

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA APLICADA À ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ENCHENTES E EROSÃO NA BACIA DO RIO ITAPECERICA, REGIÃO CENTRO-OESTE DE MINAS GERAIS

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION APPLIED TO ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY TO FLOODING AND TO EROSION IN THE ITAPECERICA RIVER BASIN, CENTRAL-WEST REGION OF MINAS GERAIS STATE, BRAZIL

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA APLICADA AL ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES Y A LA EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ITAPECERICA, REGIÓN CENTRO-OESTE DEL ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Marina de Morais Gonçalves

Bacharel em Engenharia Agrônômica
Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG
marinadm@yahoo.com

Kátia Daniela Ribeiro

Professora Titular II – Doutorado em Engenharia Agrícola
Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG
katiaribeiro@uniformg.edu.br

RESUMO

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, o que permite compreender o comportamento hidrológico, os riscos associados a enchentes e a potencial perda de solo, possibilitando a proposição de estratégias de conservação do solo e da água. Este estudo teve como objetivo caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do rio Itapecerica, localizada na região Centro-Oeste de Minas Gerais, a fim de avaliar sua suscetibilidade a enchentes e à erosão. Os dados geomorfométricos foram obtidos a partir do banco de dados TOPODATA e do Web-GIS IDE-Sisema e foram processados nos *softwares* QGis e NanoCad, visando à extração de informações como área, perímetro, comprimento axial, entre outras, a partir das quais foi possível estimar indicadores relacionados ao comportamento físico e hidrológico da bacia, como índice de circularidade, densidade hidrográfica, entre outros. Os resultados mostraram que o coeficiente de compacidade ($K_c = 1,80$) indica baixa tendência a enchentes, corroborando o fator de forma ($F = 0,54$) e o índice de circularidade ($I_c = 0,30$) que caracterizam a forma da bacia como mais alongada. A densidade de drenagem elevada ($D_d = 57,28 \text{ km/km}^2$) aponta para um sistema de drenagem bem desenvolvido, o que implica num maior escoamento superficial e, conseqüentemente, maiores riscos de erosão e perda de solo, o que reforça a necessidade de práticas de conservação. Conclui-se que a caracterização morfométrica forneceu indicadores para a compreensão da dinâmica hidrológica da bacia do rio Itapecerica, destacando a importância de um manejo integrado dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: escoamento superficial; geoprocessamento; manejo de recursos naturais.

ABSTRACT

The morphometric characterization of watersheds is essential for the planning and management of water resources, allowing us to understand the hydrological behavior, the risks associated with floods and the potential loss of soil, enabling the proposal of soil and water conservation strategies. This study aimed to morphometrically characterize the Itapecerica River basin, located in the Central-West region of the state of Minas Gerais, Brazil, in order to assess its susceptibility to floods and erosion. The geomorphometric data were obtained from the TOPODATA database and the Web-GIS IDE-Sisema and they were processed in the QGis and NanoCad softwares, aiming at the extraction of information such as area, perimeter, axial length, among others, from which it was possible to estimate indicators related to the physical and hydrological behavior of the basin, such as circularity index, hydrographic density, among others. The results showed that the compactness coefficient ($K_c = 1.80$) indicates a low tendency to flooding, corroborating the shape factor ($F = 0.54$) and the circularity index ($I_c = 0.30$) that characterize the basin shape as more elongated. The high drainage density ($D_d = 57.28 \text{ km/km}^2$) points to a well-developed drainage system, which implies

greater surface runoff and, consequently, greater risks of erosion and soil loss, reinforcing the need for conservation practices. It is concluded that the morphometric characterization provided indicators for understanding the hydrological dynamics of the Itapecerica River basin, highlighting the importance of integrated management of natural resources.

KEYWORDS: surface runoff; geoprocessing; natural resource management.

RESUMEN

La caracterización morfológica de las cuencas hidrográficas es fundamental para la planificación y gestión de los recursos hídricos, permitiendo comprender el comportamiento hidrológico, los riesgos asociados a inundaciones y la potencial pérdida de suelo, posibilitando proponer estrategias de conservación de suelo y agua. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar morfológicamente la cuenca del río Itapecerica, ubicada en la región Centro-Oeste del estado de Minas Gerais, Brasil, con el fin de evaluar su susceptibilidad a inundaciones y erosión. Los datos geomorfológicos fueron obtenidos de la base de datos TOPODATA y del Web-GIS IDE-Sisema y fueron procesados en los *softwares* QGIS y NanoCad, buscando la extracción de informaciones como área, perímetro, longitud axial, entre otros, a partir de los cuales fue posible estimar indicadores relacionados al comportamiento físico e hidrológico de la cuenca, como índice de circularidad, densidad hidrográfica, entre otros. Los resultados mostraron que el coeficiente de compacidad ($K_c = 1,80$) indica una baja tendencia a la inundación, corroborando el factor de forma ($F = 0,54$) y el índice de circularidad ($I_c = 0,30$) que caracterizan la forma de la cuenca como más alargada. La alta densidad de drenaje ($D_d = 57,28 \text{ km/km}^2$) apunta a un sistema de drenaje bien desarrollado, lo que implica mayor escorrentía superficial y, en consecuencia, mayores riesgos de erosión y pérdida de suelo, lo que refuerza la necesidad de prácticas de conservación. Se concluye que la caracterización morfológica proporcionó indicadores para la comprensión de la dinámica hidrológica de la cuenca del río Itapecerica, destacando la importancia de la gestión integrada de los recursos naturales.

PALABRAS CLAVE: escorrentía superficial; geoprocésamiento; gestión de los recursos naturales.

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são um instrumento estratégico de planejamento regional, caracterizadas pelo conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, delimitadas por divisores topográficos que direcionam o escoamento das águas superficiais para um ponto de exutório, cuja dinâmica desses sistemas é influenciada por fatores naturais e antrópicos, resultando em modificações na rede de drenagem ao longo do tempo (Félix, 2018).

Além de desempenharem funções físicas essenciais para o escoamento da água, as bacias hidrográficas também atuam como unidades territoriais fundamentais para o planejamento político, hídrico e social (Américo-Pinheiro; Benini, 2018). A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) reconhece a importância da gestão integrada e do uso sustentável dos recursos hídricos no Brasil, enfatizando a necessidade de um planejamento que considere as bacias hidrográficas como unidades de gestão (Brasil, 1997).

O estudo da dinâmica e da interação dos elementos ambientais (geologia, clima, relevo e solo) de uma bacia hidrográfica é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, visto que essas interações resultam em estruturas geomorfológicas e pedológicas distintas, que apresentam maior ou menor resistência à ação dos processos erosivos que impactam de diferentes formas a rede de drenagem (Américo-Pinheiro; Benini, 2018). É necessário também considerar os

elementos biológicos e humanos, uma vez que a vegetação, a fauna e as atividades antrópicas influenciam diretamente os processos geomorfológicos, hidrológicos e socioambientais, alterando a dinâmica da bacia hidrográfica e sua capacidade de suporte (Santos, 2016).

Por ser assim, a caracterização morfométrica possibilita a verificação da suscetibilidade a inundações, enchentes, secas, degradação e erosão do solo, por meio do manejo integrado das sub-bacias hidrográficas. Para isso, são analisados aspectos como rede de drenagem, declividade, relevo, pedologia e geometria da bacia, que influenciam diretamente o comportamento hidrológico e a resposta da bacia a eventos extremos (Lacerda, 2019; Nobre *et al.*, 2020; Silva; Farias, 2021).

De acordo com Rodrigues e Pruski (2019), o manejo adequado do solo e da água busca reduzir o escoamento superficial por meio do aumento da sua infiltração no solo e consequente reabastecimento do lençol freático, representando uma prática fundamental para melhorar o aproveitamento das chuvas, minimizando os picos de vazão e reduzindo o *déficit* de água nos períodos de estiagem. Bagio (2020) ressalta que o escoamento superficial representa o principal vetor de contaminação dos mananciais de água superficial, uma vez que promove o transporte de sedimentos e substâncias químicas, e estas, por sua vez, podem impactar diretamente a qualidade da água de forma imediata, enquanto o carreamento de material particulado tende a gerar efeitos de longo prazo sobre os recursos hídricos.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) constituem uma ferramenta computacional voltada ao geoprocessamento, possibilitando a realização de análises avançadas por meio da aplicação de técnicas matemáticas e computacionais e da integração de dados provenientes de múltiplas fontes que viabilizam a geração de informações georreferenciadas, contribuindo para a modelagem e interpretação espacial (Macêdo, 2021). Ao combinar informações provenientes de dados cartográficos, hidrológicos, imagens de satélite, entre outros, um SIG permite a delimitação de áreas envolvidas por um determinado fenômeno (Melo *et al.*, 2020). Logo, os SIGs são de suma importância na determinação das potencialidades e limitações quanto ao uso do solo, contribuindo para a programação das atividades (Silva *et al.*, 2024), uma vez que seu uso para o desenvolvimento de pesquisas em bacias hidrográficas minimiza custos e tempo de execução, além de ser compatível com a delimitação manual que era feita tradicionalmente (Moraes; Lorandi, 2016).

O rio Itapecerica é um importante curso d'água da região Centro-Oeste de Minas Gerais, que nasce no município homônimo e percorre as cidades de São Sebastião do Oeste e Divinópolis, até desaguar no rio Pará que, por sua vez, tem sua foz no rio São Francisco (Bozzi, 2022), sendo

responsável pelo abastecimento de 80% da população de Divinópolis e parte da população de Itapecerica (Silva, 2017).

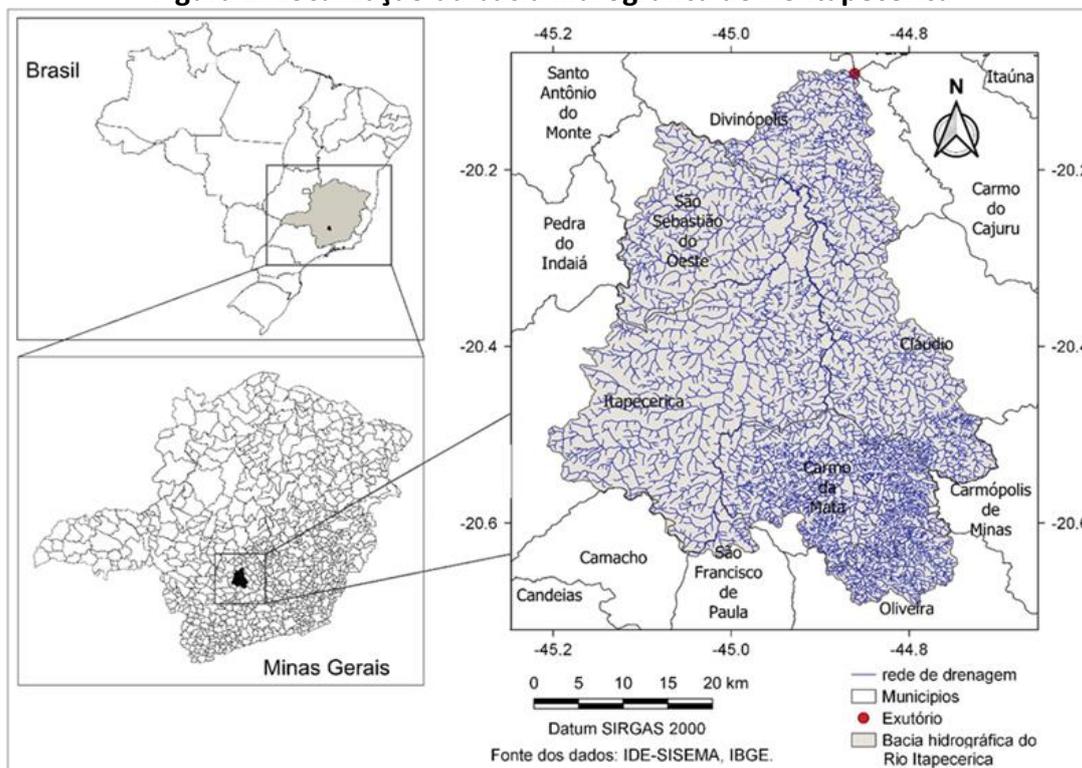
A caracterização morfométrica da bacia do rio Itapecerica faz-se necessária para o entendimento de sua dinâmica hidrológica, gerenciamento dos recursos hídricos e conservação do ambiente, fornecendo detalhes sobre relevo, rede de drenagem e outras características, bem como ajudando a implementar medidas para lidar com erosão, enchentes e degradação da água e auxiliar na elaboração de políticas públicas e estratégias para o manejo sustentável dos recursos naturais, visando ao bem-estar local e à preservação dos ecossistemas.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do rio Itapecerica, avaliando sua suscetibilidade a enchentes, erosão e escoamento superficial para subsidiar ações de manejo sustentável e conservação dos recursos naturais.

2. METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Itapecerica possui 2.017,75 km² e está compreendida entre as latitudes 20°05'10" S e 20°41'50" S e longitudes 44°41'59" O e 45°12'30" O, situada na região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Itapecerica



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

O clima da região é tropical de altitude - Cwa, segundo classificação de Köppen, com estações bem definidas (verões quentes e chuvosos e invernos secos e amenos). O regime de precipitação anual varia entre 1.200 mm e 1.400 mm, concentrando-se nos meses de outubro a março, o que influencia diretamente o escoamento superficial e os processos erosivos da bacia (Ferreira *et al.*, 2019).

A base cartográfica da bacia hidrográfica do rio Itapecerica foi elaborada a partir de dados do projeto TOPODATA, que disponibiliza Modelos Digitais de Elevação (MDE) derivados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), adaptados para o território brasileiro (Valeriano; Rossetti, 2012). Esses dados foram processados e analisados no *software* QGIS, o que permitiu a geração de curvas de nível para representação altimétrica e delimitação da bacia hidrográfica.

Para cobrir toda a área de interesse, foram selecionadas, no *site* do projeto TOPODATA, as quadrículas 20S45_ e 20S465, cujos arquivos foram baixados, contendo a matriz de altitudes da região. No QGIS, os arquivos *raster* foram adicionados como camadas e, em seguida, foi realizada a extração das curvas de nível com equidistância de 50 m, permitindo melhor visualização do relevo.

A rede de drenagem foi obtida a partir da plataforma da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais - IDE-SISEMA, que é um Web-GIS que disponibiliza dados geoespaciais para o estado de Minas Gerais (Sisema, 2022). No *site* da plataforma, acessou-se a camada vetorial 'Ottotuchos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco', exportando, em seguida, os dados no formato *shapefile* para o QGIS.

Na delimitação da bacia, considerou-se como seção de controle o ponto localizado sob latitude 20°05'28" S e longitude 44°51'50" O, onde o rio Itapecerica deságua no rio Pará, no município de Divinópolis-MG. Criou-se uma nova camada do tipo *shapefile* (polígono), e, a partir da seção de controle, foram identificadas as crêmulas das curvas de nível que definem os divisores de água, de maneira que, orientando-se pela rede de drenagem, o traçado do caminho que define o perímetro da bacia foi desenhado sobre essas feições.

Após a delimitação da bacia, foi necessário recortar as camadas para manter apenas os elementos inseridos no perímetro da bacia hidrográfica. O recorte das curvas de nível foi realizado utilizando o polígono da bacia como máscara para excluir as curvas externas. O mesmo procedimento foi aplicado à rede de drenagem, garantindo que apenas os trechos internos à bacia permanecessem na camada final.

Uma vez delimitada, a bacia foi caracterizada ambientalmente também utilizando o Web-

GIS IDE-SISEMA (Sisema, 2022). Para essa etapa, foi utilizado o arquivo *shapefile* (.zip) da bacia previamente delimitada, o qual foi carregado na plataforma do IDE-SISEMA, permitindo a visualização espacial da área de estudo. Com a bacia visível na interface do sistema, foram ativadas, sequencialmente, as camadas temáticas de interesse, a fim de obter informações ambientais e, para cada camada ativada, a legenda correspondente foi acessada e interpretada, identificando-se as feições presentes dentro dos limites da bacia.

A caracterização ambiental foi conduzida com base nas seguintes informações cartográficas disponibilizadas pelo IDE-SISEMA: hidrogeologia (camada Domínios Hidrogeológicos), solos (camada Mapa de Solos de Minas Gerais), uso e ocupação do solo (camadas MapBiomias – Uso e Cobertura da Terra (2023) e MapBiomias – Áreas Naturais e Usos Antrópicos (2023)), biomas (camada Mapa de Biomas de Minas Gerais (IBGE, 2019)), relevo (camada Compartimentos do Relevo) e clima (camada Zonas Climáticas).

Após a delimitação da bacia, caracterização ambiental e traçado de sua rede de drenagem e altimetria, foram estimados os índices morfométricos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica (continua)

Parâmetro	Conceito	Equação	Referência
Coefficiente de compactidade	Mede a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de uma área equivalente, indicando o grau de compactação da bacia.	$Kc = 0,28 \cdot P / A^{0,5}$	Gravelius (1914)
Fator de forma	Expressa a razão entre a largura média da bacia e seu comprimento axial	$F = B / L$	Villela e Mattos (1975)
Razão de alongamento	Indica o grau de alongamento da bacia, sendo obtida pela razão entre o diâmetro de um círculo de área equivalente à da bacia e seu comprimento axial.	$Re = 1,128 \cdot A^{0,5} / L$	Schumm (1956)
Índice de circularidade	Mede o quão próxima a forma da bacia está de um círculo.	$Ic = 12,57 \cdot A / P^2$	Schumm (1956)
Densidade de drenagem	Representa a razão entre o comprimento total da rede de drenagem e a área da bacia, indicando o grau de dissecação do relevo e a eficiência da drenagem.	$Dd = Lt / A$	Horton (1945)
Índice de rugosidade	Avalia a relação entre a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica da bacia, permitindo estimar a influência do relevo no escoamento superficial.	$Ir = Dd \cdot (H \cdot 1000)$	Sousa e Rodrigues (2012)

Tabela 1: Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica (conclusão)

Parâmetro	Conceito	Equação	Referência
Densidade hidrográfica	Também conhecida como frequência de fluxo, expressa a razão entre o número total de drenos e a área da bacia.	$D_h = N / A$	Horton (1945)
Extensão média do escoamento superficial	Refere-se à distância média percorrida pela água antes de alcançar um curso d'água.	$C_m = A / (2 \cdot L_t)$	Horton (1945)
Declividade média da bacia	Expressa a inclinação média do terreno da bacia, sendo obtida a partir da relação entre a equidistância entre curvas de nível e a área da bacia.	$I = 100 \cdot D \cdot C_{Ni} / A$	Oliveira <i>et al.</i> (2012)
Tempo de concentração	Representa o tempo necessário para que a água escoe do ponto mais distante da bacia até a seção de controle.	$t_c = (4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L_p) / (25,3 \cdot H^{0,5})$	Giandotti (1934)
Razão do relevo	Indica a relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento do talvegue principal da bacia.	$R_r = H / L_p$	Schumm (1956)

Nota: Kc = coeficiente de compacidade (adimensional); P = perímetro da bacia (km); A = área da bacia (km²); F = fator de forma (adimensional), B = largura média da bacia (km); L = comprimento axial da bacia (km); Ic = índice de circularidade (adimensional); Re = razão de alongação (adimensional); Dd = densidade de drenagem (km/km²); Lt = comprimento total dos drenos (km); IR = índice de rugosidade (adimensional); Dh = densidade hidrográfica (drenos/km²); N = número de drenos; Cm = a extensão média do escoamento superficial (km); I = declividade média da bacia (%); D = equidistância entre curvas de nível (km); CNi = comprimento total das curvas de nível (km); tc = tempo de concentração (h); Lp = comprimento do talvegue principal (km); H = amplitude altimétrica da bacia (km).

No *software* QGIS, as camadas vetoriais correspondentes à delimitação da bacia hidrográfica, à rede de drenagem e às curvas de nível foram exportadas como arquivos DXF, garantindo que todos os elementos estivessem disponíveis para edição e medição em ambiente CAD (*Computer-Aided Design*).

Com os arquivos DXF carregados no *software* NanoCAD, foram realizadas as medições das seguintes variáveis: área e perímetro da bacia, largura média da bacia, comprimento axial da bacia, comprimento total dos drenos, número total de drenos, comprimento do talvegue principal e comprimento total das curvas de nível. A amplitude altimétrica da bacia foi determinada a partir da interpretação das curvas de nível, identificando-se as altitudes máxima e mínima registradas na bacia.

A hierarquização da rede de drenagem da bacia hidrográfica foi realizada seguindo o método proposto por Strahler (1957), que se baseia na classificação dos cursos d'água conforme sua posição e conexão dentro da rede fluvial. Esse método consiste em atribuir uma ordem numérica

progressiva aos segmentos de drenagem, de modo que os drenos de 1ª ordem são aqueles sem tributários, ou seja, aqueles que nascem diretamente de uma fonte ou área de contribuição sem receber águas de outros drenos. Os drenos de 2ª ordem formam-se quando dois drenos de 1ª ordem convergem, os drenos de 3ª ordem resultam da confluência de dois drenos de 2ª ordem e, por sua vez, o processo continua até que toda a rede de drenagem seja classificada, seguindo a mesma lógica. Cabe ressaltar que, se um dreno de ordem inferior se une a um de ordem superior, a ordem do curso d'água de maior hierarquia é mantida.

A hierarquização da rede de drenagem da bacia também foi feita utilizando o *software* NanoCAD. Inicialmente, identificaram-se os cursos d'água de 1ª ordem, agrupando-os numa nova camada (*layer*). Em seguida, identificaram-se os drenos das ordens subsequentes e, para cada nova ordem identificada, foi atribuída uma nova *layer*, cada uma delas identificadas por uma cor diferente para distinção visual.

Os índices morfométricos calculados, juntamente aos mapas elaborados, forneceram o suporte necessário para as análises quantitativas, permitindo a comparação desses dados entre si e com a literatura, visando à caracterização do comportamento hidrológico e avaliação da suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica estudada.

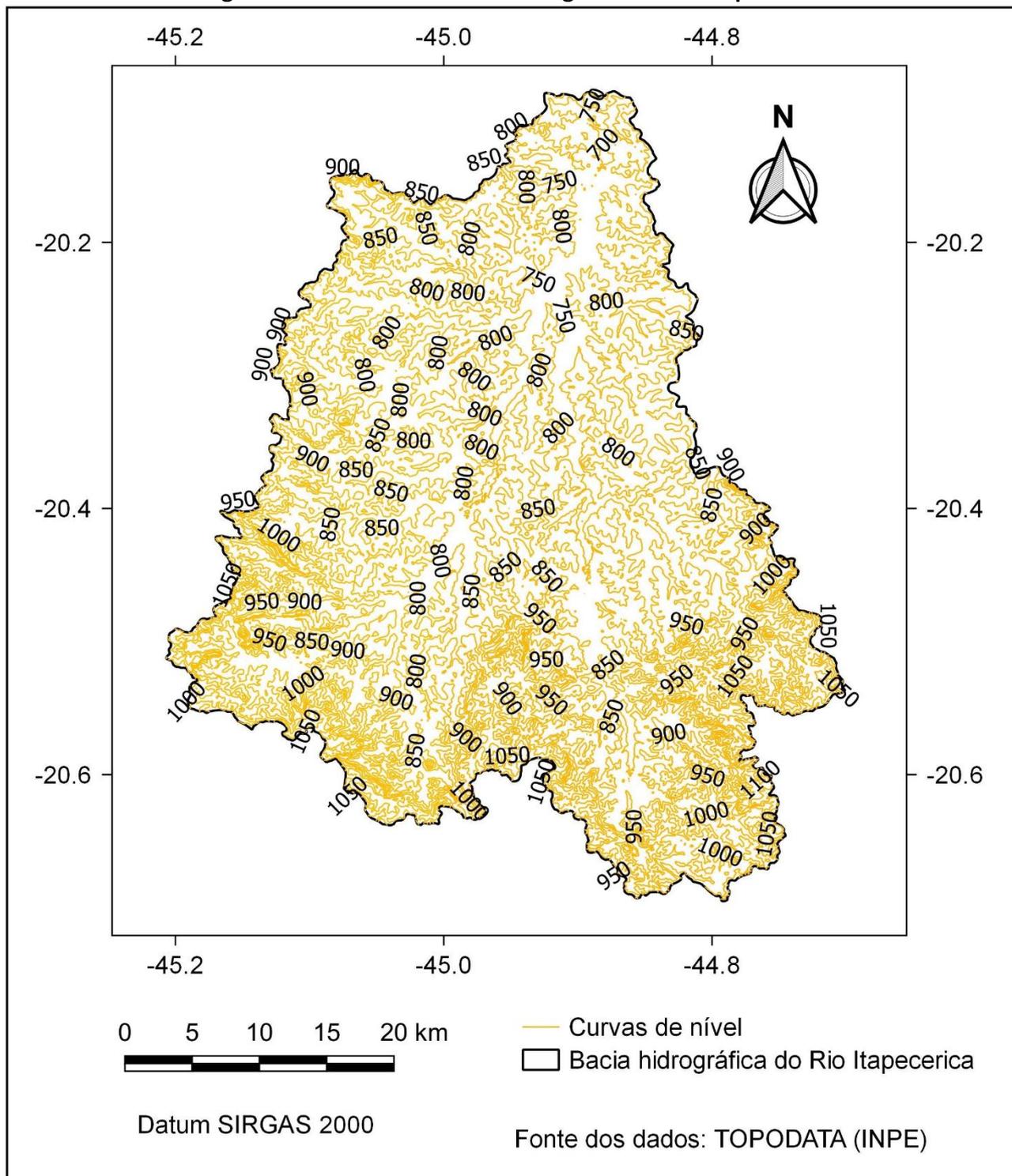
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Sisema (2022), a bacia hidrográfica do rio Itapecerica apresenta clima tropical e domínio hidrogeológico cristalino que, segundo Castro (2021), relaciona-se a falhas e fendas cujas acumulações de água se dão em reservatórios pequenos e descontínuos. Quanto aos solos, predominam os latossolos, verificando-se também a existência de argissolos, neossolos, gleissolos e litossolos na bacia (Sisema, 2022).

Com relação ao uso e ocupação do solo, no extremo norte da bacia, onde se localiza a seção de controle, predominam áreas urbanizadas; no restante da bacia, predominam áreas agrícolas, também existindo áreas de pastagem e silvicultura, todas de caráter antrópico. Quanto aos biomas, ao sul da bacia verifica-se a existência de Mata Atlântica, com predomínio de Cerrado no restante da bacia (Sisema, 2022).

O relevo da bacia é dotado de patamares e planaltos (Sisema, 2022) e suas altitudes variam de 700 a 1.200 metros, conforme curvas de nível traçadas com o auxílio das ferramentas SIG (Figura 2).

Figura 2: Altimetria da bacia hidrográfica do rio Itapecerica



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros calculados para caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do Rio Itapecerica.

Tabela 2: Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Itapecerica

Parâmetros	Valor	Unidade de medida
Área (A)	2.017,75	km ²
Perímetro (P)	289,41	km
Largura média da bacia (B)	32,89	km
Comprimento axial da bacia (L)	61,35	km
Comprimento total dos drenos (Lt)	115.581,01	km
Número total dos drenos (N)	4.785	-
Amplitude altimétrica (H)	0,50	km
Comprimento de talvegue principal (Lp)	99,9182	km
Equidistância entre curvas de nível (D)	0,05	km
Comprimento total das curvas de nível (CNI)	5.405,32	km
Ordem da bacia	7ª	-
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,80	adimensional
Fator de forma (F)	0,54	adimensional
Índice de circularidade (Ic)	0,30	adimensional
Razão de alongação (Re)	0,83	adimensional
Densidade de drenagem (Dd)	57,28	km/km ²
Declividade média (I)	13,39	%
Índice de rugosidade (Ir)	28.641,05	adimensional
Densidade hidrográfica (Dh)	2,37	drenos/km ²
Extensão média do escoamento superficial (Cm)	0,0044	km
Tempo de concentração (tc)	18,42	h
Razão de relevo (Rr)	0,005	adimensional

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

A bacia do rio Itapecerica apresenta área de 2.017,35 km², perímetro de 289,41 km e comprimento axial de 61,35 km. E-krishi Shiksha (2019) considera como bacias pequenas aquelas com área inferior a 3 km², bacias médias com área variando de 3 km² a 1000 km² e bacias grandes com área superior a 1000 km². Trata-se, portanto, de uma bacia grande, que possui vários afluentes, tanto do lado esquerdo quanto do lado direito do rio principal, destacando-se a relevância dos subafluentes, que são rios de pequena vazão os quais deságuam no afluente do rio principal da bacia

e que são importantes, pois alimentam todo o sistema, e são, em muitos casos, as nascentes da bacia (Lopes, 2017).

O coeficiente de compacidade (K_c) é dependente da forma da bacia e, segundo Fiorese, Silva e Torres (2019), quando $K_c = 1$, a bacia apresenta um formato circular, o que implica num menor tempo de concentração e maior susceptibilidade a enchentes. À medida que K_c aumenta, a bacia se torna mais alongada, o que pode indicar um maior tempo de resposta hidrológica e menor propensão a inundações (Silva, 2015). Valores de K_c entre 1,00 e 1,25 indicam bacias com alta propensão a grandes enchentes; entre 1,25 e 1,50 indicam tendência mediana a grandes enchentes; e valores superiores a 1,50 indicam bacias não sujeitas a grandes enchentes (Mello; Silva, 2013), permitindo classificar a bacia estudada ($K_c = 1,8$) como de baixa propensão a enchentes.

Entretanto, a susceptibilidade a inundações não depende exclusivamente da forma da bacia. Em condições médias de precipitação, fatores como o uso e a cobertura do solo também desempenham um papel determinante (Marth; Moura; Koester, 2016). De acordo com Barboza *et al.* (2022), quanto maior o grau de impermeabilização da bacia, menor a infiltração, maior o escoamento superficial e, conseqüentemente, maior a propensão a inundações. Cabe ressaltar, portanto, que a análise do coeficiente de compacidade deve ser associada a outros parâmetros físicos e ambientais para uma avaliação mais precisa do comportamento hidrológico da bacia.

Mello e Silva (2013) citam que valores de fator de forma (F) inferiores a 0,50 relacionam-se a bacias com menor tendência a enchentes; F entre 0,50 e 0,75 indica mediana tendência a enchentes; e F entre 0,75 e 1,00 indica alta propensão a enchentes. Com relação a F , a bacia do rio Itapecerica caracteriza-se como de mediana propensão a enchentes ($F = 0,54$).

O índice de circularidade (I_c), assim como o K_c , também avalia a capacidade da bacia em gerar enchentes, de maneira que uma maior concentração do fluxo hídrico e propensão a enchentes são verificados quando I_c se aproxima de 1,00 (um). Souza *et al.* (2018) classificam as bacias quanto ao valor de I_c da seguinte forma: $I_c > 0,51$ indica alta tendência a enchentes; $I_c = 0,51$ indica média tendência a enchentes; e $I_c < 0,51$ indica baixa tendência a enchentes, permitindo enquadrar a bacia analisada como de baixa propensão a enchentes ($I_c = 0,3$).

Para Fiorese, Silva e Torres (2019), a probabilidade de ocorrência de enchentes aumenta à medida que o valor da razão de alongação (R_e) se aproxima de 1, o que está relacionado, segundo Souza *et al.* (2018), ao reduzido comprimento da bacia, que favorece a rápida concentração e acumulação de água no curso d'água principal. A bacia do rio Itapecerica apresentou $R_e = 0,83$,

indicando mediana propensão a enchentes.

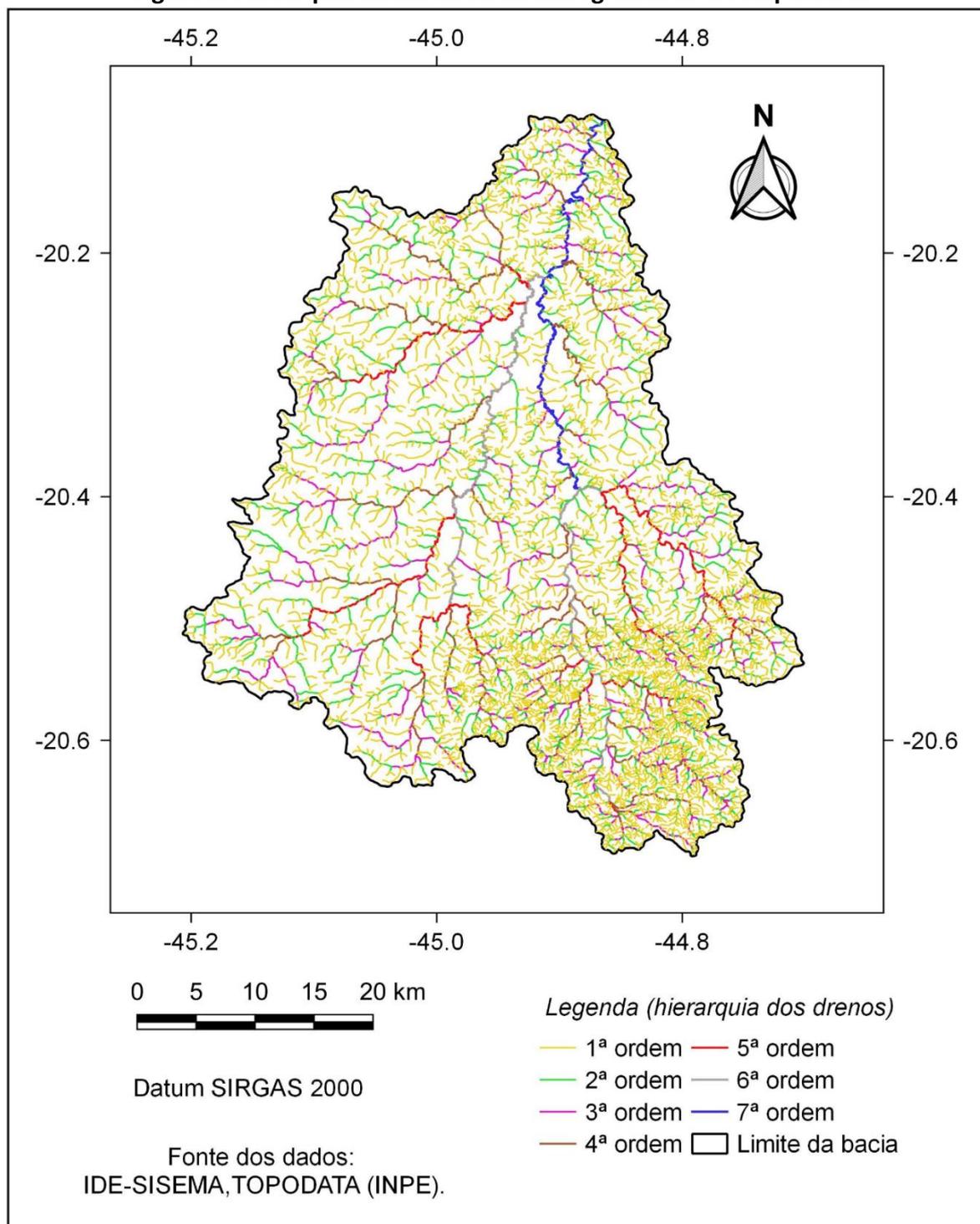
Os valores de F e Re verificados para a bacia do rio Itapecerica mostram que seu formato se afasta do formato circular, porém, não o suficiente para caracterizá-la como muito alongada, permitindo inferir sobre uma mediana propensão a enchentes. Entretanto, os valores de Kc e Ic da bacia apontam para uma tendência baixa a enchentes. Resultados semelhantes foram descritos por Salis *et al.* (2019) na morfometria da bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro em Sete Lagoas-MG, demonstrando que a bacia é pouco suscetível a enchentes devido a seu coeficiente de compacidade afastar-se da unidade e possuir fator de forma com valor reduzido.

O fato de uma bacia ser mais estreita e alongada (maiores Kc com menores Ic) acarreta menores possibilidades de ocorrência de chuvas intensas cobrindo toda a extensão da bacia (Bernardi; Righes; Buriol, 2016). Em bacias com essas características, técnicas de conservação do solo e da água, como o terraceamento, quando implantadas, aproveitam as características topográficas naturais para otimizar o controle do escoamento superficial, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a produtividade agrícola (Pellegrini; Barbosa, 2023).

De acordo com Vale, Costa e Pimentel (2021), os critérios de avaliação da razão de relevo (Rr) são: $Rr < 0,1$ indica bacias de menor escoamento superficial; $0,11 \leq Rr \leq 0,30$ indica bacias de médio escoamento superficial; e $0,31 \leq Rr \leq 0,60$ refere-se a bacias com alto escoamento superficial. A bacia do rio Itapecerica, apresentou $Rr = 0,005$, ou seja, possui baixo potencial para escoamento acelerado, reduzindo a probabilidade de enchentes severas. Valores baixos de Rr, segundo Salis *et al.* (2019), indicam menor capacidade de escoamento superficial rápido, confirmando os valores de Kc, F, Ic e Re encontrados, e que também convergem para uma baixa tendência a enchentes dessa bacia.

A bacia hidrográfica do rio Itapecerica foi caracterizada como de 7ª ordem (Figura 3), indicando a existência de uma maior área de drenagem, maior potencial de escoamento superficial, maior potencial erosivo e maior suscetibilidade a inundações. Solos argilosos com intenso uso antrópico tendem a ser mais impermeáveis, possuindo melhores condições para o escoamento superficial e apresentando rapidez nas respostas hídricas, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem (Félix, 2018).

Figura 3: Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Itapecerica



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

A ordem mais elevada da bacia também indica que ela é bem ramificada e, segundo Souza *et al.* (2018), a ramificação da rede de drenagem pode intervir no sistema de drenagem, pois, quanto maior a ramificação, melhor será a drenagem (Lee *et al.*, 2018). Portanto, a bacia do rio Itapecerica apresenta alta capacidade de drenagem. Uma rede de drenagem ramificada é um indicador de uma

boa eficiência da drenagem natural da bacia, ou seja, é um índice da menor tendência para ocorrência de cheias na bacia. Além disso, ela é um fator importante para indicar o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia (Silva *et al.*, 2019). Todavia, cabe ressaltar o maior potencial erosivo relacionado a bacias muito ramificadas, devido ao maior volume de água que flui sobre a superfície, e este conceito é discutido por Salis *et al.* (2019), estes explicam que a ordem de uma bacia está diretamente ligada ao tamanho da bacia e à sua capacidade de coletar e transportar água, impactando, portanto, o escoamento superficial e a erosão.

A densidade de drenagem (Dd) mede a extensão dos cursos d'água por área da bacia. Souza *et al.* (2018) classificaram esse parâmetro com critérios que vão de baixa ($Dd < 5 \text{ km/km}^2$), média ($5 < Dd < 13,5 \text{ km/km}^2$), alta ($13,5 < Dd < 155,5 \text{ km/km}^2$) a muito alta ($Dd > 155,5 \text{ km/km}^2$). O valor de Dd ($57,28 \text{ km/km}^2$) da bacia do rio Itapecerica é alto, indicando solos pouco permeáveis, conforme citam Padilha e Souza (2017). Observa-se que o valor de Dd é condizente com a ordem da bacia, confirmando que se trata de uma bacia com rede de drenagem densa e extensa. Os argissolos, devido à presença de horizonte coeso, e os gleissolos, caracterizados pela saturação hídrica, apresentam baixa permeabilidade, favorecendo o escoamento superficial, especialmente em áreas de relevo suave (Santos *et al.*, 2018), justificando também o elevado valor de Dd encontrado para a bacia. Bacias com maior escoamento superficial são mais propensas à erosão (Sampaio; Cordeiro; Bastos, 2016), e, para controlar o escoamento e a erosão, práticas como cultivos em nível, por exemplo, são essenciais, pois reduzem a velocidade da água e aumentam a infiltração, ajudando a preservar o solo e a prevenir a degradação. Logo, o planejamento conservacionista maximiza a produtividade agrícola, evita perdas de solo e matéria orgânica e dá continuidade à capacidade produtiva do solo (Borges; Silva, 2019).

Segundo Souza *et al.* (2018), o valor de densidade hidrográfica de uma bacia pode variar de baixo ($Dh < 3 \text{ drenos/km}^2$), médio ($3 < Dh < 7 \text{ drenos/km}^2$), alto ($7 < Dh < 15 \text{ drenos/km}^2$) a muito alto ($Dh > 15 \text{ drenos/km}^2$), e o valor encontrado para a bacia do rio Itapecerica ($Dh = 2,37 \text{ drenos/km}^2$) é considerado baixo. Densidades hidrográficas baixas indicam que as bacias possuem um bom equilíbrio entre o escoamento superficial e a recarga do lençol freático (Moura; Oliveira; Nascimento, 2022), no entanto, a alta Dd verificada para a bacia pode limitar a infiltração, favorecendo o escoamento superficial e dificultando, por conseguinte, a retenção de água no solo e a recarga do lençol freático. A esse respeito, a adoção de práticas conservacionistas é fundamental para reduzir o escoamento superficial, melhorar a infiltração e promover a retenção de água no

solo, auxiliando na recarga do lençol freático e controle da erosão, isso porque, conforme Agrelli (2018), é necessário conhecer em profundidade o funcionamento dos ecossistemas e os fatores que atuam sobre eles, a fim de obter referenciais que permitam a avaliação da magnitude dos impactos ambientais decorrentes da intervenção antrópica sobre estes.

De acordo com Sampaio, Cordeiro e Bastos (2016), a extensão média do escoamento superficial (Cm) determina o trajeto da água sobre o solo, de modo que a infiltração é favorecida em áreas extensas com baixa declividade, enquanto regiões de menor extensão, porém com declividade acentuada, intensificam o escoamento superficial. Os autores ainda relatam que o parâmetro Cm representa a trajetória da enxurrada desde o interflúvio até o canal fluvial, influenciando diretamente os processos de infiltração e escoamento, e, quanto maior a distância entre os canais de drenagem, maior o contato da água com o solo, o que, dependendo da declividade, pode favorecer sua infiltração ou, ao contrário, intensificar o escoamento superficial.

Para a bacia hidrográfica do rio Itapecerica, o valor obtido para Cm foi de 4,4 m, caracterizando um percurso reduzido para o escoamento superficial, o que implica, analisando-se apenas esse parâmetro morfométrico, num menor tempo de concentração da água, favorecendo a intensificação do escoamento superficial na região (Moura, 2023). Reforça-se, portanto, que as práticas de conservação do solo e água são importantes nesse aspecto, pois diminuem a velocidade do escoamento e aumentam a infiltração, reduzindo a perda de água e nutrientes.

De acordo com Decina e Brandão (2016), é fundamental a adoção de medidas estruturais e não estruturais para o controle ou atenuação do efeito das cheias, fornecendo, também, parâmetros necessários ao entendimento de problemas relacionados à erosão e ao depósito de material sólido carregado pelas águas. A esse respeito, a cobertura vegetal apresenta benefícios ao promover maior absorção de água pelas plantas e reduzir o impacto do escoamento superficial, aumentando a infiltração e a rugosidade superficial do solo, além de reduzir o impacto das gotas de chuva (Vidaletti, 2022). Além disso, o sistema radicular contribui para a estabilidade dos agregados do solo, promovendo o aumento das taxas de infiltração de água (Mergen-Junior *et al.*, 2019).

Sousa e Rodrigues (2012) classificam o índice de rugosidade (Ir) da seguinte forma: valores de Ir entre 0 e 150 indicam rugosidade fraca, entre 151 e 550 apresentam rugosidade média, entre 551 a 950 indicam rugosidade forte, e valores superiores a 950 classificam a rugosidade como muito forte. Nesse caso, a rugosidade da bacia é classificada como muito forte (Ir = 28641,05), evidenciando um relevo altamente irregular, que pode impactar a dinâmica hidrológica e a

estabilidade dos solos. Por sua vez, esse elevado valor de I_r permite inferir sobre o aumento dos riscos de erosão em áreas com pouca cobertura vegetal, exigindo práticas conservacionistas nos solos agrícolas da bacia.

Conforme Américo-Pinheiro e Benini (2018), bacias com valores elevados de I_r são menos adequadas para a agricultura extensiva sem a conservação adequada, devido ao alto risco de erosão, o que sugere que a bacia do rio Itapecerica deve ser manejada com práticas agrícolas que evitem o escoamento superficial intenso e a perda de solo, por meio da adoção de técnicas de conservação de solo e água, incluindo plantio direto, terraceamento e rotação de culturas. Uma vez que a bacia do rio Itapecerica apresenta áreas predominantemente agrícolas e de pastagem (Sisema, 2022), esse alto valor de I_r indica que o uso atual pode aumentar o risco de degradação do solo, reforçando a necessidade das práticas de conservação já mencionadas.

O tempo de concentração (t_c) corresponde ao intervalo necessário para que a bacia hidrográfica responda de maneira linear ao escoamento superficial direto, indicando o período entre o término da precipitação efetiva e a finalização do escoamento superficial direto, ou ainda, o tempo requerido para que uma gota d'água, originada no ponto mais afastado da bacia, alcance o exutório (Mamédio; Castro; Corseuil, 2018). A determinação dos fluxos máximos e dos níveis de água no ponto de interesse são, muitas vezes, necessários para a previsão de enchentes, e a estimativa do tempo de concentração influencia na concepção de sistemas de alertas de cheias e na consequente previsão de catástrofes, uma vez que esse parâmetro é importante para a determinação das chuvas de projeto e das vazões de pico (Almeida *et al.*, 2019).

A determinação de t_c pode ser feita por meio de diversas equações empíricas que levam em conta características físicas da bacia hidrográfica, como área, declividade e comprimento do curso d'água principal. No entanto, esse parâmetro também sofre influência de outros fatores, incluindo o uso e ocupação do solo, as características hidráulicas dos canais (como sua inclinação e revestimento), a variabilidade na intensidade e duração das chuvas, bem como as condições do solo antes do início da precipitação (Mamédio; Castro; Corseuil, 2018).

O valor de t_c obtido para a bacia, igual a 18,42 horas, é condizente com Durant (2019) o qual relata que bacias maiores, com cursos d'água mais longos, tendem a ter tempos de concentração maiores, mas com resposta lenta a eventos de precipitação, o que pode ser benéfico em termos de recarga hídrica e redução da erosão desde que o manejo adequado seja implementado.

Observa-se ainda, na Figura 3, que os drenos da bacia apresentam elevada sinuosidade,

principalmente ao se aproximar da seção de controle. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor (Santos, 2016), justificando o valor de tc encontrado para a bacia analisada.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), o relevo é classificado em seis categorias com base na declividade: plano (0% a 3%), suave ondulado (3% a 8%), ondulado (8% a 20%), forte ondulado (20% a 45%), montanhoso (45% a 75%) e escarpado (> 75%). Portanto, o valor de I = 13,39% encontrado para a bacia do rio Itapecerica classifica seu relevo como ondulado, ou seja, devido à presença de inclinações moderadas, a infiltração da água no solo pode ocorrer de forma razoável, dependendo das características do solo e da cobertura vegetal (Verdum; Vieira; Caneppele, 2016). No entanto, em períodos de chuvas intensas, há uma tendência ao escoamento superficial relativamente acentuado, pois a declividade favorece o deslocamento da água em direção aos cursos d'água (Beltrão, 2015), o que é condizente com os valores de Dd e Ir observados para a bacia. Além disso, em bacias de relevo ondulado, a velocidade do escoamento pode ser suficiente para transportar sedimentos e nutrientes, aumentando o risco de erosão, especialmente em áreas com cobertura vegetal escassa ou solos pouco permeáveis (Silva, 2015).

As práticas conservacionistas edáficas e vegetativas são eficientes, por si só, em áreas com declividade até 5%. Daí em diante, além de tais medidas, deve-se recorrer às práticas mecânicas de conservação do solo (terraços e canais escoadouros), que são mais onerosas que as anteriores e, por isso, são somente utilizadas em condições extremas de riscos de erosão (Xavier *et al.*, 2021). Em áreas com declividade como a da bacia, são recomendadas práticas como plantio em nível, terraceamento e cobertura vegetal no intuito de conter a erosão e manter a fertilidade do solo em áreas inclinadas, o que, segundo Pellegrini e Barbosa (2023), é recomendado para solos com boa permeabilidade e declividade máxima de 16%. Cabe destacar que os espaçamentos entre os terraços devem ser estabelecidos rigorosamente de acordo com a declividade da área (Machado; Wadt, 2021).

Observa-se que, em relação à propensão a enchentes e de um modo geral, a propensão da bacia é baixa. No entanto, com relação à erosão, os parâmetros calculados indicaram fatores favoráveis a um maior potencial erosivo e à degradação do solo. Apesar de o risco de escoamento superficial acelerado ser baixo, a implementação de técnicas de conservação de solo faz-se necessária para garantir a sustentabilidade em longo prazo.

Por fim, a análise dos parâmetros morfométricos realizada para a bacia do rio Itapecerica

favorece a compreensão da dinâmica da bacia hidrográfica (relevo, drenagem e escoamento superficial), o que pode subsidiar a escolha de sistemas de manejo adequados, que garantam a conservação do solo e da água e protejam os ecossistemas e recursos hídricos para as futuras gerações.

4. CONCLUSÃO

A análise morfométrica realizada neste estudo, com o objetivo de avaliar o potencial de escoamento superficial, erosão e suscetibilidade a enchentes da bacia hidrográfica do rio Itapecerica, indicou que a bacia apresenta um relevo acidentado, caracterizado por uma alta densidade de drenagem ($Dd = 57,28 \text{ km/km}^2$), elevada rugosidade ($I_r = 28.641,05$) e uma declividade média de 13,39%, que sugerem um alto potencial de escoamento superficial e erosão, evidenciando a necessidade de práticas conservacionistas, como a manutenção da cobertura vegetal, o terraceamento e o plantio direto, para a mitigação dos impactos negativos e o incremento da infiltração da água no solo. Por outro lado, os indicadores de propensão a enchentes, como o coeficiente de compacidade ($K_c = 1,80$) e o fator de forma ($F = 0,54$), demonstraram que a bacia possui baixa suscetibilidade a eventos extremos de inundação.

Esses resultados reforçam a importância do planejamento integrado dos recursos hídricos, considerando tanto a conservação do solo quanto a gestão do escoamento superficial, além de contribuírem com informações quantitativas sobre a dinâmica hidrológica da bacia, fornecendo subsídios para ações de manejo sustentável e prevenção de desastres ambientais.

Uma vez que os resultados foram baseados, exclusivamente, em análises morfométricas, estudos futuros podem incorporar dados hidrológicos e climatológicos mais detalhados, bem como modelagens dinâmicas, para ampliar a compreensão dos processos hidrossedimentológicos na bacia e aprimorar as discussões apresentadas.

Conclui-se, portanto, que a caracterização morfométrica da bacia do rio Itapecerica configura-se como uma importante ferramenta para o planejamento ambiental, permitindo a implementação de estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável dos recursos naturais, garantindo a preservação da qualidade ambiental da região analisada.

REFERÊNCIAS

AGRELLI, Vanusa Murta. **Estudo de impactos cumulativos e sinérgicos**: análise do sistema

normativo brasileiro e considerações sobre o modelo espanhol. 2018. 213 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Jurídica) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Jurídica, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2018. Disponível em:

<https://www.univali.br/Lists/TrabalhosMestrado/Attachments/2501/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Vanusa%20Murta%20Agreli.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ALMEIDA, Aleska Kaufmann *et al.* Estimando o tempo de concentração em bacias hidrográficas de diferentes regiões brasileiras. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019. p. 1–9. Disponível em:

<https://anais.abrhidro.org.br/works/6098>. Acesso em: 18 nov. 2024.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; BENINI, Sandra Medina (org.). **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. Tupã: ANAP, 2018. Disponível em:

[https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-](https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/bacias_hidrograficas_fundamentos_e_aplicacoes___juliana_heloisa_pine_a_merico_pinheiro_sandra_medina_benini_orgs.pdf)

[Graduacao/profagua/bacias_hidrograficas_fundamentos_e_aplicacoes___juliana_heloisa_pine_a_merico_pinheiro_sandra_medina_benini_orgs.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/bacias_hidrograficas_fundamentos_e_aplicacoes___juliana_heloisa_pine_a_merico_pinheiro_sandra_medina_benini_orgs.pdf). Acesso em: 18 mar. 2025.

BAGIO, Bárbara. **Relações da erosão hídrica com sistemas de manejo do solo e com comprimentos de declive**. 2020. 142 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2020. Disponível em:

https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/2416/RELA_ES_DA_EROS_O_H_DRICA_COM_SISTEMAS_DE_MANEJO_DO_SOLO_E_COM_COMPRIMENTOS_DE_DECLIVE_16177254720784_2416.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

BARBOZA, Eliezio Nascimento *et al.* Hydrological characterization of an urban watershed in Ceará using Geographic Information System – GIS. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e40811225440, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25440. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25440>. Acesso em: 23 mar. 2025.

BELTRÃO, Joyce de Araujo. **Análise da variabilidade da precipitação e dos processos hidrossedimentológicos na bacia do Alto Rio São Francisco**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/12849/1/Arquivototal.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

BERNARDI, Ewerthon Cezar Schiavo; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli. Impacto do uso e cobertura do solo no deflúvio do Rio Conceição, RS. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 357–370, 2016. Disponível em:

<https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1400>. Acesso em: 18 mar. 2025.

BORGES, Anne Caroline Lôbo; SILVA, Priscilla Regina da. **Conservação do solo: práticas conservacionistas**. Brasília: Emater-DF, 2019. Disponível em:

<https://biblioteca.emater.df.gov.br/jspui/handle/123456789/130>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BOZZI, Vinícius. **Biólogos divulgam e-book gratuito sobre peixes do Rio Itapecerica (MG)**. 2022. Disponível em: <https://crbio04.gov.br/noticias/biologos-divulgam-e-book-gratuito-sobre-peixes-do-rio-itapecerica-mg/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

BRASIL. **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, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 20 mar. 2025.

CASTRO, Karen Quintão. **Caracterização e quantificação do potencial hídrico subterrâneo do baixo curso do rio Piracicaba (MG)**. 2021. 81 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2021. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/dissertacoesdefendidas/dissertacao-karen-quintao-castro.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

DECINA, Thiago Galvão Tiradentes; BRANDÃO, João Luiz Boccia. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 207–217, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41520201600100116134. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100116134>. Acesso em: 19 mar. 2025.

DURANT, Pedro Corsino. **Tempo de concentração em pequenas bacias hidrográficas na região de Uberlândia, Minas Gerais**. 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.868>. Acesso em: 18 nov. 2024.

E-KRISHI SHIKSHA. **Watershed Hydrology**: Lesson 15 – Types of Watersheds. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3EsnB5U>. Acesso em: 17 nov. 2019.

FÉLIX, Evandro André. **Morfologia, morfometria e dinâmica fluvial como subsídio para o planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Cabaçal – MT**. 2018. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências Humanas, Campus de Cáceres, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2018. Disponível em: <https://portal.unemat.br/media/files/PPGGEO/evandro-andre-felix.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FERREIRA, Heitor Renan *et al.* Classificação climática para o estado de Minas Gerais segundo as zonas de vida de Holdridge. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 304–314, 2019. DOI: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n2.ferreira. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/7431>. Acesso em: 20 mar. 2025.

FIORESE, Caio Henrique Ungarato; SILVA, Gabriel Adão Zechini da; TORRES, Herbert. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do ribeirão São João, estado do Espírito Santo. **Cadernos Camilliani**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 1245–1266, 2019. Disponível em: <https://www.saocamilo-es.br/revista/index.php/cadernoscamilliani/article/view/356/212>. Acesso

em: 18 mar. 2025.

GIANDOTTI, Mario. Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. **Istituto Poligrafico dello Stato**, n. 8, p. 107–117, 1934.

GRAVELIUS, Hans. **Flußkunde**. Berlim: E. J. Göschen'sche Verlagshandlung GmbH, 1914.

HORTON, Robert E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, [S. l.], v. 56, n. 3, p. 275–370, 1945. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2). Acesso em: 21 mar. 2025.

LACERDA, Heitor Carvalho. **Usos de diferentes modelos e validações para o estudo da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio dos Bagres – MG**. 2019. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019. Disponível em: <https://www.geo.ufv.br/wp-content/uploads/2019/12/Heitor-Carvalho-Lacerda.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

LEE, Jinwoo *et al.* Evaluation of the structure of urban stormwater pipe network using drainage density. **Water**, [S. l.], v. 10, n. 10, p. 1444, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w10101444>. Acesso em: 19 mar. 2025.

LOPES, Danielle de Castro. **Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método Kimbal e obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação: estudo de caso: Coronel Pacheco - MG**. 2017. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental//files/2014/02/TFC-Danielle.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MACÊDO, Francisca Ranielly de Brito. **Zoneamento das áreas de risco da microbacia do rio Granjeiro, Crato/CE**. 2021. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2021. Disponível em: https://www.uern.br/controladepaginas/ppgeo-dissertacoes/arquivos/3645dissertaa%C2%A7a%C2%A3o_ranielly.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida; WADT, Paulo Guilherme Salvador. **Terraceamento**. Portal Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas/terraceamento#:~:text=os%20espa%C3%A7os%20entre%20os%20terra%C3%A7os,ou%20su bdimensionamento%20dessas%20dist%C3%A2ncias%3B%20e>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MAMÉDIO, Felipe Maciel Paulo; CASTRO, Nilza Maria dos Reis; CORSEUIL, Claudia Weber. Tempo de concentração para bacias rurais monitoradas na região do Planalto Basáltico no sul do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 15, 2018. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/39>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MARTH, Jonathan Duarte; MOURA, Nina Simone Vilaverde; KOESTER, Edinei. Estudo da

suscetibilidade à inundação com base em análise geomorfológica, bacia hidrográfica do Arroio Santa Isabel, região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 13–18, 2016. Disponível em:

<https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/43>. Acesso em: 23 mar. 2025.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras, MG: UFLA, 2013.

MELO, Dayane Oliveira Santos *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 13, n. 7, p. 3554–3570, 2020. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/245050>. Acesso em: 25 out. 2024.

MERGEN-JUNIOR, Carlos Aristeu *et al.* Caracterização física de agregados do solo submetido a 10 anos de aplicação de dejetos suínos. **Revista de Ciências Agrícolas**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 79–92, 2019. DOI: 10.22267/rcia.193601.100. Disponível em:

<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/4700>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MORAES, Maria Eugênia Bruck de; LORANDI, Reinaldo (org.). **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2016. Disponível em:

<https://static.scielo.org/scielobooks/4wbr2/pdf/moraes-9788574554433.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MOURA, Derick Martins Borges de. Análise geomorfométrica da alta bacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta, possível fonte de abastecimento hídrico da cidade de Iporá (GO). **Revista Geográfica Acadêmica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 112–137, 2023. Disponível em:

<https://revista.ufr.br/rga/article/view/7673>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MOURA, Derick Martins Borges de; OLIVEIRA, Ivanilton José de; NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. Análise morfométrica comparativa das altas bacias hidrográficas dos ribeirões Santo Antônio e Santa Marta (Iporá-GO) como suporte à avaliação do comportamento hidrológico.

Revista da ANPEGE, [S. l.], v. 18, n. 36, p. 98–135, 2022. DOI: 10.5418/ra2022.v18i36.16166. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/16166>. Acesso em: 19 mar. 2025.

NOBRE, Nathália Coelho *et al.* Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 11–34, 2020. DOI:

10.48075/actaiguaz.v9i1.19021. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/19021>. Acesso em: 19 nov. 2024.

OLIVEIRA, Anna Hoffmann *et al.* Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 143–154, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p143. Disponível em:

<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5914>. Acesso em: 23 mar. 2025.

PADILHA, Rinaldo Marques; SOUZA, Célia Alves de. Características morfométricas do relevo e

drenagem da bacia hidrográfica do Rio Carapá nos municípios de Colíder e Nova Canaã do Norte – MT. In: PEREZ FILHO, Archimedes; AMORIM, Raul Reis (org.) **Os Desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – Unicamp, 2017. p. 52–63.

Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1777>. Acesso em: 19 mar. 2025.

PELLEGRINI, André; BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare (ed.). **Manejo e conservação de solo e água**: volume 1 – formação, implantação e metodologias. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2023/07/Livro-Rede-AgroPesquisa_digital.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

RODRIGUES, Lineu Neiva; PRUSKI, Fernando Falco. Fundamentos e benefícios do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta para os recursos hídricos. In: BUNGENSTAB, Davi José *et al.* (ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1112571>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SALIS, Hugo Henrique Cardoso *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas - MG. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n. 2, p. 186–201, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/36965>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SAMPAIO, Augusto César Praciano; CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes; BASTOS, Frederico de Holanda. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 125–143, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.1.p125-143. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233612>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SANTOS, James Rafael Ulisses dos. **Análise integrada da vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (ES)**. 2016. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/9322>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SCHUMM, Stanley Alfred. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, [S. l.], v. 67, n. 5, p. 597–646, 1956. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2). Acesso em: 23 mar. 2025.

SILVA, Adryeny Arantes. **Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas inseridas no município de Rio Verde, Goiás**. 2015. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3Gyxb1>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, Andreлина Fernandes da; FARIAS, Carolyne Wanessa Lins de Andrade. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú utilizando o modelo SWAT. **Revista Semiárido De Visu**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 76–86, 2021. DOI: 10.31416/rsdv.v9i2.216. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/v9n201>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SILVA, Anna Lúcia. **Níveis de mananciais que abastecem cidades no Centro-Oeste de MG estão abaixo da média**. G1, 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/niveis-de-mananciais-que-abastecem-cidades-no-centro-oeste-de-mg-estao-abaixo-da-media.ghtml>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, Emanuelle Pereira da *et al.* Uso do solo e caracterização morfométrica como subsídios para análise das áreas de alagamento e da qualidade da água nas microbacias do Macambira e Cascavel, Goiânia-GO. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 41, p. e59, 2019. DOI: 10.5902/2179460X38425. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/38425>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SILVA, Fernanda Chaveiro da *et al.* Direito ao desenvolvimento sustentável: uma análise a partir das potencialidades e limitações do meio físico e das formas de uso e ocupação do solo nos assentamentos rurais de Silvânia, GO. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, v. 25, n. 4, p. e2543693, 2024. DOI: 10.20435/inter.v25i4.3693. Disponível em: <https://doi.org/10.20435/inter.v25i4.3693>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, Marcela Alves da. **Modelagem hidrológica e das perdas de solo**: suas relações com as formas de relevo e uso do solo na bacia do rio Taperoá-PB. 2015. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8152/2/arquivototal.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **IDE-SISEMA**. 2022. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

SOUSA, Flavio Alves; RODRIGUES, Sílvio Carlos. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, [S. l.], v. 11, n. 25, p. 141–151, 2012. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/588>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SOUZA, Camila Furlan de *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí - Paraná. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 29, p. 93–110, 2018. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i29.50602. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/50602>. Acesso em: 19 mar. 2025.

STRAHLER, Arthur Newell. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **American Geophysical Union**, [S. l.], v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957. DOI: 10.1029/TR038i006p00913. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>. Acesso em: 25 out. 2024.

VALE, Jones Remo Barbosa; COSTA, Letícia Soares da; PIMENTEL, Márcia Aparecida da Silva. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira amazônica. **Geosul**, Florianópolis, v. 36, n. 78, p. 537–557, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72705>. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/72705>. Acesso em: 20 mar. 2025.

VALERIANO, Márcio de Morisson; ROSSETTI, Dilce de Fátima. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 300–309, mar. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004>. Acesso em: 18 mar. 2025.

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/189684/001007309.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

VIDALETTI, Vitória Fenilli. **Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração de água no solo e escoamento de água e sedimentos**. 2022. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2022. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6009/5/Vit%C3%B3ria_Vidaletti2022.pdf. Acesso em: 19 mar. 2025.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. Disponível em: <https://ecivilufes.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/04/villela-s-m-matos-a-hidrologia-aplicada-caps-1-2-e-3.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.

XAVIER, Francisco Alisson da Silva *et al.* Manejo e conservação do solo. In: BORGES, Ana Lúcia (ed.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 51–63. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134518>. Acesso em: 19 mar. 2025.

Artigo submetido em: 03/01/2025

Artigo aceito em: 19/05/2025

Artigo publicado em: 20/07/2025



*Este é um artigo publicado com acesso aberto sob Licença Creative Commons
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)*