

## CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FRAGOSO, PERNAMBUCO, BRASIL

## MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE WATERSHED OF THE RIVER FRAGOSO, PERNAMBUCO, BRAZIL

## CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO FRAGOSO, PERNAMBUCO, BRASIL

### Amaury Gouveia Pessoa Neto

Doutorando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE  
Email: agpn@poli.br

### Simone Rosa da Silva

Doutora em Engenharia Civil, Professora Associada da Escola Politécnica de Pernambuco (Poli/UPE), Recife/PE  
E-mail: simonerosa@poli.br

### Marcus Metri Corrêa

Doutor em Agronomia, Professor Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE  
E-mail: Marcus.Metri@gmail.com

### Henrique dos Santos Felipetto

Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Adjunto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco/PR. E-mail: felipetto@utfpr.edu.br

**RESUMO:** A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos, pois está diretamente ligada ao seu regime hidrológico. A compreensão dessas características é crucial para a gestão e o planejamento dos recursos hídricos de uma região, servindo como base para decisões de gestores e profissionais, e auxiliando na formulação de políticas públicas que promovam a convivência equilibrada entre a população e os recursos hídricos. Este estudo teve como objetivo analisar as características morfométricas da bacia do rio Frágoso, um afluente do rio Paratibe localizado na Região Metropolitana do Recife (RMR), no estado de Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE) derivados de perfilamento a *laser* aerotransportado (LiDAR). Foram realizadas a delimitação automática da bacia, a extração da rede hidrográfica e a obtenção de parâmetros morfométricos geométricos, hidrográficos e de relevo. Os resultados mostraram que a bacia do rio Frágoso possui um formato alongado e um sistema de drenagem considerado como bom. O canal principal tem um formato com tendência retilínea e as altitudes variam entre 0,08 m e 78,81 m. Essa análise possibilitou a identificação das fragilidades e potencialidades da bacia, destacando aspectos como suscetibilidade a enchentes, tendência ao assoreamento, velocidade do fluxo, condições de *habitat*, desenvolvimento do relevo, entre outros fatores.

**Palavras-chave:** Modelos Digitais de Elevação, Perfilamento a *laser* Aerotransportado (LiDAR), Recursos Hídricos, Sistema de Informações Geográficas.

**ABSTRACT:** The morphometric characterization of a watershed is fundamental for the efficient management of water resources, as it is directly linked to its hydrological regime. Understanding these characteristics is crucial for the management and planning of a region's water resources, serving as a foundation for decisions made by managers and professionals, and aiding in the formulation of public policies that promote a balanced coexistence between the population and water resources. This study aimed to analyze the morphometric characteristics of the Frago River watershed, a tributary of the Paratibe River located in the Metropolitan Region of Recife (RMR), in the state of Pernambuco, using Digital Elevation Models (DEMs) derived from airborne laser profiling (LiDAR). The automatic delineation of the watershed, extraction of the hydrographic network, and the acquisition of geometric, hydrographic, and topographic morphometric parameters were conducted. The results showed that the Frago River watershed has an elongated shape and a drainage system considered good. The main channel exhibits a rectilinear tendency, with altitudes ranging from 0.08 m to 78.81 m. This analysis enabled the identification of the watershed's strengths and weaknesses, highlighting aspects such as susceptibility to flooding, tendency to sedimentation, flow velocity, habitat conditions, relief development, among other factors.

**Keywords:** Digital Elevation Models, Airborne Laser Scanning (LiDAR), Water Resources, Geographic Information Systems.

**RESUMEN:** La caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica es fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos, ya que está directamente relacionada con su régimen hidrológico. La comprensión de estas características es crucial para la gestión y planificación de los recursos hídricos de una región, sirviendo como base para las decisiones de gestores y profesionales, y ayudando en la formulación de políticas públicas que promuevan la convivencia equilibrada entre la población y los recursos hídricos. Este estudio tuvo como objetivo analizar las características morfométricas de la cuenca del río Frago, un afluente del río Paratibe ubicado en la Región Metropolitana de Recife (RMR), en el estado de Pernambuco, utilizando Modelos Digitales de Elevación (MDE) derivados de perfilamiento láser aerotransportado (LiDAR). Se realizaron la delimitación automática de la cuenca, la extracción de la red hidrográfica y la obtención de parámetros morfométricos geométricos, hidrográficos y de relieve. Los resultados mostraron que la cuenca del río Frago tiene una forma alargada y un sistema de drenaje considerado bueno. El canal principal presenta una forma con tendencia rectilínea y las altitudes varían entre 0,08 m y 78,81 m. Este análisis permitió la identificación de las fragilidades y potencialidades de la cuenca, destacando aspectos como la susceptibilidad a inundaciones, la tendencia a la sedimentación, la velocidad del flujo, las condiciones de hábitat, el desarrollo del relieve, entre otros factores.

**Palabras clave:** Modelos Digitales de Elevación, Perfilado Láser Aerotransportado (LiDAR), Recursos Hídricos, Sistemas de Información Geográfica.

## 1. INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas podem ser definidas como regiões drenadas por um rio principal e seus tributários, onde as águas da precipitação convergem para um único ponto de saída, o exutório ou foz, ou infiltram no solo, formando nascentes e lençóis freáticos (MARTINS et al., 2022; CARVALHO et al., 2023; DOMINGUES et al., 2023; FADU et al., 2023). Espacialmente, a bacia hidrográfica é delimitada pela topografia do terreno, por meio do divisor topográfico, que é uma linha imaginária que conecta os pontos de maior altitude ao redor da rede de drenagem (SILVA NETO; RODRIGUES, 2023).

No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que regulamenta o gerenciamento dos recursos hídricos e define as bacias hidrográficas como unidades territoriais para planejamento político, hídrico e social (BRASIL, 1997). Isso significa que a gestão desses territórios deve ser descentralizada e compartilhada entre o Poder Público, os usuários e as comunidades (CARVALHO; HENRY-SILVA, 2020; MACHADO et al., 2020). Em Pernambuco, a gestão dos recursos hídricos é regulamentada pela Lei Estadual nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005, que revogou a Lei nº 11.426, de 17 de janeiro de 1997. Essa legislação estabelece a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e para a atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (PERNAMBUCO, 2005).

As bacias hidrográficas são formadas por uma interação constante entre elementos físicos, biológicos e humanos, que definem dinâmicas geomorfológicas, hidrológicas e socioambientais (VALE; BORDALO, 2020; SERVIDONI et al., 2021; SANTOS et al., 2023). Devido à complexidade dessas unidades de planejamento, é essencial compreender todas as suas características, como as físicas. Esse tipo de caracterização permite analisar a dinâmica ambiental e territorial das bacias, o que é fundamental para um gerenciamento eficaz (COSTA; GALVANIN; NEVES, 2020).

As características morfométricas de uma bacia hidrográfica são primordiais para os processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente elementos como infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e subsuperficial, bem como a quantidade de água disponível e a manutenção da vegetação (CUNHA; BACANI, 2019; ARAÚJO et al., 2024). De forma geral, a caracterização morfométrica é crucial para o entendimento das particularidades de uma bacia hidrográfica, contribuindo para sua gestão sustentável ao definir aspectos geométricos, hidrológicos e de relevo. Isso permite identificar fragilidades e potencialidades do sistema, como suscetibilidade a enchentes, tendência ao assoreamento e degradação por processos erosivos, entre outros (MARTINS et al., 2021; BUCKER et al., 2023).

Nos últimos anos, os estudos sobre bacias hidrográficas têm avançado significativamente, especialmente com o uso de técnicas de Geoprocessamento, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (BANDIM; GALVÍNCIO, 2021; LOPES et al., 2022; ALVES et al., 2023; TEÓDULO et al., 2024). O processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em ambientes SIG permite determinar, de maneira rápida e precisa, informações sobre a geometria, hidrografia e topografia das bacias hidrográficas, fornecendo uma base sólida para sua caracterização morfométrica (CUNHA; BACANI, 2019).

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas utilizando SIG tem sido abordada em estudos internacionais em países como Argentina (GUZMÁN; ANTUENO; GASPARI, 2021; RIVA; CARO; GASPARI, 2021), Chile (ALVES et al., 2021), Colômbia (LÓPEZ et al., 2022), Etiópia (BOGALE et al., 2023), Irã (DERAKHSHANI et al., 2023), Itália (GIANO; PESCATORE; SIERVO, 2021), México (TOMÉ HERNÁNDEZ; VILLARREAL MANZO, 2022), Moçambique (MARTINS; BATISTA; CABRAL, 2020) e Tailândia (WAIYASUSRI; CHOTPANTARAT, 2020). No Brasil, a análise morfométrica de bacias hidrográficas também é amplamente pesquisada, abrangendo diversas regiões do país (CAMPOS; CAMPOS, 2022;

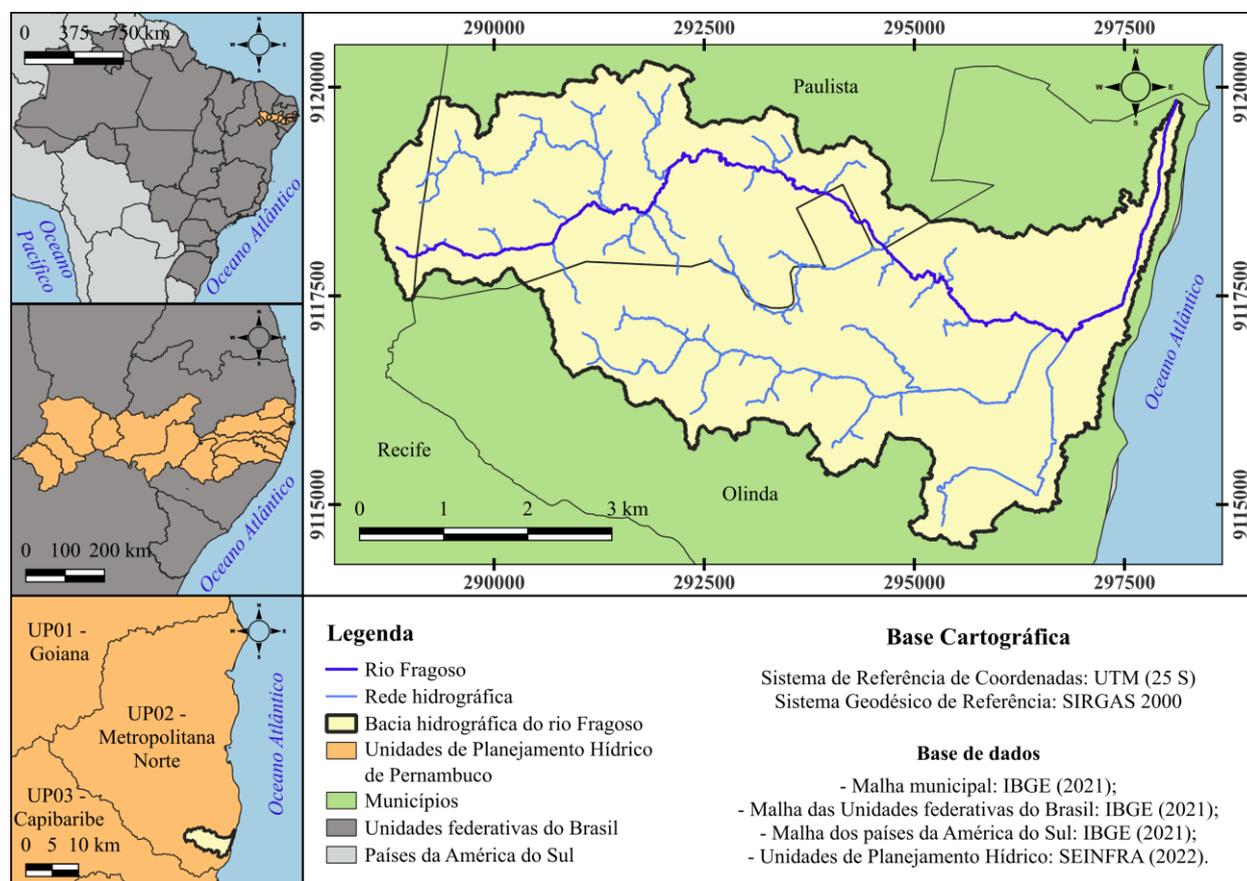
PILATTI et al., 2022; ALVES et al., 2023; DOMINGUES et al., 2023; FADU et al., 2023; LEITE et al., 2023; SILVA et al., 2023; ARAÚJO et al., 2024; BERTOTTI, 2024; TEÓDULO et al., 2024).

Assim como outras bacias pernambucanas, a do rio Fragoso inclui áreas com declividades suaves e alta urbanização. Compreender suas características morfométricas é essencial para garantir uma gestão eficaz dos recursos hídricos, promovendo uma convivência equilibrada entre a população e a água. Portanto, o objetivo deste estudo é realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Fragoso, utilizando o processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos por perfilamento a *laser* aerotransportado (LiDAR) em ambiente SIG, juntamente com modelos matemáticos de análise padronizada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e caracterização da região do estudo

A bacia hidrográfica do rio Fragoso possui aproximadamente 30 km<sup>2</sup> e está localizada no estado pernambucano, entre as coordenadas geográficas 7° 57' 15,356" e 8° 0' 23,742" de latitude sul e 34° 49' 50,548" e 34° 55' 6,051" de longitude oeste, estando totalmente inserida na Região Metropolitana do Recife (RMR). Como apresentado na Figura 1, a bacia do rio Fragoso constitui-se como sub-bacia do rio Paratibe, que integra a Unidade de Planejamento 02 - UP02 denominada Metropolitana Norte (SEINFRA, 2022). Seu canal principal, o rio Fragoso, tem sua nascente no município de Recife e percorre os municípios do Paulista e de Olinda até confluir com o rio Paratibe. Seus principais tributários são os riachos Ouro Preto e Bultrins, ambos apresentando elevada propensão a inundações (FONSECA NETO et al., 2020).



**Figura 1** – Localização da bacia hidrográfica do rio Fragoso. Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com o Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a bacia do rio Frágoso apresenta unidades geológicas do grupo Barreiras, caracterizadas predominantemente por argilito arenoso e arenito conglomerático, e depósitos flúvio-marinho, que são compostos majoritariamente por areia, argila e silte (IBGE, 2018). Em relação à pedologia, segundo a classificação de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a bacia do rio Frágoso é composta pelos seguintes tipos de solo: argissolos amarelos, espodossolos ferrihumilúvicos, latossolos amarelos e neossolos quartzarênicos, além de áreas de corpos hídricos e zonas urbanas (EMBRAPA, 2018).

Acerca do uso e cobertura da terra, o levantamento realizado pelo Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias) aponta que a área urbana predomina na bacia, resultado da intervenção estatal na construção de grandes conjuntos habitacionais a partir do final da década de 1970 (CARVALHO; BITOUN; CORRÊA, 2010). Em seguida, a agropecuária é a classe mais representativa, destacando-se pelo cultivo de lavouras de subsistência. A formação florestal é a classe menos significativa na bacia, sendo composta por remanescentes de Mata Atlântica localizados nas reservas da Mata do Ronca e Mata do Quartel do 7º GAC/EX, situadas nas proximidades da nascente do rio Frágoso.

A bacia hidrográfica do rio Frágoso foi escolhida como área de estudo devido às suas características físico-naturais e tipos de cobertura do solo distintivos. Compreender suas características morfométricas é crucial para uma análise aprofundada do seu comportamento hidrológico.

## 2.2. Aquisição e tratamento do MDE e delimitação automática da bacia

A delimitação e a caracterização morfométrica da bacia do rio Frágoso foram realizadas utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) com grade regular e resolução espacial de 30 metros, fornecido pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) e disponibilizado pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE) de Pernambuco, o PE3D fornece dados de recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a *laser* (LiDAR) do estado pernambucano, que gerou MDEs e ortoimagens de alta resolução, o que possibilitou a obtenção de informações altimétricas detalhadas (CIRILO et al., 2014; FONSECA NETO et al., 2020).

O MDE adquirido foi processado no *software* livre QGIS (versão 3.34.9), no qual os sistemas de coordenadas e geodésico foram reprojatados para UTM (fuso 25S) e SIRGAS 2000. Os *pixels* espúrios foram removidos, resultando em um Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC). A partir do MDEHC, foram geradas camadas *raster* com informações sobre direções de fluxo e declividade da região usando a função *r.watershed*.

Com essas camadas e após a identificação do exutório, através da função *r.water.outlet*, foi possível realizar a delimitação automática da bacia. A camada da bacia, inicialmente em formato matricial, foi convertida para um arquivo vetorial do tipo polígono para permitir a extração de valores geométricos, como área e perímetro.

## 2.3. Caracterização morfométrica da bacia

Com o uso do SIG para obter as camadas das áreas de drenagem e da rede hidrográfica da bacia do rio Frágoso, a caracterização morfométrica foi realizada por meio de modelos matemáticos que integram as características geométricas, a rede de drenagem e o relevo da bacia. Os parâmetros foram calculados de forma automatizada com o auxílio do *software* livre QGIS (versão 3.34.9).

### 2.3.1. Características Geométricas

- Área da Bacia (A): Refere-se à superfície total da bacia (SCHUMM, 1956) e é um parâmetro fundamental para a obtenção de outras características morfométricas (SANTOS et al., 2018). A área da bacia em estudo, expressa em km<sup>2</sup>, foi calculada automaticamente a partir da criação de uma coluna na tabela de atributos da camada, utilizando a função \$*sarea* da "calculadora de campo".

- Perímetro da Bacia (P): Geralmente expresso em km, corresponde ao comprimento do divisor topográfico (SCHUMM, 1956). Assim como a área, o perímetro da bacia foi calculado automaticamente usando a função \$*perimeter* da "calculadora de campo".

- Comprimento Axial da Bacia (L<sub>a</sub>): É o comprimento entre o exutório e o ponto mais distante da bacia (SCHUMM, 1956). O comprimento axial da bacia do rio Frágoso foi calculado em km com base nas coordenadas desses pontos, obtidas através do QGIS (versão 3.34.9).

- Largura Média da Bacia (L<sub>m</sub>): Calculada como a razão entre a área da bacia (km<sup>2</sup>) e o comprimento axial (km) (HORTON, 1945). Este parâmetro foi determinado utilizando o modelo apresentado na Equação 1.

$$L_m = \frac{A}{L_a} \quad (1)$$

- Coeficiente de Compacidade (K<sub>c</sub>): Reflete a forma da bacia em comparação com a de um círculo (Equação 2). É calculado como a relação entre o perímetro da bacia (km) e a circunferência de um círculo que teria a mesma área que a bacia (km<sup>2</sup>) (HORTON, 1945).

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

- Fator de Forma (K<sub>f</sub>): Conforme a Equação 3, representa a razão entre a área da bacia (km<sup>2</sup>) e o quadrado do comprimento axial (km) (HORTON, 1945).

$$K_f = \frac{A}{(L_a)^2} \quad (3)$$

- Índice de Circularidade (I<sub>c</sub>): Expressa a relação entre a área (km<sup>2</sup>) e o perímetro da bacia (km) (Equação 4). Esse índice tende a se aproximar de um à medida que a forma da bacia se aproxima de um círculo perfeito (MÜLLER, 1953).

$$I_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (4)$$

- Razão de Elongação (R<sub>e</sub>): Definida pela relação entre índices pré-determinados, a área (km<sup>2</sup>) e o comprimento axial da bacia (km) (Equação 5) (SCHUMM, 1956), a razão de alongação reflete a forma da bacia em termos de sua extensão e comprimento.

$$R_e = 1,128 \times \frac{\sqrt{A}}{L_a} \quad (5)$$

### 2.3.2. Características Hidrográficas

- Comprimento do Canal Principal (L): Refere-se ao comprimento total do rio principal, desde sua nascente até seu exutório (HORTON, 1932). Para a bacia em estudo, esse comprimento, expresso em km, foi determinado automaticamente usando a função *length* da "calculadora de campo".

- Comprimento do Talvegue do Canal Principal ( $L_{tal}$ ): É a distância em linha reta entre a nascente e o exutório do rio principal (HORTON, 1932). Utilizando as coordenadas desses pontos, definidas pelo QGIS (versão 3.34.9), foi calculado o comprimento do talvegue do rio Frágoso em km.

- Comprimento Total da Rede Hidrográfica ( $L_t$ ): Corresponde ao somatório do comprimento de todos os cursos d'água dentro da bacia (HORTON, 1932). Esse valor, expresso em km, foi calculado automaticamente utilizando as funções *length* e *sum* da "calculadora de campo".

- Densidade de Drenagem (Dd): Relaciona o comprimento total dos canais ou rios (km) com a área da bacia hidrográfica ( $km^2$ ) (HORTON, 1932). Expressa em  $km/km^2$ , foi calculada segundo a Equação 6.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (6)$$

- Sinuosidade (S): Representa a relação entre o comprimento do rio principal (km) e o comprimento do talvegue (km), conforme a Equação 7 (SCHUMM, 1963).

$$S = \frac{L}{L_{tal}} \quad (7)$$

- Índice de Sinuosidade ( $I_S$ ): Expresso em porcentagem, é a razão entre o comprimento do rio principal (km) e o comprimento do talvegue (km), calculada de acordo com a Equação 8 (SCHUMM, 1963).

$$I_S = 100 \times \frac{(L - L_{tal})}{L} \quad (8)$$

- Tempo de Concentração ( $T_c$ ): Refere-se ao tempo, geralmente expresso em minutos, que a água leva para percorrer do ponto mais longínquo até o exutório da bacia (KIRPICH, 1940). Esse valor pode ser obtido através da Equação 9, onde são relacionados o comprimento do canal principal (L), em km, e o desnível do rio principal (H), em metro.

$$T_c = 85,20 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,358} \quad (9)$$

- Ordem da Bacia: Representa a classificação hierárquica da bacia (STRAHLER, 1957). A ordenação hierárquica da área em estudo foi realizada utilizando a função *channel network and drainage basins*, seguindo o Método de Strahler.

### 2.3.3. Características de Relevô

- Altitudes Máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ ) e Mínima ( $H_{m\acute{i}n}$ ): Representam, respectivamente, as cotas altimétricas de maior e menor elevação. Esses valores, em metros, foram obtidos a partir do MDE da região.

- Amplitude Altimétrica ( $\Delta H$ ): É a diferença, em metros, entre as altitudes máxima e mínima da bacia, calculada conforme a Equação 10 (STRAHLER, 1957).

$$\Delta H = H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n} \quad (10)$$

- Declividade do Rio Principal: Refere-se à relação entre a amplitude altimétrica (m) e o comprimento do rio principal (km) (VILLELA e MATOS, 1975). São consideradas duas categorias para esse parâmetro: a declividade baseada nos extremos ( $S_1$ ), calculada pela razão entre a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal (Equação 11), e a declividade obtida a partir das altitudes correspondentes a 10% e 85% do comprimento do rio, medido a partir do exutório ( $S_{10-85}$ ) (Equação 12). Ambas as declividades foram expressas na unidade m/km.

$$S_1 = \frac{\Delta H}{L} \quad (11)$$

$$S_{10-85} = \frac{H_{85\%} - H_{10\%}}{0,75 \times L} \quad (12)$$

- Índice de Rugosidade ( $I_r$ ): Representa a relação entre a amplitude altimétrica (m) e a densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ ), conforme o modelo apresentado na Equação 13 (MELTON, 1957).

$$I_r = \Delta H \times D_d \quad (13)$$

- Perfil Longitudinal do Rio Principal: Elaborado a partir do MDE da bacia, este perfil ilustra a variação das cotas altimétricas ao longo do comprimento do rio principal.

- Curva Hipsométrica: Representa graficamente a relação entre a área da bacia e a altitude correspondente. Pode ser apresentada em dados absolutos (com o eixo x indicando a área e o eixo y a altitude) ou em dados relativos (percentuais da área e altitude máxima). Para a bacia do rio Fragoso, o gráfico foi gerado pela função “Curvas hipsométricas” usando o MDE da região.

Por fim, os parâmetros morfométricos determinados foram classificados de acordo com a relação descrita no Quadro 1.

**Quadro 1** – Valores de referência para classificação dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Intervalo	Descrição	Fonte
<b>Características Geométricas</b>			
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,00 - 1,25	Bacia com alta propensão a enchentes	Horton, 1945
	1,25 - 1,50	Bacia com tendência moderada a enchentes	
	> 1,50	Bacia com baixa propensão a enchentes	
Coeficiente de forma (Kf)	< 0,50	Bacia com baixa propensão a enchentes	Horton, 1945
	0,50 - 0,75	Bacia com tendência moderada a enchentes	
	0,75 - 1,00	Bacia com alta propensão a enchentes	
Índice de Circularidade (Ic)	< 0,50	Bacia com formato alongado	Müller, 1953
	0,50 - 0,75	Bacia com formato intermediário	
	0,75 - 1,00	Bacia com formato circular	
Razão de alongação (Re)	< 0,50	Bacia com formato muito alongado	Schumm, 1956
	0,50 - 0,70	Bacia com formato alongado	
	0,70 - 0,80	Bacia com formato pouco alongado	
	0,80 - 0,90	Bacia com formato ovalado	
	> 0,90	Bacia com formato circular	
<b>Características Hidrográficas</b>			
Densidade de drenagem (Dd) (km/km <sup>2</sup> )	< 0,50	Bacia com drenagem pobre	Horton, 1932
	0,50 - 1,50	Bacia com drenagem regular	
	1,50 - 2,50	Bacia com drenagem boa	
	2,50 - 3,50	Bacia com drenagem muito boa	
	> 3,50	Bacia excepcionalmente bem drenada	
Sinuosidade (S)	≈ 1,00	O rio principal tende a ser retilíneo	Schumm, 1963
	> 2,00	O rio principal tende a ser tortuoso	
Índice de sinuosidade (Is) (%)	< 20,00	O rio principal tende a ser muito retilíneo	Schumm, 1963
	20,00 - 30,00	O rio principal tende a ser retilíneo	
	30,00 - 40,00	O rio principal tende a ser divagante	
	40,00 - 50,00	O rio principal tende a ser sinuoso	
	> 50,00	O rio principal tende a ser muito sinuoso	
Ordem da bacia	1	Habitat de peixes pouco provável	Strahler, 1957
	2	Condições de habitat baixas	
	3	Condições de habitat moderadas	
	≥ 4	Condições de habitat elevadas	
<b>Características de Relevo</b>			
Índice de rugosidade (Ir)	< 150,00	Fraca	Melton, 1957
	150,00 - 550,00	Média	
	550,00 - 950,00	Forte	
	> 950,00	Muito forte	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de HORTON (1932; 1945), MÜLLER (1953), SCHUMM (1956; 1963), MELTON (1957) e STRAHLER (1957).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Características Geométricas

Os parâmetros geométricos da bacia hidrográfica do rio Fragoso estão detalhados na Tabela 1. Utilizando o SIG, foram calculados a área, o perímetro e o comprimento axial da bacia, com valores de 28,21 km<sup>2</sup>, 63,13 km e 9,64 km, respectivamente. A partir desses dados, e por meio de modelos matemáticos específicos, é possível determinar a forma da bacia, identificando se ela apresenta um formato mais alongado ou circular.

**Tabela 1** – Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Fragoso

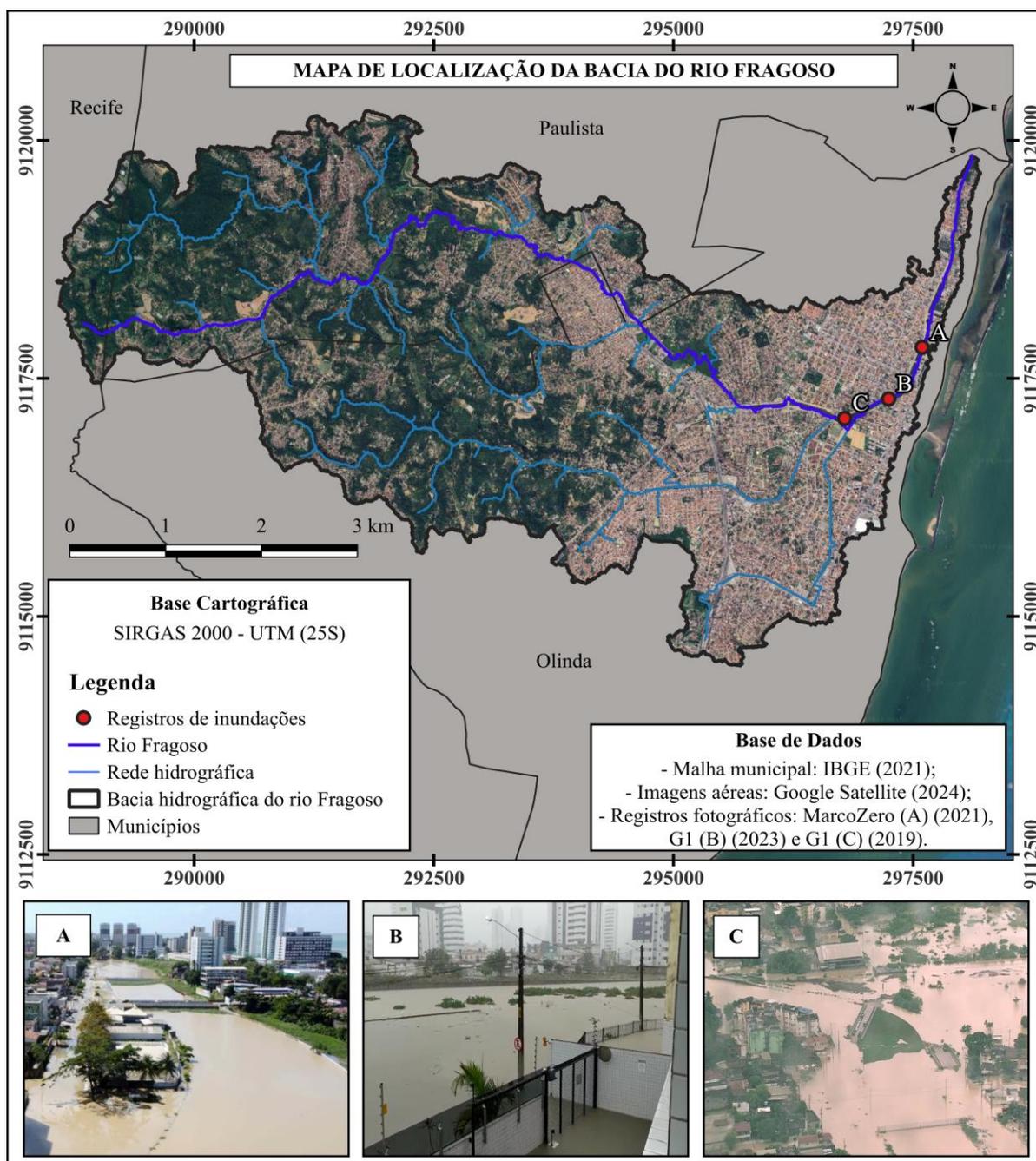
Característica Geométrica	Valor
Área da bacia (A)	28,21 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia (P)	63,13 km
Comprimento axial da bacia (La)	9,64 km
Largura média da bacia (Lm)	2,93 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	3,33
Fator de forma (Kf)	0,30
Índice de circularidade (Ic)	0,09
Razão de alongação (Re)	0,62

Fonte: Os autores

O valor do Kc, equivalente a 3,33, indica que a bacia hidrográfica do rio Fragoso tem baixa propensão a enchentes em condições médias de precipitação (HORTON, 1945). Segundo Lopes et al. (2018), essa baixa propensão é explicada pelo valor do Kc estar significativamente afastado do valor unitário. Em relação ao Kf, um valor de 0,30 sugere que a bacia tem um formato alongado, o que representa um risco reduzido de inundações e cheias repentinas (HORTON, 1945). Confirmando essa observação, os valores de Ic e Re, que são 0,09 e 0,62, respectivamente, reforçam a ideia de que a bacia tem um formato alongado (MÜLLER, 1953; SCHUMM, 1956).

Martíns et al. (2021) destacam que os parâmetros morfométricos relacionados à geometria da bacia são amplamente utilizados para avaliar sua suscetibilidade a inundações, pois estão diretamente associados ao tempo de concentração da bacia. Segundo Alves et al. (2020), durante eventos intensos de chuva na cabeceira da bacia, o tempo de concentração das águas precipitadas pode ser significativamente reduzido, aumentando a probabilidade de episódios de crescimento rápido do deflúvio nas áreas a jusante.

Logo, mesmo que o formato da bacia do rio Fragoso não favoreça a ocorrência de enchentes, é importante ressaltar que uma parte significativa de seus cursos médio e inferior está localizada em uma região urbanizada do município de Olinda, sendo essa classe de cobertura da terra responsável por representar cerca de 51% da área total da bacia (MAPBIOMAS, 2023). A presença de ocupações irregulares no entorno do rio Fragoso resulta na remoção da mata ciliar, bem como no descarte de resíduos sólidos e no lançamento de efluentes domésticos diretamente nesse corpo hídrico. Esse tipo de intervenção antrópica, quando realizada sem o devido planejamento, intensifica o processo de transformação da dinâmica fluvial e provoca impactos significativos, como a impermeabilização das áreas (PEREIRA; MENDES, 2018). Esses efeitos alteram o equilíbrio natural da paisagem e modificam os processos geomorfológicos, resultando em consequências graves, como o aumento da frequência de inundações urbanas na região (Figura 2).



**Figura 2** – Registros de inundações na bacia hidrográfica do rio Fragoso. Fonte: Elaborado pelos autores.

De maneira semelhante, Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2023) encontraram para a bacia hidrográfica do rio Duas Unas, em Pernambuco, resultados similares aos deste trabalho. Sendo os valores do  $K_c$ ,  $K_f$ ,  $I_c$  e  $R_e$  iguais a 2,27, 0,28, 0,19 e 0,59, respectivamente, indicando um formato alongado para a bacia. Embora o formato da bacia não a torne propensa a enchentes, há uma quantidade significativa de ocupações irregulares no seu curso inferior. Esse tipo de interferência altera de maneira significativa os componentes do ciclo hidrológico, aumentando a suscetibilidade da bacia a inundações, especialmente durante eventos pluviométricos extremos.

Para a sub-bacia do baixo rio Jaci Paraná, na Amazônia Ocidental, Zanchetta et al. (2019) encontraram os valores do  $K_c$ ,  $K_f$  e  $I_c$  iguais a 1,86, 0,28 e 0,29, respectivamente. Esses valores indicam que a bacia possui uma forma alongada e uma menor propensão a enchentes. Essa característica é predominante na região devido ao relevo suave ondulado que a caracteriza. Em

relação ao  $K_c$  e ao  $I_c$  da bacia do rio Jaguaribe, na Bahia, Estevam e Maia (2023) encontraram os valores respectivos a 1,79 e 0,30. Esses resultados indicam que a bacia possui um formato alongado, o que está alinhado com o mergulho das estruturas de falhas do interior continental em direção ao leste, em direção ao Oceano Atlântico, sugerindo um forte controle estrutural sobre a bacia.

Ao estudar as bacias da região de Kaeng Lawa, na Província de Khon Kaen, Tailândia, Waiyasusri e Chotpantararat (2020) encontraram valores de  $I_c$  inferiores a 1 e valores de  $R_e$  superiores a 1, o que indica uma forma circular das bacias. Isso sugere que as bacias da região têm alta vulnerabilidade a inundações repentinas devido à sua estrutura com múltiplos cursos d'água. Ou seja, essas bacias possuem baixa capacidade de retenção de água da chuva, tornando-as propensas a inundações frequentes.

### 3.2. Características Hidrográficas

O conhecimento e a caracterização dos padrões de drenagem de uma bacia são essenciais, pois compreender esses fatores é fundamental para um desenvolvimento e planejamento eficaz das unidades territoriais (SOARES; GALVÍNIO, 2020). Os parâmetros morfométricos relacionados à caracterização hidrográfica do rio Frágoso estão apresentados na Tabela 2. Os resultados encontrados para o comprimento do rio principal, o talvegue do rio principal e a rede hidrográfica da bacia do rio Frágoso foram respectivos a 13,06 km, 9,43 km e 69,65 km. Esses valores têm uma influência direta na densidade de drenagem da bacia, determinando se ela é bem ou mal drenada, e na sinuosidade do rio principal, que pode ser mais retilíneo ou sinuoso.

**Tabela 2** – Características hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Frágoso

Característica Hidrográfica	Valor
Comprimento do canal principal (L)	13,06 km
Comprimento do talvegue do canal principal (Ltal)	9,43 km
Comprimento total da rede hidrográfica (Lt)	69,65 km
Densidade de drenagem (Dd)	2,45 km/km <sup>2</sup>
Sinuosidade (S)	1,38
Índice de sinuosidade (Is)	27,79 %
Tempo de concentração (Tc)	309,88 min. ou 5,16 h
Ordem da bacia	3 <sup>a</sup>

Fonte: Os autores

Em relação à densidade de drenagem da bacia do rio Frágoso, o valor encontrado foi de 2,45 km/km<sup>2</sup>, o que indica uma boa capacidade de drenagem. Segundo Smichowski e Contreras (2022), valores mais elevados de densidade de drenagem significam que a bacia responde mais rapidamente a eventos extremos de precipitação, pois o escoamento da água é mais veloz nessas condições. Por outro lado, bacias com valores menores de densidade de drenagem geralmente possuem solos mais resistentes à erosão ou mais permeáveis, e o relevo tende a ser mais suave, resultando em um escoamento mais lento do fluxo (COSTA; GALVANIN; NEVES, 2020).

Ao estudar a bacia do rio Piranhas, na Paraíba, Alves et al. (2023) obtiveram para a  $D_d$  o valor de 0,745 km/km<sup>2</sup>, o que indica uma drenagem regular. Na região onde a bacia está localizada, esse valor de  $D_d$  está frequentemente associado à presença de rochas impermeáveis, bem como a precipitações de baixa intensidade e pouca concentração. Na bacia do Rio Monapo, em Moçambique, Martins, Batista e Cabral (2020) encontraram um valor de  $D_d$  de 0,351 km/km<sup>2</sup>, caracterizando uma drenagem pobre. Esse valor confirma as baixas dissecação do relevo e permeabilidade dos solos e as características semiáridas do clima na região.

Em relação à sinuosidade do rio principal, o valor de 1,38 indica que o canal tende a ser retilíneo, já que está próximo de 1,00. O índice de sinuosidade de 27,79% confirma essa característica, pois se situa entre 20,01% e 30,00%. A linearização dos rios geralmente está associada a intervenções, como obras de retificação e canalização, o que é evidente no baixo curso do rio Fragoso. Devido à expansão da malha urbana, muitos rios são canalizados para permitir a ampliação das áreas disponíveis para construção e para resolver problemas relacionados a inundações e à propagação de doenças transmitidas pela água (CARVALHO; MARANGON; SANTOS, 2020).

Segundo Melo et al. (2020), a sinuosidade é um parâmetro que influencia a velocidade do fluxo, uma vez que quanto maior a sinuosidade do rio, maior a dificuldade para o deslocamento da água, resultando em velocidades de escoamento mais baixas. Em contraste, canais retilíneos apresentam velocidades de fluxo mais elevadas devido à menor quantidade de barreiras físicas (LOPES et al., 2022). Em um estudo semelhante, Vale, Costa e Pimentel (2021) determinaram que a sinuosidade do rio Mocajuba, na região costeira da Amazônia, é de 1,37, indicando uma tendência para a formação de canais mais retilíneos. Da mesma forma, Miyazaki e Vencesclau (2020) observaram um valor de 1,13 para a sinuosidade do córrego São José, em Minas Gerais, o que também indica um canal retilíneo. Os autores atribuem a diminuição da sinuosidade ao aumento da granulometria e à maior quantidade de carga detrítica.

O tempo de concentração para a região estudada foi encontrado em 5,16 horas, o que indica que a bacia leva pouco menos de um quarto de dia para que toda a água precipitada atinja o exutório. Segundo Mamédio, Castro e Corseuil (2018), esse índice é essencial para análises hidrológicas, como a estimativa de vazões máximas de bacias hidrográficas. Além disso, o tempo de concentração está relacionado à velocidade do fluxo de água sobre a superfície da bacia, visto que quanto maior o tempo de concentração, menor será a velocidade do escoamento e, portanto, menor a propensão a enchentes (RIBEIRO; BORGES; FERNANDES, 2022).

Embora existam várias equações empíricas para a determinação do tempo de concentração baseadas em características físicas das bacias hidrográficas, como área, declividade e comprimento do rio principal, é importante destacar que esse parâmetro é influenciado por diversos outros fatores. Estes incluem as condições da cobertura do solo, a hidráulica dos canais (como declividade e revestimento), a variabilidade nas intensidades e durações das chuvas, o estado do solo no início da precipitação, entre outros (MAMÉDIO; CASTRO; CORSEUIL, 2018). De acordo com Queiroz e Alves (2020), quanto mais urbanizada for a bacia, maior será o escoamento superficial e, conseqüentemente, menor será o tempo de concentração.

Ao determinar o  $T_c$  da bacia do rio Preguiças, no Maranhão, Soares, Oliveira e Santos (2023) obtiveram o valor de 56,32 horas. Os autores associaram esse resultado à forma alongada da bacia e à sinuosidade do rio principal, fatores que contribuem para o aumento desse parâmetro. Além disso, foram destacados a baixa densidade de drenagem e o predomínio de relevos planos e suave-ondulados, com uma declividade média de 24,48%, como influência para o elevado  $T_c$ . Para a bacia do rio Luján, na Argentina, Riva, Caro e Gaspari (2021) encontraram um valor de 57,23 horas para o  $T_c$ , utilizando também o modelo de Kirpich. Esse valor, de acordo com os autores, é de longa duração, o que está em consonância com a suave declividade média do leito do rio, a baixa densidade e frequência de drenagem e o pequeno coeficiente de torrencialidade.

A ordenação dos canais fluviais, um critério essencial na investigação da rede de drenagem, depende de uma variedade de fatores, como litologia, estruturas geológicas e das condições fisiográficas da bacia, incluindo topografia, declividade e regime pluvial (TEÓDULO et al., 2024). A bacia do rio Fragoso é classificada como de terceira ordem, de acordo com a designação de Strahler (1957). Essa classificação sugere uma condição moderada para a habitat de peixes, indicando que o sistema de drenagem da bacia é relativamente pouco ramificado

(STRAHLER, 1957). Ordens de rios mais elevadas estão associadas a um aumento na profundidade e largura médias do canal, o que influencia o fluxo, a estrutura da rede de drenagem, bem como a diversidade de espécies aquáticas (MARINHO et al., 2021; SMICHOWSKI; CONTRERAS, 2022).

### 3.3. Características de Relevo

As características do relevo da bacia do rio Frágoso são trazidas na Tabela 3. As altitudes máxima e mínima da bacia são de 78,81 m e 0,08 m, respectivamente, resultando em uma amplitude altimétrica de 78,73 m. Segundo Peruzzo et al. (2022), a altitude da bacia influencia diretamente a quantidade de radiação solar recebida pela região, afetando assim a evapotranspiração, a temperatura e a precipitação locais. Em áreas de menor altitude, a quantidade de energia solar é maior, o que contribui para uma evapotranspiração mais intensa.

Segundo Silva Neto e Rodrigues (2023), o estudo do relevo contribui na indicação da velocidade do escoamento superficial na bacia hidrográfica, pois essa grandeza pode ser relacionada com a energia cinética do relevo. Esse entendimento facilita a identificação de áreas suscetíveis à erosão, a capacidade de armazenamento de água e a avaliação da vulnerabilidade a inundações em diferentes regiões da bacia.

**Tabela 3** – Características do relevo da bacia hidrográfica do rio Frágoso

Característica do Relevo	Valor
Altitude máxima (Hmax)	78,81 m
Altitude mínima (Hmin)	0,08 m
Amplitude altimétrica ( $\Delta H$ )	78,73 m
Declividade do rio principal (S1)	2,82 m/km
Declividade do rio principal (S10-85)	1,98 m/km
Índice de rugosidade (Ir)	90,30

Fonte: Os autores

A Figura 3 mostra o mapa hipsométrico da bacia do rio Frágoso. Segundo Lopes et al. (2018), o mapa hipsométrico de uma bacia hidrográfica revela a relação entre o MDE e a rede de drenagem, permitindo a identificação das conectividades dos cursos d'água. Em relação à distribuição das classes hipsométricas da bacia do rio Frágoso, observou-se que a classe com maior frequência abrange as cotas altimétricas entre 0,08 m e 10,00 m, correspondendo a 23,47% da área total (Figura 3). Essa classe abrange principalmente a porção costeira da bacia. Em contraste, a classe com a menor frequência, apresentando altimetria entre 70,01 m e 78,81 m, representa apenas 1,88% da bacia e está localizada na parte oeste da região.

No estudo da bacia do baixo rio Salado, localizada na Região de Atacama, Chile, Alves et al. (2021) observaram que sua altitude varia de 20,00 a 1.995,00 metros acima do nível do mar (mamsl). A maior parte da superfície está situada entre 900,00 e 1.300,00 mamsl, enquanto a menor parte da área alcança altitudes de 1.995,00 mamsl, evidenciando uma maturidade hidrológica. Dado que a bacia está na zona da Cordilheira da Costa, onde as altitudes não ultrapassam os 2.000,00 mamsl, esse resultado sugere um potencial erosivo significativo e um predominante transporte de sedimentos e água.

Segundo o estudo de Silva Neto e Rodrigues (2023), a bacia hidrográfica do rio Gavião, na Bahia, apresenta uma faixa altimétrica que varia de 270,00 a 1.390,00 metros, resultando em uma amplitude altimétrica de 1.120,00 m. As áreas de menores altitudes (270-470 metros) estão localizadas próximas à foz, enquanto as áreas de maiores altitudes (1.070-1.390 metros)

encontram-se no sul, próximas à nascente do rio principal. Observou-se que 77,00% da área da bacia está situada a altitudes abaixo de 800,00 metros, o que contribui para um melhor entendimento do perfil topográfico da região e sua elevação média em relação ao nível do mar.

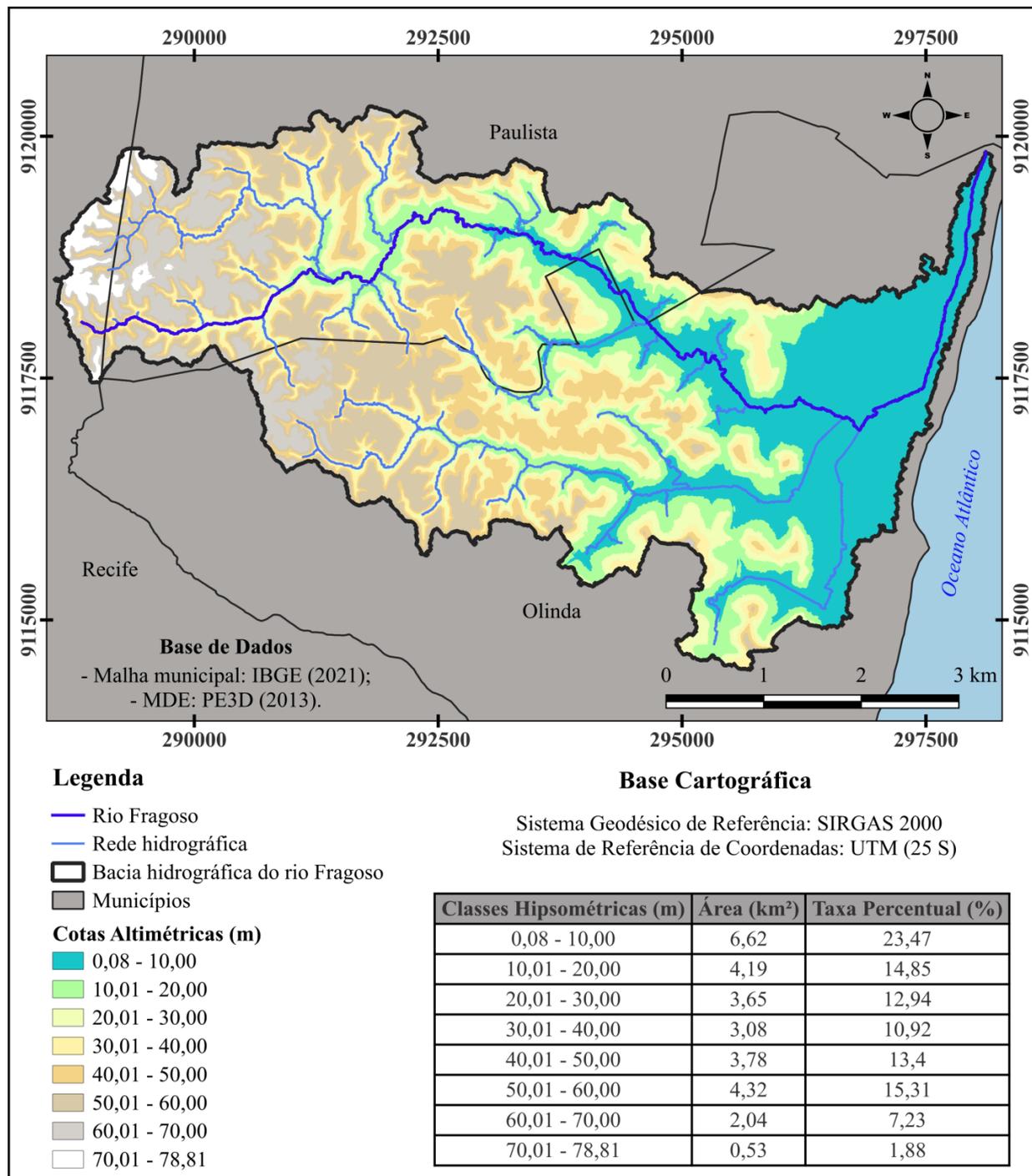
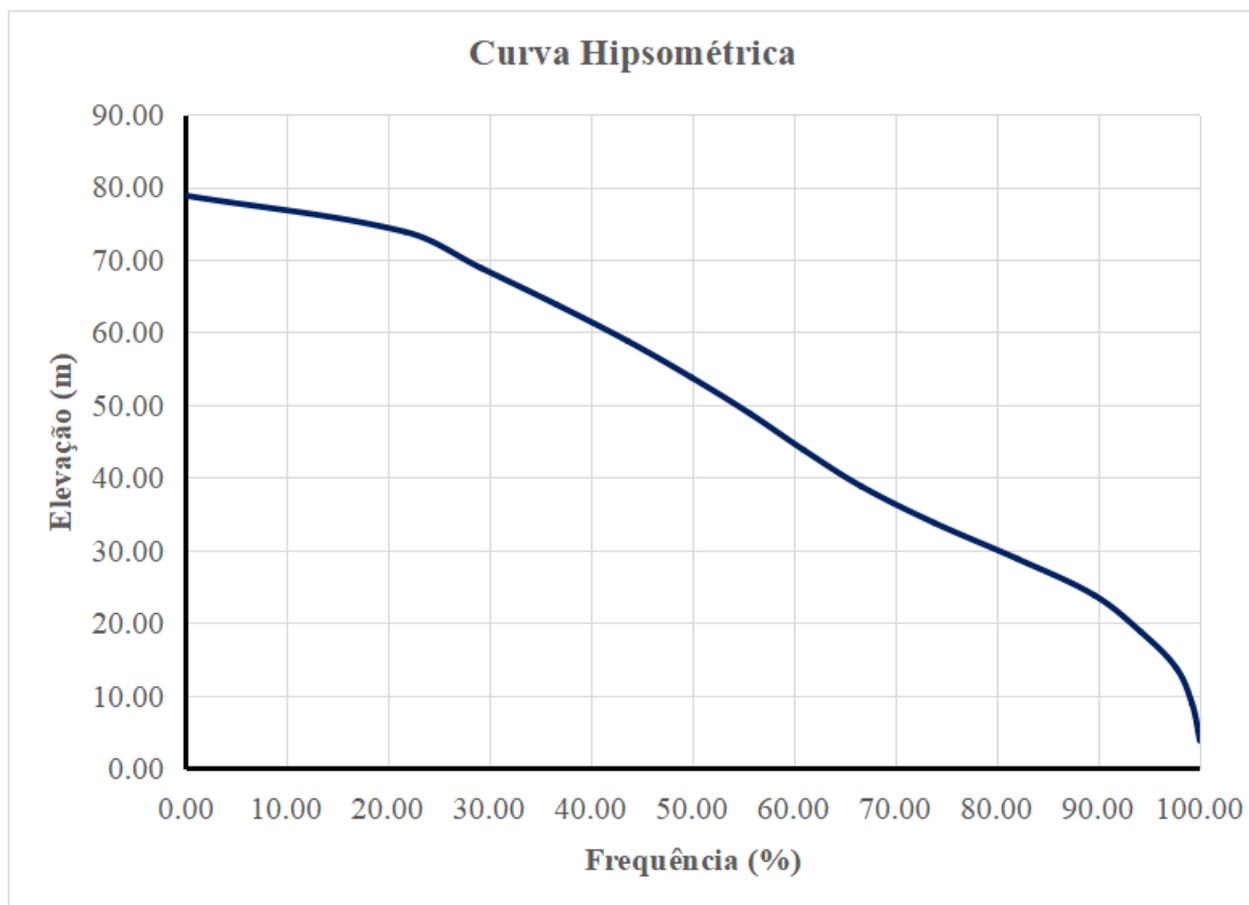


Figura 3 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Fragoso. Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dos dados altimétricos obtidos, foi possível gerar a curva hipsométrica da bacia do rio Fragoso, conforme apresentado na Figura 4. Essa curva oferece uma visão geral do relevo da bacia e é extremamente útil para comparar diferentes setores e formas da rede de drenagem, fornecendo informações valiosas sobre o comportamento hidrológico (TEÓDULO et al., 2024).

De acordo com Tome Hernández e Villarreal Manzo (2022), o formato da curva revela diferentes estágios de desenvolvimento do relevo: curvas convexas são típicas de relevos jovens, curvas em forma de "s" ou sinuoidais caracterizam bacias em estado de maturidade, e curvas côncavas indicam áreas com relevo peniplanizado em estágio de senescência. Ao verificar a curva hipsométrica da bacia do rio Frágoso, foi observado um formato convexo, indicando uma juventude ao relevo e maior propensão a processos erosivos.

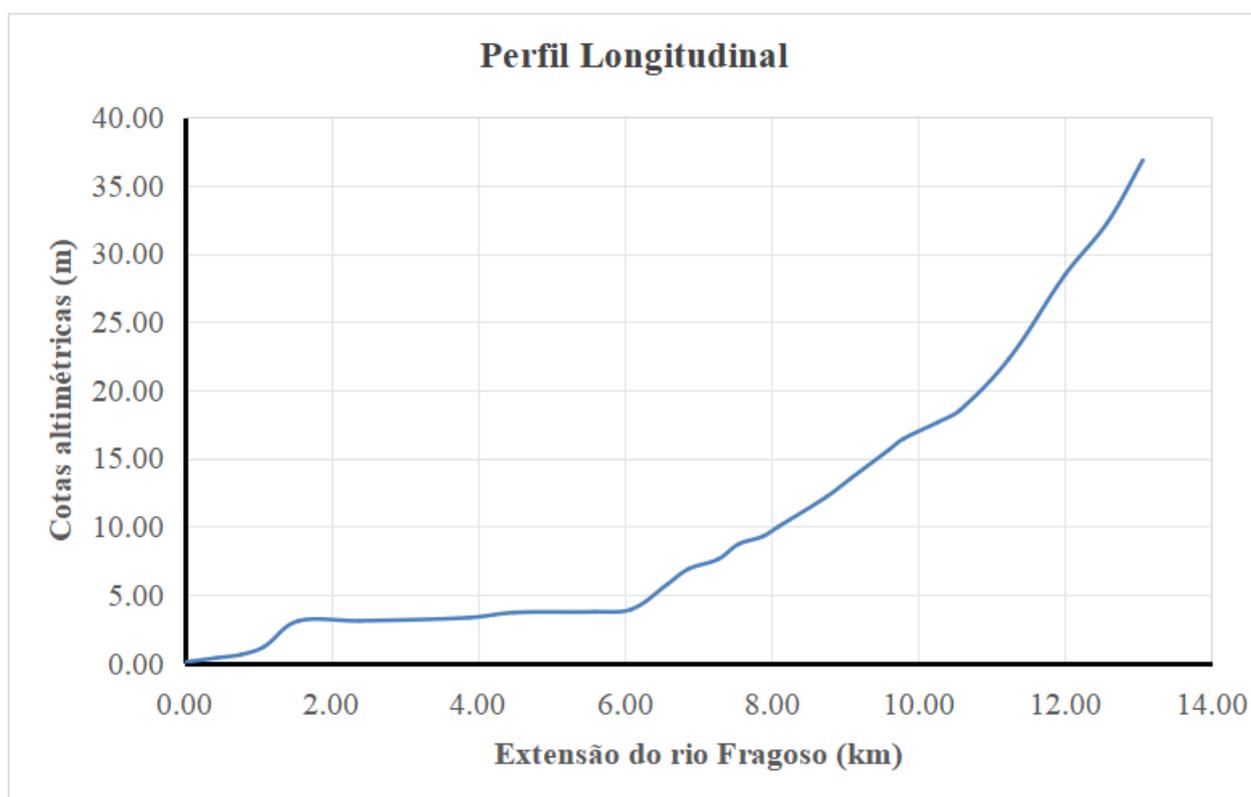


**Figura 4** – Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Frágoso. Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação à declividade do rio Frágoso, foram encontrados valores de 2,82 m/km ( $S_1$ ) e 1,98 m/km ( $S_{10-85}$ ), o que a classifica como suave. Segundo Souza et al. (2021), a declividade do rio principal influencia a velocidade do escoamento da água; assim, cursos d'água com baixa declividade têm uma velocidade de escoamento reduzida.

O perfil longitudinal do rio Frágoso está apresentado na Figura 5. Segundo França e Pinto (2021), a maioria dos rios apresenta uma curvatura côncava, com declividade acentuada perto da cabeceira e suavização em direção à desembocadura, devido ao alargamento dos vales. Essa característica é semelhante ao perfil observado do rio Frágoso.

Para Monteiro e Souza (2016), o perfil longitudinal de um curso d'água é essencial para a análise do seu comportamento, pois possibilita a identificação de possíveis anomalias ao longo de seu percurso. Conforme Marinho (2021), a análise do perfil longitudinal de um rio é um instrumento essencial para avaliar o equilíbrio do sistema fluvial e sua capacidade de transporte de sedimentos.



**Figura 5** – Perfil longitudinal do rio Frágoso. Fonte: Elaborado pelos autores.

O Índice de Rugosidade, conforme Silva et al. (2018), é um parâmetro fundamental para avaliar o risco de degradação de uma bacia, além de caracterizar o relevo da região. Valores elevados desse índice indicam altas densidade de drenagem e amplitude altimétrica, sugerindo que as vertentes são alongadas e apresentam declividades acentuadas (LEITE et al., 2023). Para a bacia do rio Frágoso, o Índice de Rugosidade ( $I_r$ ) foi de 90,30, indicando um baixo risco de degradação.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Frágoso, localizada no estado de Pernambuco. A metodologia empregada, que se baseou na utilização de MDE derivados de perfilamento a laser aerotransportado (LiDAR) e integrados a um SIG, permitiu uma análise precisa e detalhada da bacia. A abordagem adotada revelou-se eficiente para a obtenção de dados de alta resolução espacial, essenciais para uma análise morfométrica acurada.

Os resultados obtidos evidenciaram que a bacia do rio Frágoso apresenta um formato alongado, com uma rede de drenagem de terceira ordem e uma boa capacidade de drenagem. O tempo em que toda água precipitada leva até chegar ao exutório, determinado pelo tempo de concentração, é de 5,16 horas. Além disso, observou-se que o canal principal da bacia tende a ser retilíneo e possui baixa declividade, o que contribui para o regime hidrológico da região.

A utilização de técnicas de geoprocessamento se mostrou essencial para a obtenção das características morfométricas da bacia, demonstrando não apenas a viabilidade do uso de dados LiDAR para este tipo de análise, mas também a sua aplicabilidade em termos de praticidade e eficiência de tempo e recursos financeiros. A precisão dos dados e a capacidade de integrar diversas camadas de informações espaciais proporcionaram uma visão abrangente dos aspectos físicos da bacia.

Dessa forma, conclui-se que a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Fragoso realizada neste trabalho contribui significativamente para a compreensão dos processos hidrológicos da região. Além disso, os resultados obtidos são essenciais para subsidiar estratégias de gestão e planejamento dos recursos hídricos da região, auxiliando numa tomada de decisões mais assertiva. A metodologia utilizada, portanto, demonstrou-se uma ferramenta valiosa, com potencial para ser aplicada em estudos similares, visando o aprimoramento da gestão ambiental e hídrica.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, K. M. A. S.; DÁVILA, M. C. P.; GARCÍA, E. D. Z.; LIRA, D. R.; MONTEIRO, K. A. Caracterización morfométrica de la cuenca del Salado Bajo, Región de Atacama, Chile. **Investigaciones Geográficas**, n.62, 90-105, 2021.
- ALVES, M. F. A.; GUIMARÃES, S. A. C. A.; GOMES, R. A.; VIEIRA, Z. C.; ANDRADE, S. N. Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas na Paraíba, Brasil. **Revista Tecnologia**, v.44, 1-12, 2023.
- ALVES, W. S.; MARTINS, A. P.; MORAIS, W. A.; PÔSSA, É. M.; MOURA, D. M. B.; SANTOS, L. N. S.; FERREIRA, R. S.; NUNES, N. C.; PEREIRA, M. A. B.; MOREIRA, E. P. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.07, 3636-3658, 2020.
- ARAÚJO, J. W. S.; PAULISTA, R. S. D.; PEREIRA, R. R.; CASTAGNA, D.; BORELLA, D. R.; BARBOSA, K. L. S.; ZOLIN, C. A.; FERREIRA, E. A.; SOUZA, A. P.; ALMEIDA, F. T. Características fisiográficas de sub-bacias do Alto Teles Pires por meio de diferentes Modelos Digitais de Elevação. **Nativa**, v.12, n.2, 381-389, 2024.
- BANDIM, C. G. A.; GALVÍNCIO, J. D. Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: estudo de caso avenida Caxangá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, 058-067, 2021.
- 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, 43-63, 2024.
- BOGALE, A. G.; ADEM, A. A.; MEKURIA, W.; STEENHUIS, T. S. Application of geomorphometric characteristics to prioritize watersheds for soil and water conservation practices in the Lake Tana Basin, Ethiopia. **Geocarto International**, v.38, n.1, 2184502, 2023.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9433&ano=1997&ato=a12ATVU90MJpWTbaf>. Acesso: 24 set. 2024.
- BUCKER, P. O. M.; PONS, N. A. D.; MELLONI, E. G. P. Caracterização morfométrica e análise estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Castelo, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.4, 2228-2243, 2023.
- CAMPOS, M.; CAMPOS, S. Uso de geoprocessamento para caracterização morfométrica da microbacia do córrego São Martinho – Tupã-SP, Brasil. **ACTA Geográfica**, v.16, n.40, 128-143, 2022.
- CARVALHO, H. R. L.; HENRY-SILVA, G. H. G. S. Caracterização morfométrica das bacias de contribuição dos reservatórios Umari e Mendubim, Semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v.37, n.3, 221-238, 2020.
- CARVALHO, J. W. L. T.; MARANGON, F. H. S.; SANTOS, I. Recuperação de rios urbanos: da interdependência e sincronicidade dos processos de desnaturalização em rios e bacias hidrográficas urbanas. **Revista do Departamento de Geografia**, v.40, 163-174, 2020.

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, 01-15, 2023.

CARVALHO, L. E. P.; BITOUN, J.; CORRÊA, A. C. B. Canais fluviais urbanos: Proposta de tipologias para a Região Metropolitana do Recife (RMR). **Revista de Geografia (Recife)**, v.27, n.3, 66–80, 2010.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.4, 755-763, 2014.

COSTA, A. A. D.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. **Geosul**, v. 35, n. 74, 483-500, 2020.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Influência da resolução do MDE na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, 1029-1043, 2019.

DERAKHSHANI, R.; ZARESEFAT, M.; NIKPEYMAN, V.; GHASEMINEJAD, A.; SHAFIEIBAFTI, S.; RASHIDI, A.; NEMATI, M.; RAOOF, A. Machine Learning-Based Assessment of Watershed Morphometry in Makran. **Land**, v.12, n.4, 776, 2023.

DOMINGUES, E. M.; SOARES, K. V. L.; CLEMENTE, C. M. S.; NAIARA, L. S. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio das Rãs/BA, Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.11, n.3, 76-94, 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil**. 2018. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104). Acesso em: 17 de set. de 2023.

Em vez de concreto, movimento quer parque linear às margens do rio Frágoso, em Olinda. Marco Zero, Recife, 20 de ago. de 2021. Disponível em: <https://marcozero.org/em-vez-de-concreto-movimento-quer-parque-linear-as-margens-do-rio-fragoso-em-olinda/>. Acesso em: 12 de set. de 2024.

ESTEVAM, A. L. D.; MAIA, D. C. Morfometria e enchentes urbanas na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, Salvador-BA. **Geopauta**, v.6, e10755, 2022.

FADU, A. C.; PENELA, G. M. O.; SILVA, B. L.; SILVA, C. B.; SODRÉ, S. S. V. Caracterização morfométrica e o uso da terra como instrumentos de planejamento e gestão da sub-bacia hidrográfica do rio Maú no nordeste paraense. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 4, 382-398, 2023.

FONSECA NETO, G. C.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; RODRIGUES, A. B.; RIBEIRO NETO, A.; CABRAL, J. J. S. P. Modelagem Bidimensional para a Verificação Hidráulica da Canalização de um Trecho do Rio Frágoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.6, 2963-2977, 2020.

FRANÇA, E. M. S.; PINTO, J. E. S. S. Análise de parâmetros morfométricos na microbacia do riacho Flamengo em Garanhuns, PE. **Caderno de Geografia**, v.31, n.64, 208-224, 2021.

GIANO, S. I.; PESCATORE, E.; SIERVO, V. Morphometry and Debris-Flow Susceptibility Map in Mountain Drainage Basins of the Vallo di Diano, Southern Italy. **Remote Sensing**, v.13, n.16, 3254, 2021.

Governo renova decreto que coloca região do Canal do Frágoso como interesse público e desapropria terreno. **G1**, Recife, 15 de mar. de 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2023/03/15/governo-renova-decreto-que-coloca-regiao-do-canal-do-fragoso-como-interesse-publico-e-desapropria-terreno.ghtml>. Acesso em: 12 de set. de 2024.

GUZMÁN, A. C.; DE ANTUENO, L.; GASPARI, F. J. Análisis de la variabilidad geoespacial de la fragilidad morfométrica en la cuenca alta del Río Sauce Chico, Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.120, n.1, 069, 2021.

- HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **Transactions American Geophysical Union**, v.13, n.1, 350-361, 1932.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, 275-370, 1945.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. **Banco de Dados e Informações Ambientais**: Um instrumento para organização e preservação. Disponível: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home> Acesso: 24 set. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. **Malhas Territoriais**. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso: 19 set. 2024.
- KIRPICH, Z. P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v.10, n.6, 362, 1940.
- LEITE, R. V.; PEIXOTO, M. N. O.; FREITAS, F.; RAMOS, R. R. C.; ARAÚJO, P. F. C. Caracterização morfométrica da bacia do rio Pirapetinga, Resende - RJ. **Geo Uerj**, n.42, e69217, 2023.
- LOPES, I.; RAMOS, C. M. C.; LEAL, B. G. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v.8, n.1, 31-40, 2018.
- LOPES, J. R. A.; BEZERRA, J. M.; ALMEIDA, N. M. D. P.; COSTA, H. C. G.; FERNANDES, G. S. T.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S. S. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. E. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.1, 429-442, 2022.
- LÓPEZ, A. E. P.; MELO, V. F.; FERNANDES FILHO, E. I.; FRANCELINO, M. R. Delimitación automática y análisis morfométrico de cuencas y subcuencas usando un conjunto digital de datos de elevación en la jurisdicción de Cornare, Antioquia, Colombia. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v.75, n.3, 10037-10051, 2022.
- MACHADO, V. G.; CEMIN, G.; SANTOS, G. M.; SCHNEIDER, V. E. Caracterização clinográfica, de uso e cobertura do solo e perda do solo da bacia hidrográfica do rio Socorro, RS. **Boletim de Geografia**, v. 38, 47-55, 2020.
- MAMÉDIO, F.; CASTRO, N.; CORSEUIL, C. Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.15, n.1, 4, 2018.
- MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 24 set. 2024.
- MARINHO, D. S.; VENDRUSCOLO, J.; VASCONCELOS, T. B.; CAVALHEIRO, W. C. S.; STACHIW, R. Caracterização morfométrica da Sub-bacia do Rio Ribeirão, Amazônia Ocidental, Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.14, n.2, e7225, 2021.
- MARINHO, R. R.. Perfil longitudinal do rio Negro a partir da altimetria radar. In: **A Geografia Amazônica em múltiplas escalas** (Marcos Casto de Lima; Nelcionei José de Souza Araújo; Manuel de Jesus Masulo da Cruz). 173-181. 2021.
- MARTINS, A. P.; BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. Análise fisiográfica da bacia do rio Monapo – província de Nampula – Moçambique. **GEOgraphia**, v.23, n.50, 2021.
- MARTINS, D. D. S.; CAMARGO, R. V.; MACIEL, G. F.; SERRA, J. C. V.; ZUKOSWKI JUNIOR, J. C. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras no município de Palmas -TO. **Revista AIDIS de Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica**, v.14, 377-391, 2021.
- 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, 117-126, 2022.
- MARTINS, D. D. S.; CAMARGO, R. V.; MACIEL, G. F.; SERRA, J. C. V.; ZUKOSWKI JUNIOR, J. C.

Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras no município de Palmas –TO. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, v.14, n.1, 377-391, 2021.

MELO, D. O. S.; SANTOS, L. S.; BARBOSA, A. G.; MENDES, L. A. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.7, 3554–3570, 2020.

MELTON, M. **An Analysis of the Relations Among Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology**. Department of Geology, Columbia University, Technical Report, 11, Project NR 389-042. Office of Navy Research, New York, 1957.

MIYAZAKI, L. C. P.; VENCESLAU, F. R. Caracterização geomorfométrica aplicados aos estudos sobre a morfodinâmica da bacia hidrográfica do córrego São José – município de Ituiutaba/MG. **Caminhos de Geografia**, v.21, n.76, 285-305, 2020.

MONTEIRO, D. C. S., SOUZA, J. O. P. Perfil longitudinal e aplicação do índice de gradiente na bacia riacho do Tigre, Semiárido paraibano. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais [...]**, Maringá, 2016.

Moradores de Jardim Frágoso sofrem com prejuízos causados pela terceira enchente em quatro anos. **G1**, Recife, 25 de jul. de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/07/25/moradores-de-jardim-fragoso-sofrem-com-prejuizos-causados-pela-terceira-enchente-em-quatro-anos.ghtml>>. Acesso em: 12 de set. de 2024.

MÜLLER, V. C. A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. **Department of Geology Columbia University**, New York, 389-402, 1953.

PEREIRA, P. S. P. M. L.; MENDES, L. D. Morfometria de bacia hidrográfica urbanizada: Uma análise do rio Iguçu-Sarapuú, na Baixada Fluminense (RJ), para avaliação de parâmetros de suscetibilidade à ocorrência de enchente e inundação. **Continentes**, n.13, 34-48, 2018.

PERUZZO, J. S.; SILVINO, G. S.; ARAÚJO, M. C. P.; LEON, M. J.; ARRUDA FILHO, N. T.; LISBOA, F. D. S. Caracterização morfométrica das micro bacias hidrográficas inseridas no município e Itaporanga (PB). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.3, 92-104, 2022.

PERNAMBUCO. Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=12984&complemento=0&ano=2005&tipo=&url=>. Acesso em: 24 set. 2024.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Duas Unas, em Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.6, 3149-3167, 2023.

PILATTI, H. S. C.; ALVES, W. S.; PEREIRA, M. A. B.; OLIVEIRA, L. D.; MOURA, D. M. B.; ANGELINI, L. P. Geospatial intelligence applied to the analysis of morphometric aspects and land use and land cover in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.1, 572–582, 2022.

QUEIROZ, M. S.; ALVES, N. S. Aplicação de diferentes fórmulas de tempo de concentração para uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Tocantinense de Geografia**, v.9, n.18, 219-231, 2020.

RIBEIRO, K. D.; BORGES, J. P. A.; FERNANDES, D. F. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Formiga, município de formiga, Minas Gerais. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v.23, n.2, 171–186, 2023.

RIVA, P.; CARO, A. S.; GASPARI, F. J. G. Caracterización morfométrica de la cuenca del río Luján, Buenos Aires, Argentina. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)**, v.13, n.21, 1-20, 2021.

SANTOS, G. O.; SILVA, A. A.; BRAZ, A. R. C.; CARNEIRO, F. M. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas inseridas no município de Rio Verde, Goiás, como ferramenta ao planejamento urbano e agrícola. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 22, e17, 2018.

SANTOS, V.; PESSOA, N. M.; BERLANDA, A.; BECEGATO, V. A. Estudo morfométrico e de susceptibilidade à enchentes e inundações com o auxílio de geotecnologias na bacia hidrográfica do rio Desquite, Otacílio Costa-SC. **Geoambiente On-line**, v.45, 164-185, 2023.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society Of America Bulletin**, v.67, n.5, 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. A tentative classification of alluvial river channels. **US Geological Survey Circular**, 1963, 477 p.

SEINFRA - Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco** – PERH/PE. 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 24 set. 2024.

SERVIDONI, L. E.; AYER, J. E. B.; ESTELLA, P. V. M.; OLIVEIRA, G. H.; MINCATO, R. L. Atributos morfométricos e hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, Minas Gerais. **Geography Department University Of Sao Paulo**, v.41, e169817, 2021.

SILVA, G.; ALMEIDA, F.; ALMEIDA, R.; MESQUITA, M.; ALVES JUNIOR, J. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v.15, n.28, 244-258, 2018.

SILVA, J. G.; MONTE-MOR, R. C. A.; 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, 3204-3217, 2023.

SILVA NETO, A. G.; RODRIGUES, F. M. Caracterização espacial e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Gavião no sudoeste da Bahia. **Revista Geociências**, v.22, n.2, 34-53, 2023.

SMICHOWSKI, H.; CONTRERAS, F. I. Morphometric analysis of the Santa Lucía river basin (Corrientes, Argentina). **Geographical Journal of Central America**, v.1, n.70, 297-320, 2022.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe, PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.07, 3659-3674, 2020.

SOARES, I. G.; OLIVEIRA, R. C.; SANTOS, L. C. A. Análise de índices morfométricos da bacia hidrográfica do rio Preguiças-MA, Brasil. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v.21, n.2, 1-14, 2023.

SOUZA, E. G. F.; NASCIMENTO, A. H. C.; CRUZ, E. A.; PEREIRA, D. F.; SILVA, R. S.; SILVA, T. P.; FREIRE, W. A. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, 1530-1540, 2021.

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

TEÓDULO, J. M. R.; SILVA, E. V.; TEÓDULO, M. J. R.; CIRINO, C. S. Geomorfometria da bacia hidrográfica do rio Gramame, litoral sul da Paraíba, Nordeste do Brasil. **Research, Society And Development**, v.13, n.8, e0113846502, 2024.

TOME HERNÁNDEZ, G.; VILLARREAL MANZO, L. A. Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México. **Boletín Geográfico**, v.44, n.1, 41-58, 2022.

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. **Formação (Online)**, v.27, n.51, 313-335, 2020.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S.; PIMENTEL, M. A. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira Amazônica. **Geosul**, v.36, n.78, 537-557, 2021.

VILLELA, S. M., MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975, 245 p.



WAIYASUSRI, K.; CHOTPANTARAT, S. Watershed Prioritization of Kaeng Lawa Sub-Watershed, Khon Kaen Province Using the Morphometric and Land-Use Analysis: a case study of heavy flooding caused by tropical storm podul. **Water**, v.12, n.6, 1570, 2020.

ZANCHETTA, M. L.; VENDRUSCOLO, J.; CAVALHEIRO, W. C. S.; ROSA, D. M.; ROSELL, E. C. F.; STACHIW, R. Caracterização morfométrica da sub-bacia do Baixo Rio Jaci Paraná, Amazônia Ocidental, Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, v.esp., 96-108, 2019.