade de drenagem e ampla variação altimétrica. Essas características sugerem uma baixa predisposição para inundações e um bom escoamento superficial no curso principal.

Figura 5. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2025).

Com base nos dados apresentados, observa-se que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama possui áreas com maior declividade, que demandam atenção especial devido à maior suscetibilidade à erosão natural. Dessa forma, o plano de manejo da bacia deve incluir diretrizes rigorosas de uso e ocupação do solo nessas regiões de declividade acentuada. Nesse contexto, Cardoso *et al.*, (2006) recomendam a preservação da cobertura vegetal em áreas de maior inclinação, como medida para garantir a manutenção dos níveis de infiltração de água e reduzir o transporte de sedimentos para os cursos d'água, contribuindo para a mitigação de impactos erosivos e preservação dos recursos hídricos.

Esses estudos reforçam a necessidade de incorporar a análise da declividade nas estratégias de planejamento territorial e manejo de bacias hidrográficas. A compreensão detalhada das características morfométricas permite a identificação de áreas críticas e a implementação de práticas adequadas para a conservação dos recursos hídricos e a prevenção de processos erosivos.

Sombra (2018) analisou a morfometria e o uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Jurumirim, localizada em Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. O autor avaliou a vulnerabilidade à erosão em áreas de maior declividade, destacando que as inclinações superiores a 15% predominam na bacia estudada. Esse fator, aliado a outros elementos morfológicos, torna a região suscetível a processos erosivos, requerendo a manutenção da cobertura florestal e a limitação da densidade de ocupação nessas áreas. Desta maneira, o autor enfatiza a importância de práticas conservacionistas voltadas à preservação do solo, minimizando a degradação ambiental e os impactos nos recursos hídricos. Esses achados corroboram as observações feitas na presente análise da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, reforçando a relevância de medidas conservacionistas para assegurar a integridade dos recursos hídricos e fornece uma base técnica para o desenvolvimento de estratégias de manejo do solo, essenciais para a sustentabilidade ambiental.

4.3 Mapa de Hipsometria

O Mapa Hipsométrico representa as faixas de variação altimétrica das bacias por meio de curvas de nível. Essas faixas são representadas visualmente por cores as quais, por convenção, seguem o padrão de verde para as baixas altitudes e cores mais quentes chegando ao tom marrom para as altas altitudes (LADEIRA NETO, 2005). Esta variável, permite compreender a configuração e condições do desgaste do relevo, identificar as áreas mais rebaixadas pelos agentes externos, bem como as áreas mais preservadas devido à resistência dos componentes geológicos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A faixa de elevação entre 700 m e 800 m, que abrange 6,77 km², correspondente a 6,13% da área total da bacia hidrográfica, apresenta solos férteis decorrentes da deposição de sedimentos, conforme relatado por Christofolletti (1980). Essas áreas, por sua vulnerabilidade a processos de inundação, demandam a implementação de estratégias de manejo que minimizem os riscos associados a eventos de enchentes. Nesse contexto, Tucci (1993) destaca a relevância de sistemas de alerta precoce e da infraestrutura adequada para a mitigação desses impactos hidrológicos. Complementarmente, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no "Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água", ressalta a importância da proteção das áreas de recarga hídrica, reconhecidas como fundamentais para a sustentabilidade e preservação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A faixa predominante entre 800 m e 900 m, que abrange 62,16 km², correspondente a 56,28% da área total da bacia hidrográfica (Tabela 5), exerce influência significativa no microclima local, impactando processos como a evapotranspiração. Villela e Mattos (1975) ressaltam que áreas situadas em altitudes intermediárias desempenham papel fundamental na modulação climática e na dinâmica hídrica, aspectos essenciais para o planejamento adequado do uso do solo. Nesse sentido, a adoção de práticas sustentáveis torna-se imprescindível, conforme discutido por Lima e Zakia (2004), alinhando-se ainda às diretrizes estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em seu *Manual Técnico de Geomorfologia*, que oferece subsídios técnicos relevantes para o planejamento territorial.

Tabela 5. Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Elevação	Km²	%
700m a 800m	6,77	6,13
800m a 900m	62,16	56,28
900m a 1000m	26,47	23,97
1000m a 1100m	15,05	13,63
Total	110,44	100

Fonte: Do autor (2024).

As áreas situadas entre 900 m e 1000 m de altitude, correspondendo a 26,47 km² ou 23,97% da área total da bacia, desempenham papel fundamental na recarga hídrica da região. Strahler (1958) destaca a importância das zonas de recarga para a manutenção do fluxo base dos rios, ressaltando sua função na estabilidade hidrológica dos sistemas fluviais. Essa necessidade de proteção é corroborada por Leopold *et al.*, (1964), que discutem o papel

essencial dessas áreas na regulação dos regimes fluviais. Em consonância, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio do Programa Nacional de Conservação da Biodiversidade, enfatiza a preservação das áreas de vegetação nativa, reconhecidas como indispensáveis para a conservação da biodiversidade e proteção dos mananciais.

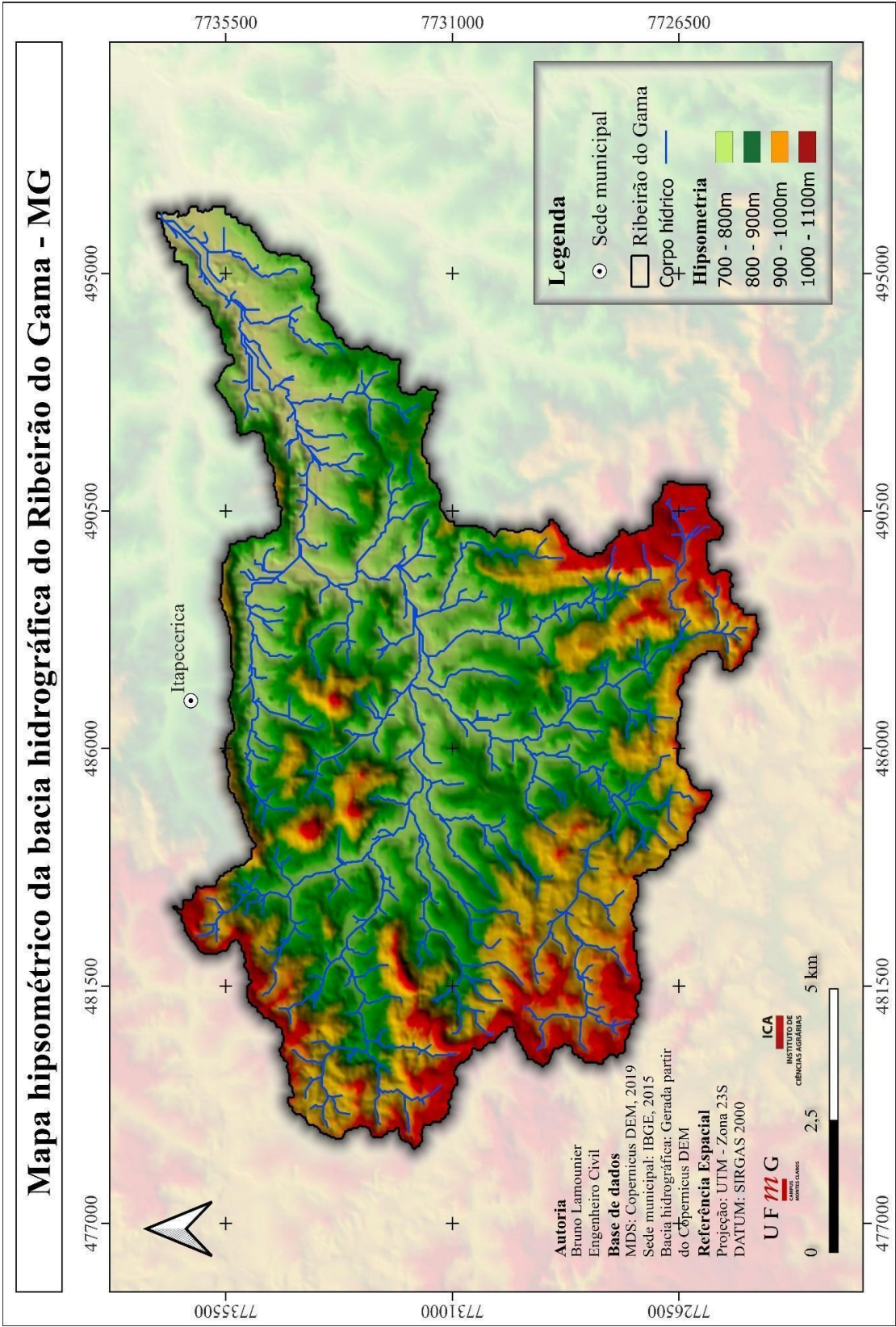
Por sua vez, a faixa altitudinal entre 1000 m e 1100 m, que abrange 15,05 km² ou 13,63% da bacia hidrográfica, corresponde às elevações mais expressivas da região. Frequentemente cobertas por vegetação nativa, essas áreas contribuem significativamente para a conservação da biodiversidade e para a prevenção da degradação do solo e do assoreamento dos corpos d'água, conforme argumentado por Gregory e Walling (1973). A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) reforça a importância da proteção das bacias hidrográficas que abastecem a região, destacando a necessidade de práticas sustentáveis de manejo.

A análise hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama (Figura 6), quando articulada com estudos acadêmicos e diretrizes de órgãos públicos, oferece uma compreensão integrada dos processos ambientais e hidrológicos locais. A distribuição altimétrica apresenta-se como fator determinante para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo sustentável, refletindo tanto os fundamentos teóricos quanto as orientações normativas vigentes.

Adicionalmente, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA-DF), em seus planos de gestão ambiental, reforça a importância da incorporação da análise hipsométrica no planejamento do uso do solo, visando o desenvolvimento sustentável. A Bacia do Ribeirão do Gama, com suas distintas variações altimétricas, exemplifica a relevância do planejamento territorial integrado para mitigar riscos ambientais e preservar os recursos naturais.

Em síntese, a análise hipsométrica, enriquecida por referências científicas e políticas públicas, evidencia a necessidade de considerar a distribuição altimétrica na gestão da bacia hidrográfica. As estratégias de manejo devem priorizar a conservação das áreas de maior altitude para assegurar a recarga hídrica e prevenir processos erosivos, enquanto a promoção de práticas sustentáveis nas faixas intermediárias de elevação é essencial para o equilíbrio entre uso e conservação do solo. A implementação de políticas de zoneamento e conservação, conforme recomendam Lima e Zakia (2004) e órgãos como a ANA e o MMA, pode contribuir para harmonizar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, garantindo a resiliência da área diante das mudanças climáticas e das pressões antrópicas.

Figura 6. Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2025).

4.4 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

A análise temporal do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, no período de 1992 a 2022, revela transformações significativas na paisagem, refletindo mudanças no padrão de uso da terra e nos processos socioambientais que atuam sobre a área de estudo. O monitoramento sistemático e contínuo dessas alterações é fundamental para a compreensão da dinâmica ambiental e para a formulação de estratégias eficazes de gestão territorial sustentável (PEREIRA; LIMA, 2021).

De acordo com os dados analisados e os mapas temáticos gerados, destaca-se o aumento da área ocupada por Formação Florestal, que passou de 13,54 km² (12,26%) em 1992 para 19,32 km² (17,49%) em 2022, um acréscimo de 5,23%. Tal crescimento reflete a recuperação de cobertura vegetal nativa, processo vital para a estabilidade dos ecossistemas, regulação hidrológica e melhoria da qualidade ambiental (CHRISTOFOLETTI, 1980). Esse resultado também pode estar associado a iniciativas de reflorestamento e ações de proteção ambiental incentivadas por políticas públicas e organismos como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (SILVA *et al.*, 2020).

Outros tipos de ocupação do solo também apresentaram variações positivas, ainda que em menor proporção. A Formação Savânica cresceu de 0,13 km² (0,12%) para 0,22 km² (0,20%), enquanto a Formação Campestre passou de 0,32 km² (0,29%) para 0,44 km² (0,40%), entre 1992 e 2022. Esses aumentos, embora modestos, podem sinalizar processos de regeneração natural ou manejo orientado à recuperação de áreas degradadas, conforme preconizado por políticas de conservação de biomas (SILVA *et al.*, 2020).

Em contrapartida, destaca-se o crescimento expressivo do uso Silvicultura, que saltou de 0,06 km² (0,05%) em 1992 para 8,24 km² (7,46%) em 2022, representando um aumento de 7,41%. A expansão da Silvicultura indica a intensificação de atividades econômicas relacionadas à produção florestal, o que pode trazer benefícios econômicos locais, desde que manejada de forma sustentável para mitigar impactos ambientais como a perda de biodiversidade e o empobrecimento do solo (LIMA; ZAKIA, 2004).

Por outro lado, houve uma redução significativa nas áreas destinadas à Pastagem, que passaram de 75,20 km² (68,09%) em 1992 para 59,56 km² (53,93%) em 2022, uma retração de 14,16%. Essa diminuição pode indicar uma substituição progressiva de atividades extensivas por usos mais intensivos ou sustentáveis do solo, como reflorestamento e silvicultura. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) destaca que o manejo adequado das pastagens é essencial para a proteção dos recursos hídricos e para a conservação do solo (BRASIL, 2021).

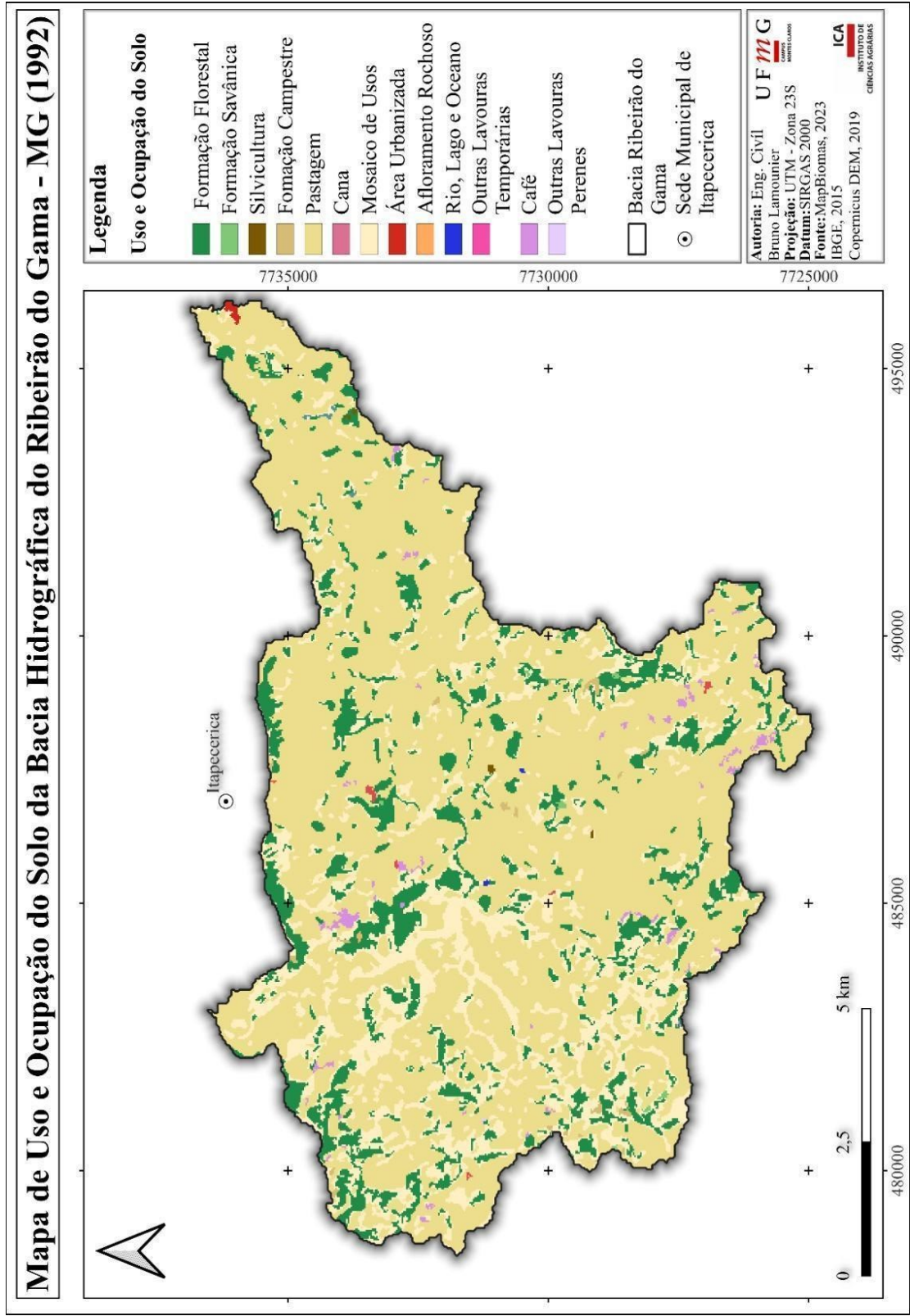
Essas mudanças estão representadas na Tabela 6 e na Figura 7, e demonstram que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama está passando por um processo de reconfiguração de suas paisagens. A tendência de substituição de áreas de pastagem por cobertura natural sugere um movimento positivo em direção a práticas mais sustentáveis. No entanto, o crescimento urbano, embora ainda restrito, exige monitoramento contínuo e políticas públicas de ordenamento territorial e conservação ambiental.

Tabela 6. Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Uso e Ocupação do Solo	1992		2002		2012		2022	
	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%
Formação Florestal	13,54	12,26	16,05	14,53	18,71	16,94	19,32	17,49
Formação Savânica	0,13	0,12	0,19	0,17	0,19	0,17	0,22	0,20
Silvicultura	0,06	0,05	0,68	0,62	7,62	6,90	8,24	7,46
Campo Alagado	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-
Formação Campestre	0,32	0,29	0,28	0,25	0,22	0,20	0,44	0,40
Pastagem	75,20	68,09	72,37	65,53	58,10	52,61	59,56	53,93
Mosaico	20,29	18,37	19,93	18,05	25,00	22,64	21,69	19,64
Área Urbanizada	0,07	0,06	0,13	0,12	0,22	0,20	0,23	0,21
Áreas não vegetadas	0,09	0,08	0,07	0,06	0,01	0,01	-	-
Afloramento Rochoso	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Corpos d'Água	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Lavouras Temporárias	-	-	0,01	0,01	0,02	0,02	0,27	0,24
Café	0,67	0,61	0,71	0,64	0,31	0,28	0,41	0,37
Cana	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02
Lavouras Perenes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Área Bacia	110,44	100,00	110,44	100,00	110,44	100,00	110,44	100,00

Fonte: Do autor (2024).

Figura 7. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 1992.



Fonte: Do autor (2025).

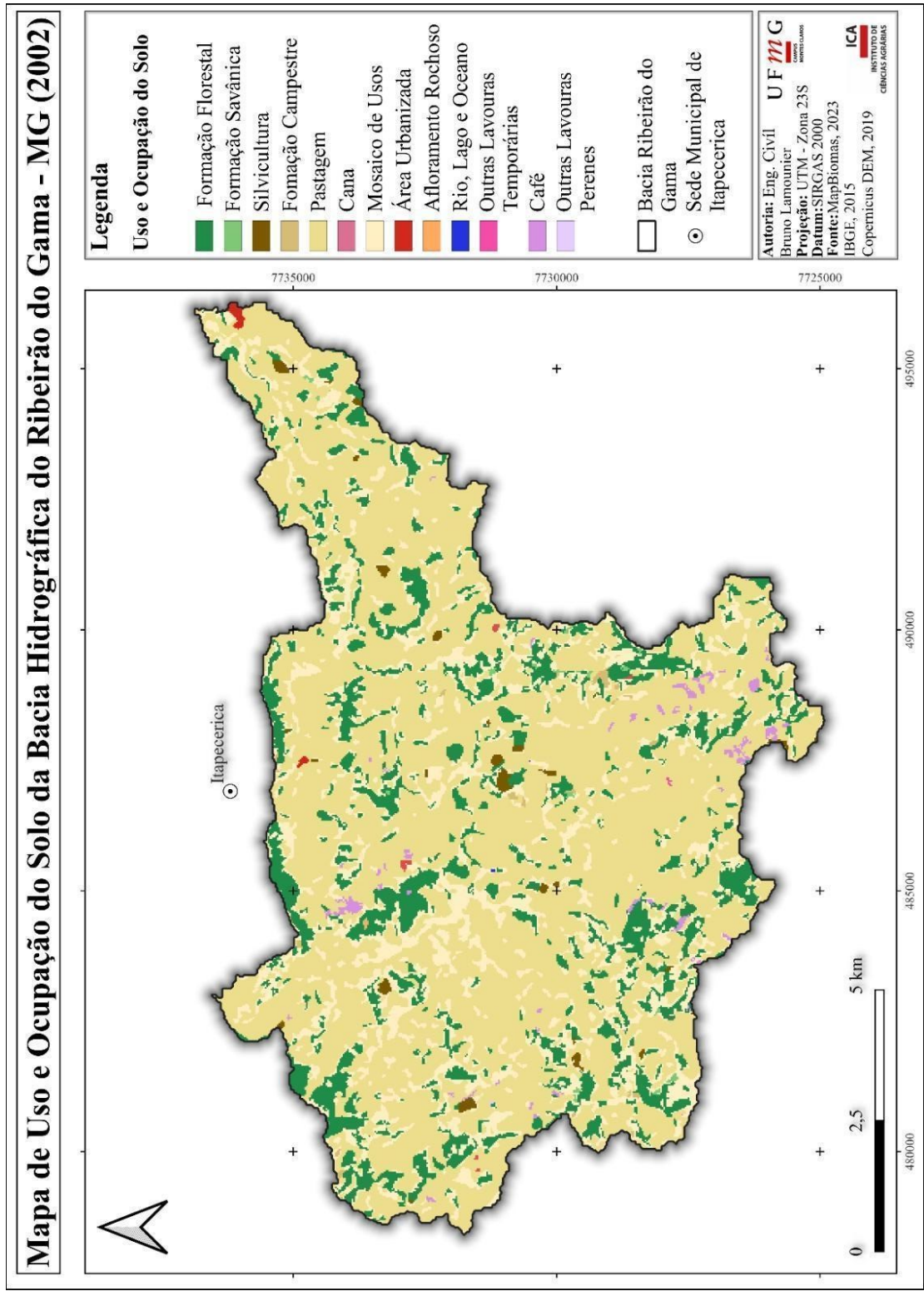
A Área Urbanizada apresentou crescimento de 0,07 km² (0,06%) para 0,23 km² (0,21%) no período analisado, indicando um processo moderado de expansão urbana. Embora quantitativamente reduzido, esse crescimento demanda atenção quanto à infraestrutura de saneamento, impermeabilização do solo e geração de escoamento superficial. Tucci (1993) ressalta a importância de sistemas integrados de gestão urbana que considerem os impactos sobre as bacias hidrográficas, a fim de preservar os serviços ecossistêmicos e mitigar riscos de degradação ambiental.

As áreas destinadas ao uso com Lavouras Temporárias e Perenes, incluindo cultivos como café e cana-de-açúcar, apresentaram variações mínimas ao longo do período analisado, com leve incremento até o ano de 2022. Essa estabilidade pode estar associada a políticas de incentivo à produção agrícola sustentável promovidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que visam aumentar a produtividade sem comprometer os recursos naturais (SANTOS; CARVALHO, 2017) (Figuras 8, 9 e 10).

A integração entre os dados altimétricos e o uso e ocupação do solo demonstra a influência direta da altitude nas escolhas de uso do solo, nos processos erosivos, na recarga hídrica e na conservação da cobertura vegetal. As faixas de maior altitude (acima de 900 m) desempenham papel estratégico para a conservação dos recursos naturais, enquanto as altitudes intermediárias são mais propícias ao uso econômico desde que sustentáveis. Já as altitudes mais baixas demandam políticas públicas específicas para o controle da expansão urbana e conservação de áreas de várzea (GREGORY; WALLING, 1973; MMA, 2021).

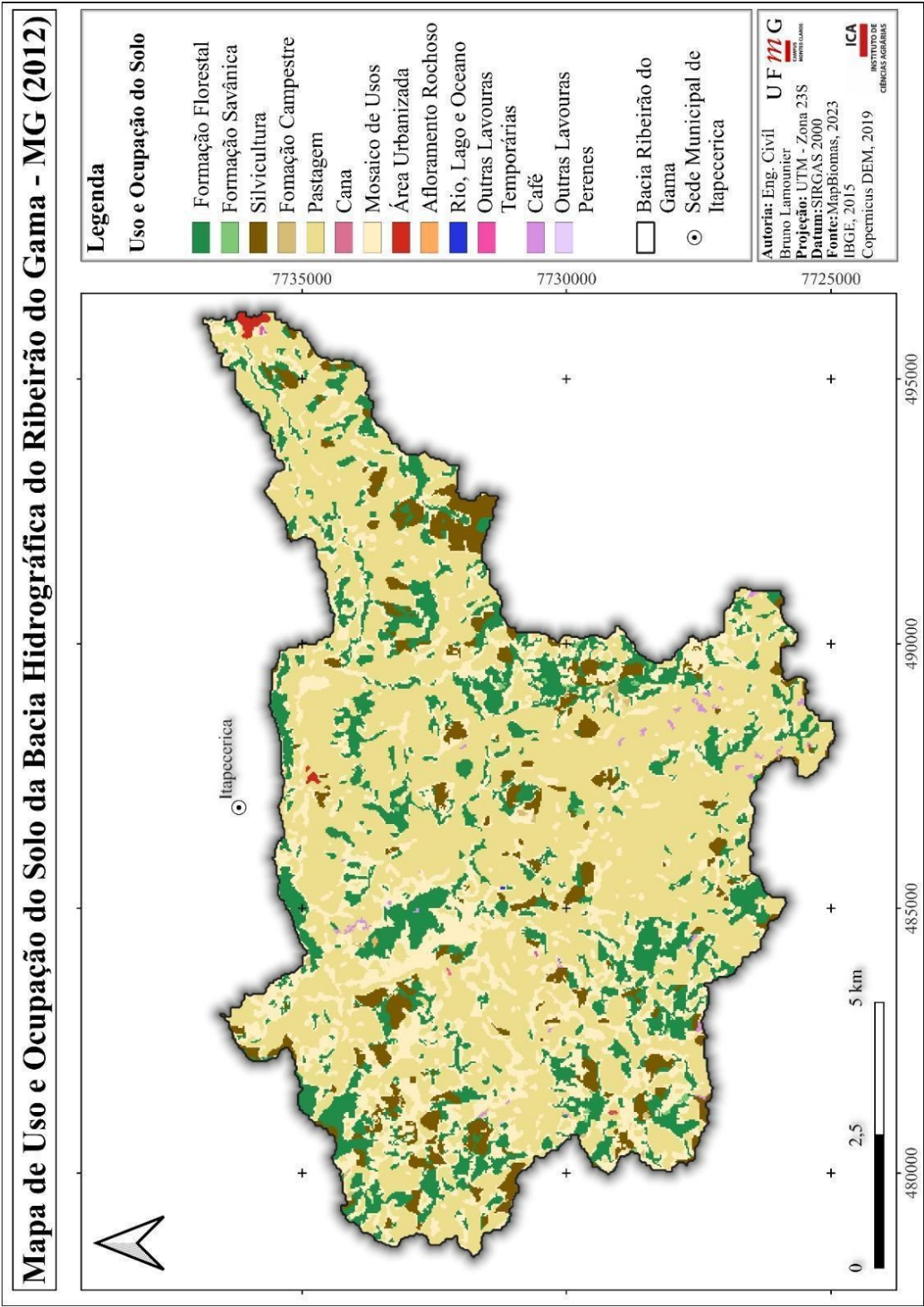
Dessa forma, a análise conjunta da altimetria e do uso do solo reforça a necessidade de um planejamento territorial integrado, que leve em consideração as características físicas da bacia e os impactos socioambientais do uso da terra. Estratégias de manejo sustentável, como zoneamento ecológico-econômico e incentivos à recuperação de áreas degradadas, são fundamentais para garantir a resiliência ambiental e a sustentabilidade dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama.

Figura 8. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 2002.



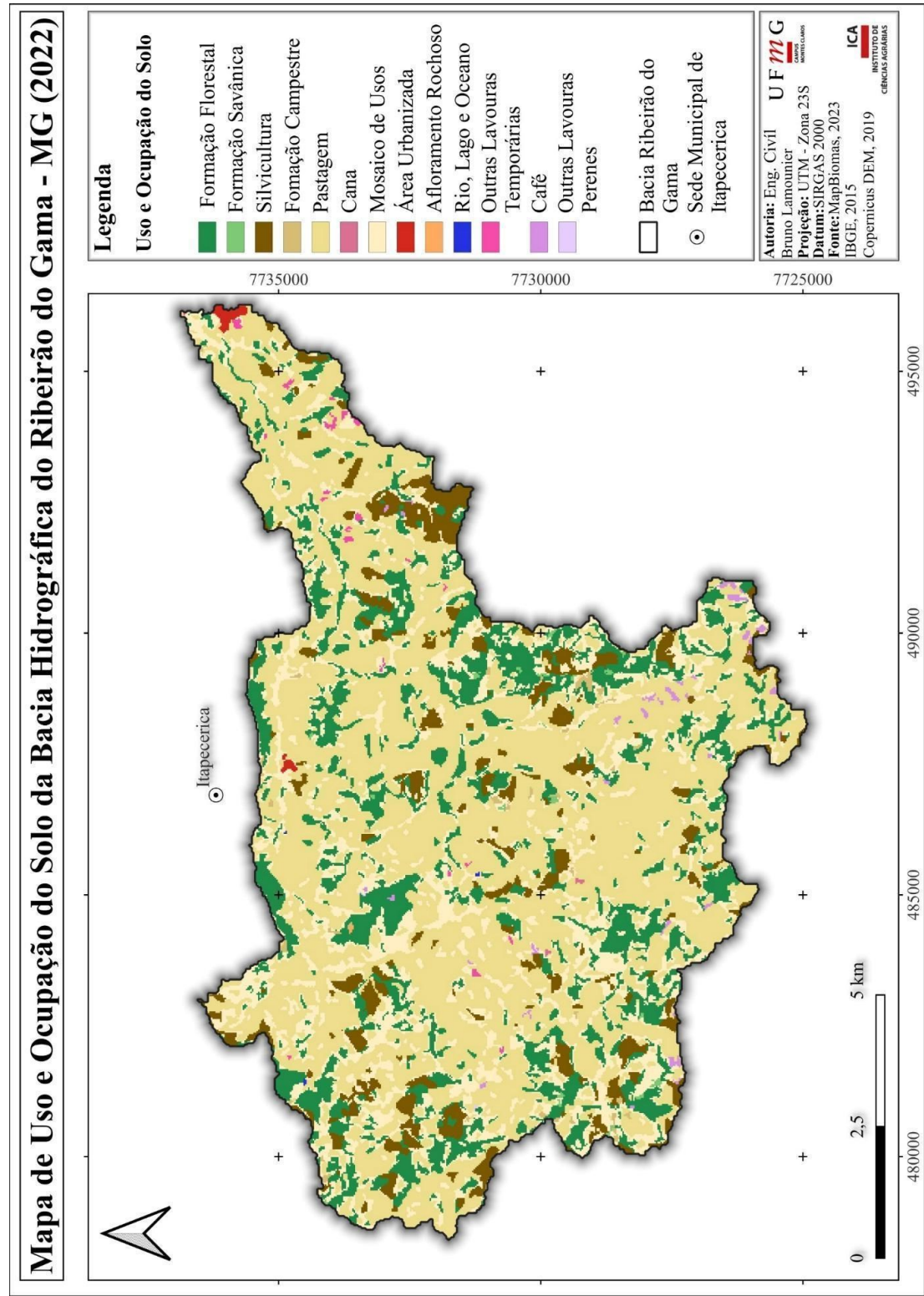
Fonte: Do autor (2025).

Figura 9. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 2012.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 10. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais, Ano 2022.



Fonte: Do autor (2025).

4.5 Mapa de Solos

O mapeamento dos solos é essencial para o estudo e manejo de bacias hidrográficas, pois diferentes classes de solo apresentam susceptibilidade variada à erosão, mesmo sob condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essa variabilidade está intrinsecamente ligada às propriedades físicas e químicas dos solos, como textura, estrutura, densidade, porosidade e permeabilidade, que influenciam diretamente a infiltração da água e, consequentemente, a erodibilidade do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, destacam-se três grandes classes de solos: Cambissolos, Argissolos e Latossolos, os quais apresentam características distintas de gênese, estrutura, profundidade e comportamento frente à dinâmica hídrica.

Na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, o Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd) é a classe de solo predominante, cobrindo aproximadamente 61,82 km², o que corresponde a 55,94% da área total da bacia (Tabela 7). Caracterizados por sua formação incipiente e horizonte B pouco desenvolvido, esses solos apresentam boa drenagem e são comumente encontrados em terrenos de relevo acidentado. Devido à sua menor profundidade e estabilidade relativa, os Cambissolos são moderadamente suscetíveis à erosão, especialmente em áreas com declividades acentuadas, exigindo práticas de manejo adequadas para prevenir a degradação do solo (EMBRAPA, 2018).

Tabela 7. Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Solos	Km ²	%
CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico	61,78	55,94
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico	3,20	2,90
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	3,40	3,08
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	36,78	33,30
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	5,11	4,63
Área Urbana	0,17	0,15
Total	110,44	100,00

Fonte: Do autor (2024).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (PVAd) ocupam cerca de 33,3% da área da bacia hidrográfica (36,8 km²) e caracterizam-se pela presença de um horizonte argílico

resultante da migração e acumulação de argila em profundidade. Esses solos apresentam maior capacidade de retenção de nutrientes do que os Cambissolos, sendo indicados para o uso agrícola sob boas práticas de manejo. No entanto, devido à sua textura mais argilosa e baixa saturação por bases, os Argissolos são mais suscetíveis à erosão, principalmente em áreas com relevo ondulado a forte ondulado e ausência de cobertura vegetal (EMBRAPA, 2018). Para mitigar esses riscos, recomenda-se cobertura vegetal permanente e rotação de culturas (EMBRAPA, 2018).

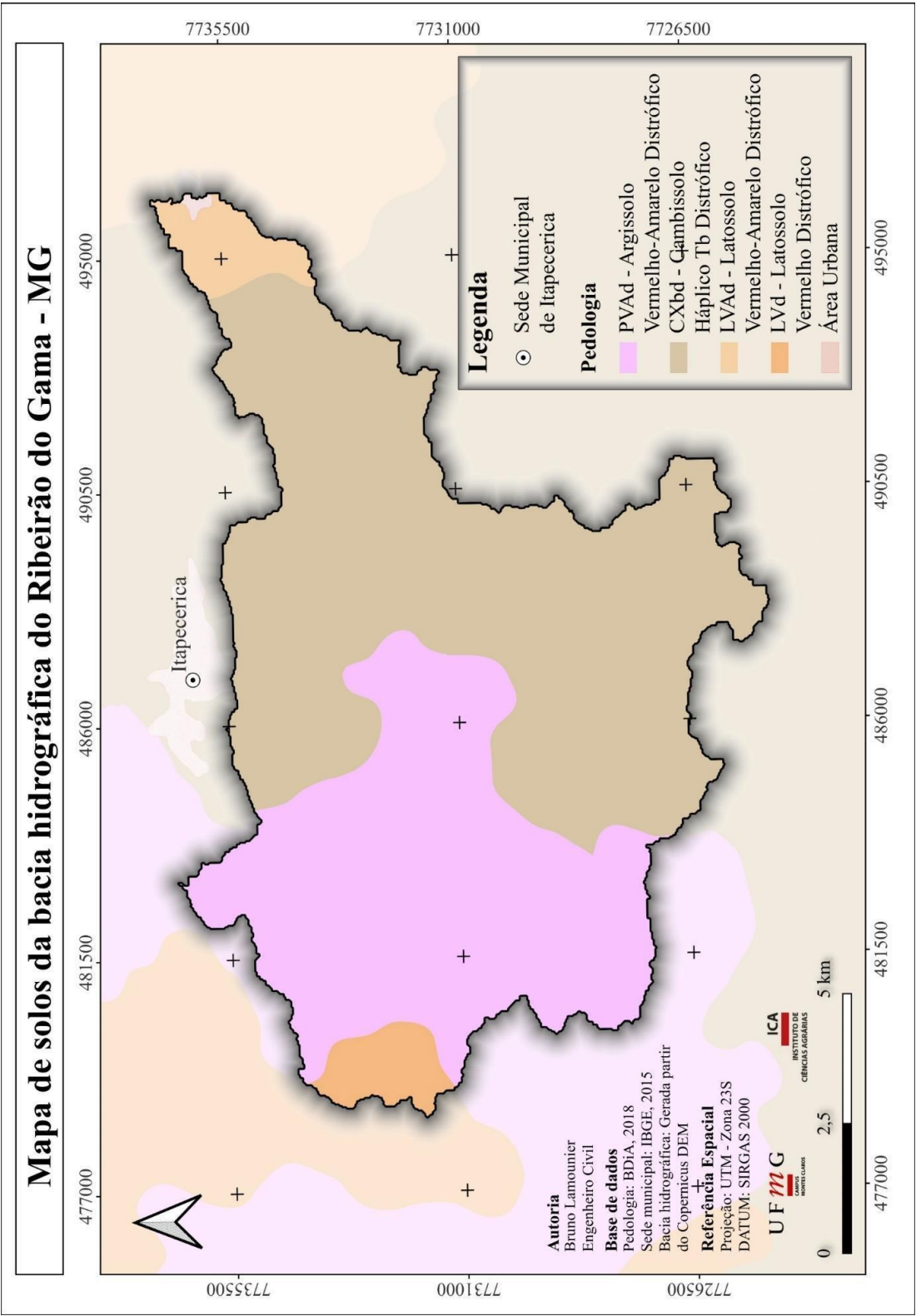
Já os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos (LVAd) representam 3,08% da área da bacia hidrográfica (3,4 km²). Esses solos são profundos, bem drenados, de estrutura granular estável e baixa fertilidade natural, características típicas de áreas com alto grau de intemperismo e climas tropicais úmidos (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Sua elevada capacidade de infiltração contribui para menor susceptibilidade à erosão, desde que sejam mantidas práticas conservacionistas.

Na sequência, observam-se manchas de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), que correspondem a 2,9% da área (3,2 km²). Esse tipo de solo, assim como o LVAd, é profundo e bem estruturado, mas se distingue pela coloração avermelhada mais intensa. Devido à sua boa estrutura física e alta estabilidade, é considerado adequado para o cultivo de culturas perenes e anuais, especialmente em terrenos com declividade suave (OLIVEIRA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Contudo, em áreas mais íngremes, a implantação de curvas de nível e faixas de retenção é fundamental para reduzir o escoamento superficial e preservar a estrutura do solo.

A análise comparativa evidencia que os Cambissolos e Argissolos (Figura 11) apresentam susceptibilidade moderada a alta à erosão, devido à sua menor profundidade, maior declividade de ocorrência e textura variável, enquanto os Latossolos, embora mais estáveis fisicamente, exigem práticas conservacionistas contínuas para evitar perdas de solo a longo prazo. Oliveira *et al.*, (2019) reforçam que a eficácia do manejo do solo depende diretamente da sua adaptação às características específicas de cada tipo pedológico, o que implica em zoneamentos técnicos e monitoramento periódico das condições de uso.

Portanto, a compreensão da distribuição espacial dos solos e da influência das condições topográficas permite definir estratégias específicas de uso e conservação, contribuindo para o uso sustentável dos seus recursos naturais.

Figura 11. Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2025).

4.6 Características Morfométricas

A avaliação morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama revelou aspectos fundamentais para a compreensão de suas dinâmicas hídricas e geomorfológicas, os quais apresentam implicações significativas para o manejo dos recursos naturais. De modo geral, os resultados indicam que a bacia possui configuração alongada e elevada densidade de drenagem, características que apontam para vulnerabilidades específicas relacionadas à erosão e à ocorrência de enchentes.

Estudos como o de Almeida *et al.*, (2024), que analisaram a Bacia do Alto Sapucaí, demonstram que a combinação de alta densidade de drenagem com relevo acidentado favorece a rápida concentração do fluxo e aumenta a suscetibilidade a eventos hidrológicos extremos. Nessas condições, a presença de canais de ordens superiores e a baixa permeabilidade dos solos contribuem para o escoamento superficial intenso. De forma similar, Mesquita *et al.*, (2017), ao estudarem a Bacia Hidrográfica do Córrego Manhauçuzinho, constataram que a acentuada declividade, aliada à baixa capacidade de infiltração, potencializa os processos erosivos. Esses achados corroboram os riscos identificados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama e reforçam a necessidade de adoção de práticas conservacionistas e de um zoneamento ambiental criterioso.

Com área de 110,44 km² e perímetro de 64,94 km, a geometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama é caracterizada por formato alongado, refletido no fator de forma de 0,21. Segundo Horton (1945), essa morfologia tende a implicar em um tempo de concentração mais prolongado, o que pode atenuar os impactos de eventos pluviométricos intensos, ao distribuir o escoamento ao longo do tempo. Contudo, conforme observado por Almeida *et al.*, (2024) na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, bacias hidrográficas com esse formato também podem apresentar áreas pontuais de vulnerabilidade, sobretudo ao longo dos canais principais onde o fluxo tende a se concentrar.

A análise morfométrica realizada por Andrade *et al.*, (2019) na Bacia Hidrográfica do Rio São João, em Minas Gerais, identificou valores de coeficiente de compacidade (2,10) e fator de forma (0,215) muito próximos aos observados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, sugerindo baixa tendência a inundações generalizadas, mas com ocorrência de riscos hidrológicos localizados. De forma complementar, Silva *et al.*, (2004), ao estudarem a Bacia Hidrográfica do Rio Claro, observaram que bacias com formato alongado e baixos índices de circularidade apresentam menor susceptibilidade a cheias abrangentes, embora exijam intervenções de manejo específicas, principalmente nas microbacias e margens dos cursos d'água principais. Esses estudos destacam a importância de um planejamento ambiental

orientado por análises morfométricas, especialmente em contextos com variações topográficas acentuadas que podem agravar processos erosivos e o escoamento superficial.

A avaliação morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama revelou aspectos fundamentais para a compreensão de suas dinâmicas hídricas e geomorfológicas, os quais apresentam implicações significativas para o manejo de recursos naturais. De maneira geral, os resultados apontam para uma configuração alongada da bacia, com densidade de drenagem elevada, indicando vulnerabilidades específicas em relação à erosão e às enchentes.

A relação entre o coeficiente de compacidade (1,73) e o índice de circularidade (0,33) confirma a menor predisposição da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama a enchentes generalizadas, mas também evidencia a necessidade de intervenções específicas em regiões de declividade acentuada (Tabela 8). Nota-se que tais achados estão em consonância com os estudos realizados por Oliveira *et al.* (2010) e Mesquita *et al.* (2017), os quais apontam que, embora bacias com esse tipo de configuração geométrica apresentem maior tempo de concentração, a combinação com relevo montanhoso e solos menos permeáveis pode intensificar o escoamento e o risco de erosão. Além disso, a baixa circularidade tende a dificultar a dispersão uniforme da água em eventos intensos, reforçando a importância do planejamento hídrico e da delimitação de áreas de preservação permanente (APPs).

A densidade de drenagem da bacia, de 2,17 km/km², reflete uma rede fluvial bem desenvolvida, possivelmente associada a solos menos permeáveis e relevo moderadamente acidentado. Anderson e Anderson (2010) descrevem que esse tipo de densidade é comum em regiões sujeitas a escoamento superficial acelerado, o que acelera a erosão hídrica e aumenta o assoreamento dos rios. Ademais, a análise da razão de bifurcação, com valores variando entre 1,68 e 25,00, revela que a bacia está em um estágio jovem de desenvolvimento, fortemente influenciada por condições tectônicas e variações altimétricas, conforme descrito por Chorley (1971).

A título de comparação, a Bacia do Rio Sapucaí (ALMEIDA *et al.*, 2017) apresenta uma densidade de drenagem elevada, o que, associado a uma razão de bifurcação heterogênea, reflete uma rede hidrográfica complexa e influenciada por processos geomorfológicos recentes. A presença de canais efêmeros e áreas de contribuição concentrada também foi observada na Bacia Hidrográfica do Córrego Entre Folhas (SILVA *et al.*, 2020), onde valores similares de densidade foram associados a variações de uso e ocupação do solo. Esses estudos destacam que a densidade de drenagem, quando combinada com declividades acentuadas e uso inadequado do solo, constitui fator crítico para o desencadeamento de processos erosivos, reforçando a importância de um plano de manejo ambiental efetivo.

Tabela 8. Características Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, Estado de Minas Gerais.

Características Morfométricas			
Grupos	Variáveis	Valores	
Geometria	Área (A)	110,44	km ²
	Perímetro (P)	64,94	km
	Maior Comprimento (C)	22,83	km
	Menor Largura (L)	12,78	km
	Fator de Forma (Ff)	0,21	-
	Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,73	-
	Índice de Circularidade (Ic)	0,33	-
Padrão de Drenagem	Número de Segmentos de Rios (Nt)	640	unid
	Comprimento da Rede de Drenagem (Cr)	239,38	km
	Densidade de Drenagem (Dd)	2,17	km/km ²
	Frequência de Rios (F)	5,80	(Nt/km ²)
	Número de Segmentos de Rios de 1ª ordem (N1)	343	unid
	Comprimento Total de Rios de 1ª ordem (Ct1)	116,52	km
	Número de Segmentos de Rios de 2ª ordem (N2)	170	unid
	Comprimento Total de Rios de 2ª ordem (Ct2)	57,71	km
	Número de Segmentos de Rios de 3ª ordem (N3)	101	unid
	Comprimento Total de Rios de 3ª ordem (Ct3)	37,72	km
	Número de Segmentos de Rios de 4ª ordem (N4)	25	unid
	Comprimento Total de Rios de 4ª ordem (Ct4)	11,13	km
	Número de Segmentos de Rios de 5ª ordem (N5)	1	unid
	Comprimento Total de Rios de 5ª ordem (Ct5)	16,31	km
	Razão de Textura (Rt)	11,24	Nt/km
	Extensão de Percurso Superficial (Eps)	0,25	km
	Coefficiente de Manutenção (Cm)	491,59	km ² /km
	Razão de Bifurcação (Rb) 1-2	2,02	-
	Razão de Bifurcação (Rb) 2-3	1,68	-
	Razão de Bifurcação (Rb) 3-4	4,04	-
	Razão de Bifurcação (Rb) 4-5	25,00	-
Relevo	Declividade (D)	1,32	%
	Altitude Máxima (Alt Max)	1134,14	m
	Altitude Mínima (Alt Min)	771,48	m
	Altitude Média (Alt Med)	893,49	m
	Amplitude altimétrica (H)	362,66	m
	Razão de relevo (Rr)	0,02	m/km
	Razão de relevo relativo (Rrl)	5,58	m/km

Características Morfométricas			
Grupos	Variáveis	Valores	
	Gradiente do Canal Principal (Gcp)	41,13	m/km
	Índice de rugosidade (Ir)	0,74	-

Fonte: Do autor (2024).

Estudos como o de Mesquita *et al.*, (2017) destacam que redes de drenagem com alta densidade de drenagem demandam práticas conservacionistas rigorosas para minimizar o transporte de sedimentos. Dessa forma, é recomendável a implementação de práticas de manejo conservacionistas que combinem técnicas de conservação do solo e da água e reabilitação de áreas degradadas.

O relevo é caracterizado por uma declividade média estimada de aproximadamente 25%, coerente com a predominância de áreas fortemente onduladas e montanhosas na bacia hidrográfica. Já o gradiente do canal principal é de 41,13 m/km, indicando potenciais focos de energia e erosão nos canais fluviais principais.

Leopold *et al.*, (1964) ressaltam que gradientes elevados podem amplificar o poder erosivo dos fluxos de água, especialmente em regiões com ausência de vegetação nativa. Neste sentido, a amplitude altimétrica da bacia de 362,66 m reforça a necessidade de restauração florestal das áreas montanhosas, pois é onde o transporte de sedimentos e os processos de escorregamento são mais comuns.

No contexto de uso e ocupação do solo, estudos como o de Santos *et al.*, (2021) evidenciam que práticas inadequadas, como a remoção de vegetação em encostas, podem agravar os processos erosivos e comprometer a estabilidade do solo. Sendo assim, é necessário considerar medidas como reflorestamento e a delimitação de áreas de preservação permanente (APPs) passíveis de fiscalização, como já foi evidenciado anteriormente nesta pesquisa.

Ademais, a relevância da bacia hidrográfica estudada ultrapassa os limites da região, pois sua dinâmica influencia na conectividade hídrica e na qualidade dos recursos de áreas vizinhas. A proteção de suas áreas de recarga, especialmente as localizadas em declividades mais acentuadas, é indispensável para evitar a degradação ambiental, como erosão, assoreamento e contaminação dos corpos d'água (GIAROLA, 2018; SILVA *et al.*, 2020). Cardoso *et al.*, (2006) ressaltam que, em áreas com alto gradiente altimétrico, como a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama, a manutenção da vegetação nativa nas margens dos cursos d'água é uma estratégia eficiente para preservar a integridade dos solos e a funcionalidade dos ecossistemas.

Por fim, os dados obtidos sugerem que o impacto antrópico é um fator determinante para a dinâmica hídrica da região. A predominância de pastagens e a ausência de cobertura vegetal densa em áreas críticas contribuem para a intensificação do escoamento superficial. Contudo, promover a integração entre políticas de conservação ambiental e iniciativas de educação ambiental voltadas à população local são urgentes para a preservação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama.

5. CONCLUSÃO

A análise integrada dos dados morfométricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama revelou uma área com expressiva relevância ambiental e hidrológica para o município de Itapeceira-MG. Os resultados indicam uma tendência significativa ao escoamento superficial, especialmente em regiões com canais de primeira ordem e relevo fortemente ondulado a montanhoso. Essa configuração geomorfológica exige a adoção de práticas conservacionistas de solo e água, voltadas à contenção da erosão, ao aumento da infiltração e à proteção das áreas de recarga hídrica.

Apesar da expansão das atividades agrícolas e urbanas observada na região, nota-se um potencial promissor para a recuperação ambiental da bacia hidrográfica, desde que haja acompanhamento sistemático e intervenções planejadas. O monitoramento contínuo da ocupação do solo, aliado à implementação de políticas públicas efetivas, é essencial para mitigar impactos sobre a estabilidade do solo e garantir a disponibilidade hídrica em médio e longo prazo.

Diante disso, recomenda-se o estabelecimento de uma estratégia de gestão ambiental integrada, que considere as especificidades físicas da área e promova o uso sustentável dos recursos. Por fim, o presente estudo oferece subsídios técnicos e científicos para a formulação de políticas públicas mais eficientes, podendo servir como modelo replicável para outras bacias hidrográficas de características semelhantes na região.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília, DF. 2022.
- ALBUQUERQUE, R. L. O.; DIAS, D. S.; RODRIGUES, R. S. S. Evolução temporal do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Parauapebas, Pará. **Journal of hyperspectral remote sensing**, v. 10, n. 3, p. 122-129. 2020.
- ALMEIDA, L. T.; ABREU, M. C.; FRAGA, M. S.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A.. Aspectos morfométricos da Bacia do Rio Sapucaí relacionados ao estudo de enchentes. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 3, p. 169-174. 2017.
- ALMEIDA, R. A.; ROSA, D. R. Q.; FERREIRA, R. G.; DELAZARI, F. T.; ALMEIDA, I. A.. Relevância dos índices morfométricos na análise de bacias hidrográficas: Estudo da Bacia do Alto Sapucaí, MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, p. 16-31. 2024.
- ANDERSON, R. S.; ANDERSON, S. P.. **Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes**. Cambridge: Cambridge University Press. 2010.
- ANDRADE, L. R.; MOREIRA, J. P. P. C.; SANTOS, A. M.. Análise Temporal do Uso e Cobertura da Terra na Bacia do Rio Boa Vista, Ouro Preto do Oeste-RO. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 56, p. 81-97. 2019.
- AQUINO, C. M. S. de; VALLADARES, G. S.. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia (Londrina)**, v. 22, n. 1, p. 117–138. 2013.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone. 1985.
- BERTOTTI, L. G.. Caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do rio Xarquinho-PR por meio de técnicas de geoprocessamento visando à representação do espaço geográfico. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, v. 6, n. 1, p. 43–63. 2024.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; VITTE, A. C. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004.
- BRASIL. Casa Civil. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília. 1997.
- CAMPANHARO, W. A.. **Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES**. 2010. 66f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248. 2006.

CARVALHO, E. M.. **Condições das Infraestruturas Sanitárias das Bacias do Córrego Fundo e Santa Maria**. Relatório Final de Iniciação Científica/UFMS/CNPq. Aquidauana. 2004.

CARVALHO, L.; CERQUEIRA, F. C.; MOREIRA, L. L.; GARDIMAN JUNIOR, B. S.. A caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta, Ibitirama-ES. **Revista Ifes Ciência**, v. 9, n. 1, p. 01-15. 2023.

CHANDRASHEKAR, H.; LOKESH, K. V.; SAMEENA, M.; ROOPA, J.; RANGANNA, G.. GIS-Based Morphometric Analysis of Two Reservoir Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka. **ScienceDirect**, v. 4, p. 1345-1353. 2015.

CHORLEY, R. J.. **Drainage Basin Dynamics**. Methuen. 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 1980.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). (2023). Relatório anual de sustentabilidade. Brasília, DF: CAESB.

CUNHA, J. E. DE B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B. DA; CHAVES, I. DE B.. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 539-548. 2012.

DE CARVALHO, H. R. L.; HENRY-SILVA, G. H. G. DA S.. Caracterização morfométrica das bacias de contribuição dos reservatórios uMari e Mendubim, semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Geografia**. v. 37, n. 3, p. 221–238. 2020.

DE OLIVEIRA N. D.; MACHADO, V. S.; MARCATO JUNIOR, J.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M.. Análise morfométrica de bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de superfície. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente. v. 11, n. 4, p. 23–35. 2019.

DE SALIS, H. H. C.; DA COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; SCHULER, A. E.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego do marinheiro, Sete Lagoas-Mg. **Boletim de Geografia**. v. 37, n. 2, p. 186-201. 2019.

DE SOUZA SANTOS, A. C.; DE SOUZA, N. S.; JUNIOR, M. V. C. A.. Análise espaço-temporal do uso e ocupação da terra da zona costeira de Esplanada, Bahia. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 27, n. 1, p. 181–203. 2025.

DUARTE, M. L.; SILVA, D. M. P.; SILVA, T. A.; GUIMARAES, L. R.. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação na delimitação de bacias hidrográficas na região Sul do Amazonas. **Journal of hyperspectral remote sensing**, v. 9, n. 2, p. 99-107. 2019.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa. 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa. 2018.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P.. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Revista Sociedade e Território**, v. 26, n. 2, p. 18-30. 2014.

FIGEIRE, C. H. U.. **Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Fruteiras, Estado do Espírito Santo, Brasil**. Labor & Engenho, Campinas, SP, v. 15, p. 1-12. 2021.

FLENNIKEN, J.; STUGLIK, S.; IANNONE, B.. **Quantum GIS (QGIS): An Introduction to a Free Alternative to More Costly GIS Platforms**. EDIS, v. 2, p. 7. 2020.

FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, v. 2, p. 214-218. 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, V. F.; AYRES, G. D. J.; RODRIGUES, R. C. M.. Dinâmica temporal da cobertura e uso das terras do Estado da Paraíba utilizando Mapbiomas©. **Revista Geama**, v. 9, n. 3, p. 57-66. 2023.

GIAROLA, I. B. S.. **Interpretações Morfoestruturais da Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe - Minas Gerais**. Geografia (Londrina), v. 27, n. 2, p. 131-146. 2018.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V.1 de. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **GEographia**, Niterói, v. 23, n. 51. 2021.

GONÇALVES, M.. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto para análise ambiental e geográfica**. Editora Intersaberes, 2023.

GRASS Development Team. **GRASS GIS history**. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/about/history/>. Acesso em: 21 jul. 2023.

GRASS Development Team. **Manual de Referência GRASS GIS 8.2.2dev**. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/grass82/manuals/r.water.outlet.html>. Acesso em: 21 jul. 2023.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E.. **Drainage Basin Form and Process**. London: Edward Arnold, 1973. 458p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. **Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Rio de Janeiro: IBGE. 2024.

LADEIRA NETO, J. F.. **Mapa Hipsométrico do relevo brasileiro**. Rio de Janeiro: ANP; CPRM, 28p. 2005.

LEAL, A. C.. Gestão urbana e regional em bacias hidrográficas: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. de. (Org.). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 2003.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba/SP. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 439-446. 2016.

LEANDRO, V. B.. **Caracterização da morfometria e análise do uso e ocupação do solo na microbacia do córrego Boa Esperança, Lucélia-SP**. Ilha Solteira. 2024. 48 f.: il. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia. 2024.

LEONARDI, I. R.. Geoprocessamento e sensoriamento remoto para recursos hídricos. Curitiba: **Contentus**. 2020.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. San Francisco: W. H. Freeman. 1964.

LIMA, J. E. F. W.; ZAKIA, M. J. B.. **Gestão de recursos hídricos: princípios, estratégias e casos brasileiros**. Rio de Janeiro: ABES. 2004.

LIMA, A. C. DE M.; FERNANDES, L. L.; LOPES, D. F.; BITTENCOURT, G. M.; VINAGRE, M. V. DE A.; SILVA, E. M. da.. Urbanização e canais urbanos: avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do Una na cidade de Belém, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e232973866-e232973866. 2020.

LOPES, I. C. P.; CAMPOS, J. A.; FRAGA, M. S.; AIRES, U. R. V.; SILVA, D. D.. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Caratinga, sub-bacia do rio Doce, MG**. III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, p. 1-8. 2018.

MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hydrology**. Editora McGraw-Hill Companies, 1424p. 1993.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG**. Brasília: MMA. 2021.

MAPBIOMAS PROJECT, 2024. "MapBiomas General “Handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 9", <https://doi.org/10.58053/MapBiomas/ICCL5B>, MapBiomas Data, V2.

MARTINS, R. N. S.; OLIVEIRA, I. J. de. (2015). Geotecnologias na gestão e planejamento do espaço urbano. **Anais do XI Encontro Nacional da ANPEGE: A Diversidade da Geografia Brasileira, Escalas e Dimensões da Análise e da Ação**, Presidente Prudente. SP, Brasil.

MARTINS, C. F. V.; BAHIA, D. S. G.; DOLL, K. M.; SILVA, D. T.. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, SE. **Journal of environmental analysis and progress**, v. 7, n. 2, p. 117-126. 2022.

MATIAS, A.. **Bacias hidrográficas**. Brasil Escola, 2019. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/bacias-hidrograficas.htm>. Acesso em: 07 ago. 2023.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1.ed. Lavras: Editora UFLA. 2013.

MENDES, A. T.. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 973-987. 2018.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A.. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: **ABRH**, 2001. 536p.

MESQUITA, A. R.; MACEDO, R. P.; LOPES, M. S.; SOUZA, T. D.; MENINI, S. E.. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego Manhuaçu, Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 22-29. 2017.

MILLER, A.; HESS, S.. Assessment of perimeter length on watershed dynamics. **Geomorphology Journal**, v. 385, p. 52–65. 2022.

MINAS GERAIS. Agência Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Resolução ARSAE-MG**, v. 111. 2016.

MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R. D.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F. D.; SANTOS, G. M. A. D. A. D.; EUGENIO, F. C.. Confronto do uso e ocupação da terra em APPs no Município de Muqui, ES. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 141-152. 2015.

NASADEM. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/esds/competitive-programs/measures/nasadem>. Acesso em: 21 jul. 2023.

NOVO, E. M. L. M.. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher. 2008.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P.. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, v. 6, p. 01-10. 2006.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 819-825. 2010.

OLIVEIRA, R.; COSTA, J.; SILVA, T.. Hydrological behavior of large river basins: A review. **Journal of Hydrology**. 594, 125-139. 2021.

PARENTE, Y. Y.; MENDES, A. C.; MIRANDA, A. G. O.; DOURADO JÚNIOR, O. C. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Curuçá (Pará) e demarcação de

nascentes fluviais como subsídio à gestão. **Journal of hyperspectral remote sensing**, v. 10, n. 3, p. 138-152. 2020.

PEREIRA, L. M.; LIMA, J. P.. Impactos da urbanização na qualidade dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1200-1215. 2021.

PINTO, E. da S.. **Análise do uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica da bacia do rio Cupijó por meio de ferramentas SIG**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí. 2022.

QGIS. **QGIS – A liderança do SIG de código aberto**. QGIS.ORG, 2020. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html. Acesso em: 09 ago. 2024.

RIBEIRO, P. C.; AYMONE, J. L. F.; LEÃO, S. Z.. Aplicação do geoprocessamento no estudo da impermeabilidade urbana. **IX Encontro de Modelagem Computacional**, Belo Horizonte, MG. 2006.

RODRIGUES, S. C.; SILVA, M. L.; CAMPOS, J. C.. Drenagem e uso do solo em bacias hidrográficas do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 5, p. 313–320. 2021.

RODRIGUES, E. L.; ELMIRO, M. A. T.; JACOBI, C. M.; LAMOUNIER, W. L.. Aplicação do Modelo SWAT na avaliação do consumo de água em áreas de florestas plantadas na bacia do rio Pará, Alto São Francisco, em Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, p. 485–500. 2015.

ROSA, R.. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81–90. 2005.

SANTANA, L. R.. **Contribuição à classificação de pequenas bacias hidrográficas em função da área de drenagem**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém. 2018.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F.. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza – Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da UNIESP: Saber Acadêmico**, São Paulo, n. 10, p. 57-67. 2010.

SANTOS, L. B.; COELHO, A. D. S.; BARROS, M. N. R.; FENZL, N.; CANTO, O. D.; VIEIRA, I. C. G.; GOMES, A. R.. Usos da terra e conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 03, p. 929-943. 2019.

SANTOS, A. G. B.; BEZERRA, C. A.; NASCIMENTO, C. H. A.; SOUZA, B. S. L.; SILVA, B. L. J.; MOURA, A. B. G. Caracterização morfométrica e uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 1036-1043. 2021.

SANTOS, V.; PESSOA, N. M.; BERLANDA, A.; BECEGATO, V. A.. Estudo morfométrico e de susceptibilidade às enchentes e inundações com o auxílio de geotecnologias na bacia hidrográfica do rio Desquite, Otacílio Costa-SC. **Geoambiente on-line**, n. 45. 2023.

SANTOS, R. D.; CARVALHO, P. C.. **Gestão e práticas sustentáveis na agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa. 2017.

SCHUMM, S. A.. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, p. 597-646. 1956.

SEVERO, F. L.; LIMA, G. H.; RODRIGUES, M. N.. Morphometric analysis of the Beni and Mamoré river basins, Madeira river watershed, using SRTM data and GIS techniques. **Geomorphology**, 408. 2024.

SILVA, C. V. T.; RIBEIRO FILHO, J. C.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; BRASIL, J. B.. Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 436-444. 2017.

SILVA, R. M.; BATISTA, G. T.; OLIVEIRA, P. M.. Relação entre características morfométricas e respostas hidrológicas em bacias urbanas do Distrito Federal. **Cadernos de Geografia**, Uberlândia, v. 30, n. 60, p. 123–138. 2020.

SILVA, J. G., DE ALMEIDA MONTE-MOR, R. C., LIMA, F. N., RODRIGUES, K. R.. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Entre Folhas, Entre Folhas–MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 3204-3217. 2023.

SILVA, L. S.; MOREAU, M. S.; DALTRO, U. S.. Uso do geoprocessamento para mapeamento do uso e ocupação do solo com ênfase em métricas da paisagem: um estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Água Branca. **Acta Ambiental Catarinense**, v. 17, n. 1, p. 34-44. 2020.

SILVA, M. M. A. P. de M.; CAMPOS, C. A. A.; VALERA, C. A.; PIZZO, I. V.; PISSARRA, T. C. T... Solos, uso e ocupação e características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Claro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Uberaba, v. 28, p. 297-305. 2004.

SILVEIRA, A. L. L.. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, p. 35-51. 1993.

SMITH, K. G.. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, n. 248, p. 655-668. 1950. <https://doi.org/10.2475/ajs.248.9.655>.

STRAHLER, A. N.. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 69, n. 3, p. 279-302. 1958.

STRAHLER, A. N.. **Physical Geography**. New York: Wiley. 1952.

STRAHLER, A. N.. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920. 1957.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I.. On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes*. Wiley Online Library - **Hydrological Processes**, v. 5, 81-100. 1991.

TAVEIRA, B. D. A.; CUBAS, M. G.. **Geoprocessamento: fundamentos e técnicas**. ed. 1, Editora InterSaberes, 202p. 2021.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-156. 2007.

TONIOLO, P. B.; COLLINS DA CUNHA E SILVA, D.; LOURENÇO, R. W.. Estudo comparativo de rede de drenagem na SABESP Oeste com auxílio de provedores SIG. **Geografia em Atos (Online)**, Presidente Prudente, v. 5, p. 1–20. 2021.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. Editora UFRGS, 943p. 2002.

TUCCI, C. E. M.. **Urbanização e Meio Ambiente**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 1993.

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A.. Uso e ocupação da terra em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29. 2010.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L.. Caracterização morfométrica e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Apeú, Amazônia Oriental. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 27, n. 51, p. 313-335. 2020.

VISSMAN JR, W.; HARBAUGH, T. E.; KNAPP, J. W.. **Introduction to Hydrology**. New York: Intext Educational Publ. 1972.

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

WANKLER, F. L.; VITAL, M. J. S.; HOLANDA, E. C.; SOUZA, V. de (Orgs.). **A Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé**. São Carlos, SP: RiMa Editora. 2022.