



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA DA MICROBACIA HIDRÁULICA DO AÇUDE CATOLÉ I, EM MANAÍRA - PB, COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

GEOMORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE HYDRAULIC MICRO-WATERSHED OF CATOLÉ I RESERVOIR, MANAÍRA - PB, AS A TOOL FOR WATER RESOURCE MANAGEMENT

(Recebido em 02-10-2023; Aceito em: 12-04-2024)

Caio Sérgio Sabino Alves

Especialista em Gestão Ambiental de Municípios, IFPB – Princesa Isabel, Brasil
Técnico Administrativo, Secretaria de Estado da Educação, PB – Manaíra, Brasil
eng.caiosergio@gmail.com

Erickson Melo de Albuquerque

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFPB – João Pessoa, Brasil
Professor, IFPB – Princesa Isabel, Brasil
erickson.albuquerque@ifpb.edu.br

Artur Moises Gonçalves Lourenço

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG – Campina Grande, Brasil
Professor, IFPB – Princesa Isabel, Brasil
artur.lourenco@ifpb.edu.br

Resumo

A análise geomorfométrica é essencial para o manejo eficiente dos recursos hídricos, especialmente em áreas semiáridas, pois facilita a compreensão das dinâmicas hidrológicas e identifica zonas críticas para a conservação da água e do solo. Utilizando técnicas de geoprocessamento, este estudo objetivou a caracterização geomorfométrica da microbacia do açude Catolé I, situada em Manaíra, Paraíba, no semiárido brasileiro. Empregou-se um Modelo Digital de Superfície obtido do satélite ALOS PALSAR, com resolução de 12,5 m, aliado à Carta Topográfica Serra Talhada SB-24-Z-C-V e ao software QGIS 2.8.1, com o auxílio dos módulos TauDEM e MS Excel para cálculo dos índices geomorfométricos. Foram determinados doze indicadores, revelando que a microbacia tem área total de 13.201,28 ha, formato alongado, 227 segmentos fluviais que somam 172,11 km de cursos d'água intermitentes, com padrão dendrítico, endorreico, de quarta ordem e tempo de concentração de 275,17 minutos. Esta área apresenta rápida drenagem superficial com baixa propensão a enchentes sob condições normais de chuva, adequada para a criação de reservatórios artificiais. Observou-se variação nos padrões de drenagem angular e retangular devido a fraturas geológicas. A metodologia de geoprocessamento demonstrou-se eficiente para delimitar a área e calcular os parâmetros geomorfométricos, permitindo

análises detalhadas em grandes extensões de forma automatizada, contribuindo significativamente para o planejamento e gestão da microbacia.

Palavras-chave: Caracterização hidrológica; geoprocessamento; gestão de recursos hídricos; Semiárido.

Abstract

Geomorphometric analysis is crucial for the efficient management of water resource, especially in semi-arid regions, as it aids in understanding hydrological dynamics and identifying critical zones for water and soil conservation. This study aimed to characterize the geomorphometric features of the Catolé I reservoir microbasin, located in Manaíra, Paraíba, within the Brazilian semi-arid region, using geoprocessing techniques. A Digital Surface Model (DSM) with a 12.5 m resolution, obtained from the ALOS PALSAR satellite, was employed, along with the Serra Talhada Topographic Map SB-24-Z-C-V and QGIS 2.8.1 software, utilizing the TauDEM and MS Excel modules for calculating geomorphometric indices. Twelve indicators were determined, revealing that the microbasin covers a total area of 13,201.28 hectares, has an elongated shape, and contains 227 river segments totaling 172.11 km of intermittent watercourses with a dendritic pattern, endorheic pattern of fourth order and a concentration time of 275.17 minutes. The area demonstrates rapid surface drainage with a low propensity for flooding under normal rainfall conditions, making it suitable for the establishment of artificial reservoirs. Variations in drainage patterns, both angular and rectangular, were observed due to geological fractures. The geoprocessing methodology proved effective in delineating the area and calculating geomorphometric parameters, enabling detailed analyses over large areas in an automated manner. This significantly contributes to the planning and management of the microbasin.

Key words: Geoprocessing; Hydrological characterization; Semiarid; Water resources management.

Introdução

A região semiárida do Brasil possui características peculiares, das quais destacam-se: evapotranspiração de 3.000 mm/ano, três vezes maior que a precipitação média anual (entre 400 a 900 mm); períodos de chuva curtos e intensos, geralmente três meses no ano, e longos períodos de estiagem; de modo geral, os solos são pouco profundos e pedregosos, o que dificulta o armazenamento da água e propicia a formação de rios intermitentes, enquanto a geologia é caracterizada pela formação predominante de rochas cristalinas, embora haja diversidade (Lucena, 2010).

Esse conjunto de características naturais produz escassez de água durante o período de estiagem, o que deu origem à prática de construção de açudes para suprir as necessidades hídricas da região. Devido a isso, a região nordeste do Brasil apresenta a maior densidade desse tipo de manancial artificial do país (Guimarães, 2008). Com isso, é possível identificar, no que se refere aos recursos hídricos na região semiárida do Nordeste do Brasil, que é uma questão sensível à qualidade de vida, o que justifica estudar as bacias hidrográficas dessa região e buscar compreender as suas características fisiográficas.

Diversos estudos ressaltam a caracterização geomorfológica como análise crucial para o gerenciamento eficaz de recursos hídricos, especialmente em áreas semiáridas. Esta caracterização

ajuda a entender as dinâmicas do comportamento hidrológico, a identificar áreas prioritárias para conservação do solo e água e a orientar decisões em políticas públicas e planejamento de infraestrutura, melhorando, assim, a eficiência no uso da água e reduzindo perdas em eventos como secas e riscos de erosão e inundações. (Oliveira *et al.*, 2010; Aher *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2020; Costa; Galvanin; Neves, 2020; Silva; Farias, 2021).

As características físicas, principalmente aquelas vinculadas ao relevo, à forma e à rede de drenagem, estão intimamente atreladas ao tempo e à velocidade de escoamento da água, o que implica maior ou menor infiltração da água no solo (Leal; Tonello, 2017). Entre essas, a rede de drenagem é um elemento central, mas não isolado, do processo morfogenético na esculturação da paisagem terrestre para a caracterização e manejo das bacias hidrográficas, pois, além de conter a água enquanto importante recurso natural, determina as características de escoamento superficial, do potencial de produção e do transporte de sedimentos (Sousa; Oliveira, 2017).

Nesse contexto, a utilização de técnicas de Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado um eficiente recurso técnico para a caracterização geomorfológica e para o uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas, oferecendo rapidez, automação e alta precisão na obtenção de informações espacializadas (Castro *et al.*, 2015; Fantinel; Benedetti, 2016; Bruno, 2017).

Isto posto, este trabalho objetivou caracterizar os aspectos geomorfológicos da microbacia hidrográfica do açude Catolé I, localizado no semiárido paraibano, com o auxílio das geotecnologias para a produção de dados e informações, visando um melhor entendimento sobre as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem que subsidiam o planejamento de gestão integrada dos recursos hídricos.

Os objetivos específicos foram: (1) identificar os divisores naturais de águas da microbacia hidrográfica do açude Catolé I, no município de Manaíra - PB; (2) conhecer a fisiografia da rede de drenagem e suas implicações práticas; e (3) analisar dinâmicas do comportamento hidrológico na bacia vertente.

Materiais e Métodos

Foram definidas três etapas metodológicas: (1) caracterização fisiográfica da área de estudo por meio de pesquisas e revisões bibliográficas; (2) uso de técnicas de geoprocessamento para a delimitação da microbacia hidrográfica; (3) escolha e cômputo de variáveis geomorfológicas para descrever a microbacia do açude Catolé I.

Área de estudo

A área de estudo se localiza no município de Manaíra - PB, no Sertão Paraibano e na microrregião da Serra de Teixeira, limitando-se a norte com Curral Velho, a oeste com Santana de Mangueira, a leste com São José de Princesa e a sul com Santa Cruz da Baixa Verde e Serra Talhada em Pernambuco, ocupando uma área de 352,02 km² e com população de 10.434 habitantes, segundo Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024).

O município está inserido no bioma Caatinga, onde, de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), a vegetação predominante é a savana-estépica, que é típica dos climas semiáridos, e apresenta espécies de plantas espinhosas e decíduas, em meio a uma rica biodiversidade.

O clima da região é o tropical semiárido (classificação climática de Köppen-Geiger: Aw) com características peculiares, como forte insolação com temperaturas relativamente altas, variando anualmente em média entre 23°C e 30°C, e regime de chuvas considerado baixo e irregular, com concentração pluvial num período de três meses (fevereiro, março e abril), e pluviometria total anual variando entre 250,2 mm e 1.715,2 mm/ano, com média de 699,4 mm. A altitude média da região acima de 600 m favorece a ocorrência de chuvas na microrregião da Serra de Teixeira em relação às áreas mais baixas do semiárido (Mascarenhas, 2005).

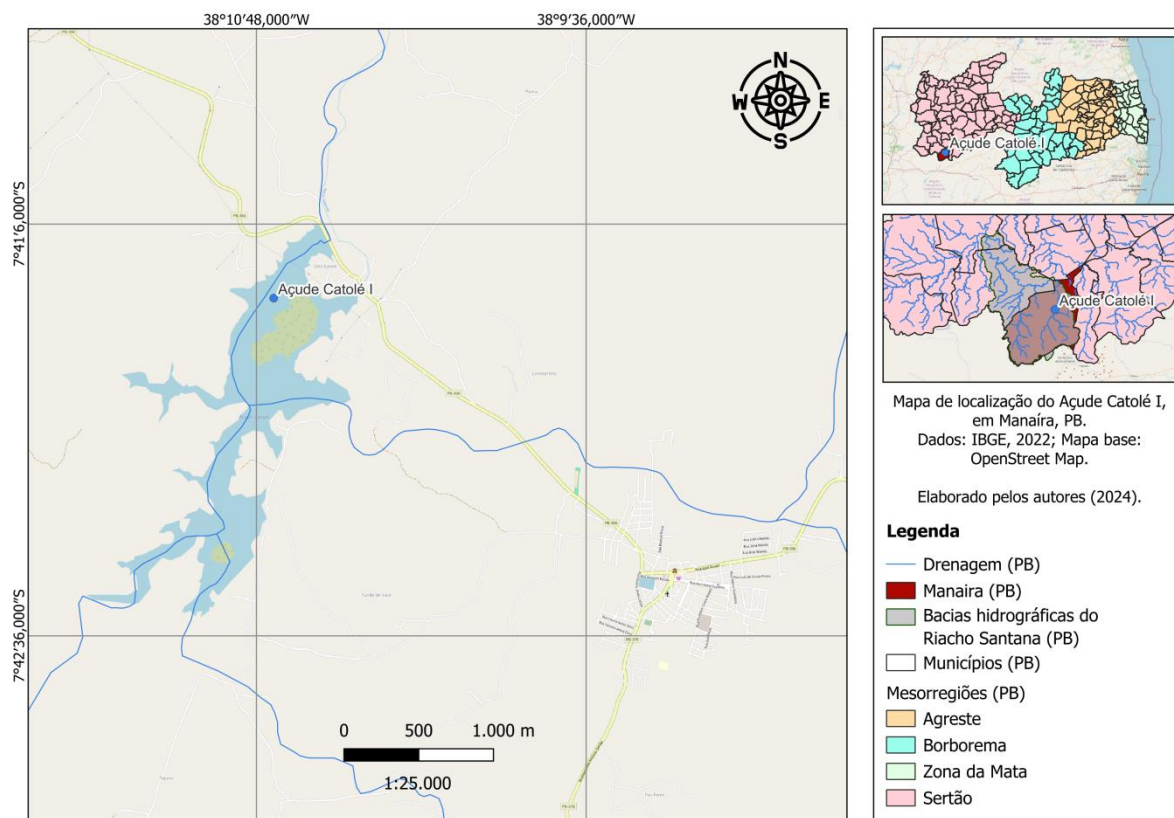
O açude Catolé I (Figura 01) localiza-se nos sítios Catolé, Saca e Tapúia, na zona rural do município de Manaíra - PB. O açude pode ser localizado entre coordenadas Lat. 7°41'5,04"S, Long. 38°10'21,12"O e Lat. 7°42'40,50"S, Long. 38°11'32,34"O. Encontra-se a aproximadamente 3 km de distância da sede municipal de Manaíra e se constitui como a principal fonte de recurso hídrico do município, pois é utilizado para abastecer a zona urbana, as comunidades rurais e as localidades circunvizinhas.

O açude Catolé I teve seu início de construção em 1985 e foi concluído entre 1986 e 1987, com capacidade de armazenamento de água de 10.500.000 m³ e volume morto de 4.720 m³ (AESAs, 2007). A Bacia Hidráulica do açude Catolé I, que é a área ocupada pela massa de água do açude até o limite de seu sangradouro, é de 136,07 ha e a altura da barragem, 25 m.

Os principais cursos d'água barrados pelo reservatório foram: Riacho Grande, de 4ª ordem e comprimento de 29.143,91 m, que se estende a jusante da microbacia do açude Catolé I; Riacho da Arara, com comprimento de 9.911,68 m, e Riacho Constantino, com comprimento de 5.185,56 m, ambos de 3ª ordem (AESAs, 2007).

A microbacia hidrográfica do açude Catolé I faz parte da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu, a qual compreende uma área total de 43.683 km² e representa 15% da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental (ANA, 2016).

Figura 01 - Localização do açude Catolé I



Fonte: Os autores (2023).

Material

Foi utilizada para a delimitação da bacia hidrográfica, por sua maior resolução espacial em relação outros MDE (Yogi; Stanganini, 2023), uma imagem do satélite/sensor ALOS/PALSAR, com 12,5 m de resolução espacial, com polarização simples FBS (HH), datada de 19 de fevereiro de 2011 e disponibilizada pelo geoportal *Alaska Satellite Facility* vinculado à University of Alaska-Fairbanks / National Aeronautics and Space Administration (UAF/NASA).

A base cartográfica digital, obtida no Geo Portal da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), foi composta por arquivos vetoriais dos Estados do Nordeste, Municípios, Drenagem e Açudagem Principal da Paraíba, adquiridos diretamente no formato *shapefile* (.shp), e dos rios intermitentes, disponíveis na Carta Topográfica SB-24-Z-C-V, Folha Serra Talhada, escala 1:100.000, da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), datada de 1970, em formato de Desenho Assistido por Computador (CAD e DXF).

Os softwares utilizados para o processamento e manipulação das imagens e da base cartográfica digital para a produção dos mapas e dos dados georreferenciados foram o software livre QGIS Desktop 2.8.1 e o software proprietário AutoCAD Civil 3D 2012, versão estudante.

Delimitação da microbacia hidrográfica do açude Catolé I

Para a delimitação do divisor topográfico foi utilizado o Modelo Digital de Superfície (MDS) derivado da imagem do satélite/sensor ALOS/PALSAR. No QGIS, o MDS foi recortado, convertido para o sistema de coordenadas UTM e submetido ao complemento *Terrain Analysis Using Digital Elevation Model* (TauDEM), o qual permite, de maneira automática, rápida e objetiva, a delimitação de bacias hidrográficas.

Os passos para a obtenção do divisor topográfico da bacia foram: (a) correção do MDS para a retirada de pixels que poderiam comprometer a continuidade do fluxo da água – ferramenta *Fill Pit*; (b) determinação, pixel a pixel, da direção preferencial do fluxo na superfície – ferramenta *D8 Flow Direction*; (c) obtenção do fluxo acumulado na superfície, que consiste na representação da linha composta pelos pixels selecionados na etapa anterior e, nesta etapa, já é possível definir o exutório da bacia, obtendo, em seguida, a área de contribuição a montante desse ponto – ferramenta *D8 Contributing Area*; (d) obtenção da bacia em formato raster, bem como a extração da rede de drenagem numérica para a área de estudo – ferramenta *Stream Reach and Watershed*. Como a bacia é obtida em um arquivo raster, faz-se necessário, para a realização dos cálculos de área e perímetro, a sua conversão para o formato vetor (polígono).

A rede de drenagem obtida no processo de delimitação automática apresenta um alto nível de ramificações devido à resolução espacial de 12,5 m da imagem utilizada. Visto que esse nível de detalhamento dificulta a identificação de rios efêmeros e intermitentes, optou-se por usar os rios obtidos por meio da Carta Topográfica Folha Serra Talhada SB-24-Z-C-V, escala 1:100.000 da SUDENE, datada de 1970.

Obtenção de parâmetros geomorfométricos

As características geomorfométricas estão associadas às características geométricas, de relevo e da rede de drenagem. Por meio do QGIS, foi possível calcular a área e o perímetro da bacia, bem como obter parâmetros relacionados à forma da microbacia. Já os parâmetros físicos básicos foram calculados em planilha eletrônica.

Neste estudo, objetivando obter descritores de forma, tamanho e densidade de elementos da bacia, os parâmetros selecionados para a análise foram: coeficiente de compacidade, fator de forma,

índice de circularidade, declividade média da bacia, declividade do curso d'água principal, ordem dos cursos d'água, índice de sinuosidade, comprimento da rede de drenagem, densidade de drenagem, densidade da rede, extensão média do escoamento superficial e tempo de concentração.

O Coeficiente de Compacidade relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de uma circunferência de área igual à da bacia, em que quanto mais próximo de 1, mais circular será a bacia e maior será sua capacidade de proporcionar grandes cheias (Mello; Silva, 2013). Foi calculado pela Equação 1 e corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: Kc = coeficiente de compacidade (adimensional), P = perímetro da bacia (m), A = área de drenagem (km²).

O fator de forma expressa a relação entre a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média da bacia e o comprimento axial da bacia. O comprimento axial da bacia (L) é determinado, medindo axialmente do exutório até o ponto mais alto do talvegue. Foi obtido, conforme Equação 2, utilizando a metodologia de Almeida (2017). Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com o fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com outro fator de forma.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: F = Fator de forma (adimensional), A = Área de drenagem (km²), L = Comprimento do rio principal (km).

O Índice de Circularidade, tal qual o coeficiente de compacidade, tende à unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que torna alongada, de acordo com Almeida (2017). Foi calculado por meio da Equação 3:

$$IC = 12,57 \cdot \frac{A}{P^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: IC = índice de circularidade (adimensional), P = perímetro da bacia (m), A = área de drenagem (km²).

A Declividade Média da Bacia é um parâmetro importante para a hidrologia, pois está diretamente associado ao tempo de duração de escoamento superficial direto e de concentração da precipitação nos rios. Afeta a forma e os valores máximos das vazões de escoamento ao longo da bacia (Mello; Silva, 2013), de acordo com Equação 4:

$$I(\%) = \frac{D}{A} \cdot (\sum CNV_i) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: $I(\%)$ = declividade média da bacia (%), D = equidistância vertical entre curvas de nível (km), A = área de drenagem (km²), $\sum CNV_i$ = Comprimento total das curvas de nível (km).

A Declividade do Curso D'Água Principal influencia diretamente a velocidade do escoamento da água no rio principal da bacia. Ela pode ser definida como a diferença de cotas nas extremidades do dreno principal (ΔH), seja a cota máxima (cabeceira) e a cota mínima (foz) do curso d'água principal, em relação a seu comprimento (L), conforme descrito por Bezerra *et al.* (2015), conforme Equação 5:

$$I_{eq} = \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: I_{eq} = declividade equivalente (m/km), ΔH = diferença de cotas nas extremidades do dreno principal (m), L = Comprimento do rio principal (km).

A Ordem dos Cursos D'água é o parâmetro que qualifica o grau de ramificação ou bifurcação dos rios das bacias hidrográficas e consiste, de acordo com a proposta de Strahler (1957), em: rios de 1ª ordem correspondem aos que não possuem tributários; os de 2ª ordem ocorrem pela junção de dois ou mais rios de 1ª ordem; os de 3ª ordem são os que se formam pela união de dois ou mais rios de 2ª ordem, seguindo esse padrão crescente até chegar ao exutório (Mello; Silva, 2013).

O Índice de Sinuosidade indica a relação entre o comprimento do canal principal e a distância, em linha reta, do extremo do canal principal até o exutório da bacia, utilizando a Equação 6 (Villela; Mattos, 1975; Mello; Silva, 2013):

$$Sin = \frac{L}{L_t} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que: Sin = índice de sinuosidade (adimensional), L = comprimento do rio principal (km), L_t = distância vetorial entre o extremo do canal principal e o exutório (km).

A Rede de Drenagem corresponde à soma de todos os comprimentos, em km, dos cursos d'água, conforme Equação 7:

$$R_d = \sum L \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que: R_d = rede de drenagem (km), $\sum L$ = somatório do comprimento total dos cursos d'água (km).

A Densidade de Drenagem da Bacia foi estimada conforme a Equação 8 e relaciona o comprimento total de todos os canais presentes na bacia (perenes, intermitentes e efêmeros) com sua área de drenagem (Cristofolletti, 1980):

$$Dd = \frac{L_t}{A} = \frac{R_d}{A} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que: Dd = densidade de drenagem (km/km²), Lt = comprimento total de todos os canais (km), R_d = rede de drenagem (km), A = área de drenagem (km²).

A Densidade da Rede de Drenagem é a relação entre o número de total de drenos e a área da bacia, conforme Equação 9:

$$D_r = \frac{N}{A} \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que: D_r = densidade de rede de drenagem (dreno/km²), N = número de drenos (dreno), A = área de drenagem (km²).

A Extensão Média do Escoamento Superficial relaciona a densidade de drenagem da bacia hidrográfica com o comprimento médio lateral da rede de drenagem, expressa na Equação 10:

$$C_m = \frac{1}{4 \cdot D_d} \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que: C_m = extensão média do escoamento superficial (km), D_d = densidade de drenagem (km/km²).

O Tempo de Concentração é o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até o exutório. É calculado pela Equação 11, conhecida como equação de Kirpich Modificada, usada para bacias com área de drenagem superior a 100 ha, conforme Rodrigues *et al.* (2016):

$$T_c = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (\text{Eq. 11})$$

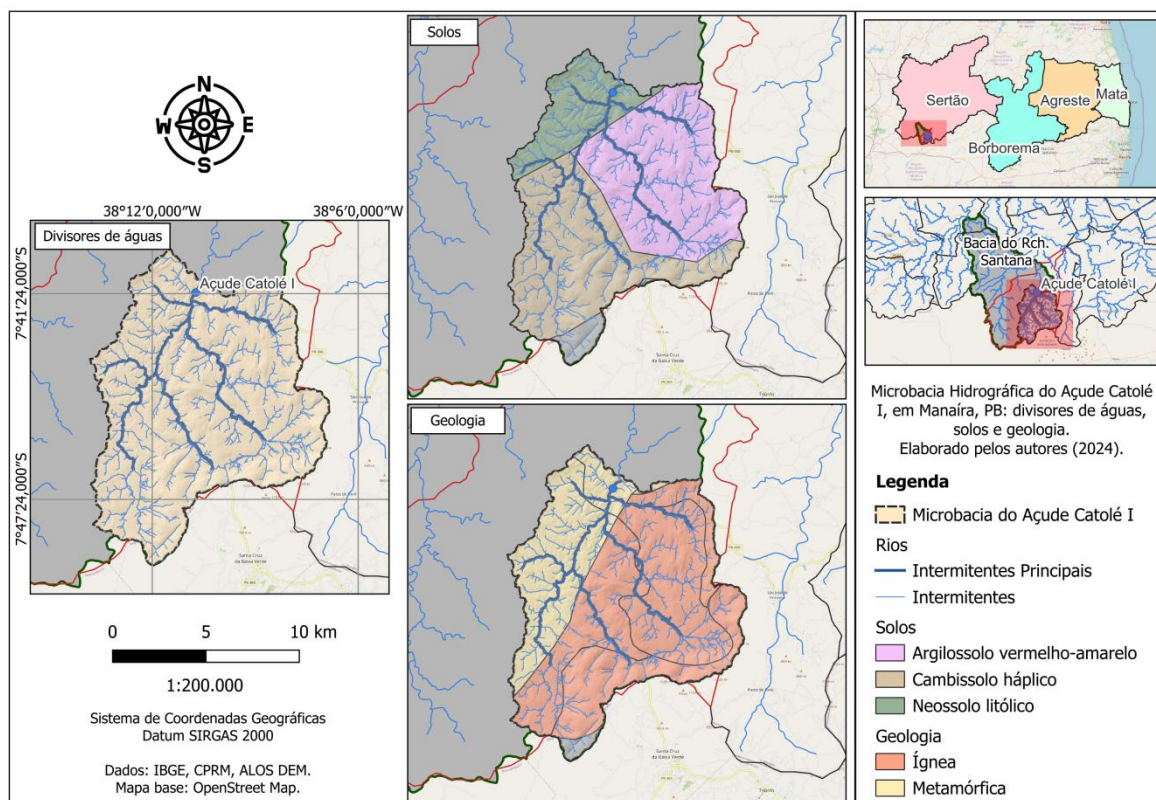
Em que: T_c = tempo de concentração (min), L = comprimento do rio principal (km), ΔH = diferença de cota nas extremidades do dreno principal (m).

Resultados e discussão

Relevo e rede hidrográfica

A hidrografia da microbacia do açude Catolé I (Figura 02) é constituída por afluentes da bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, onde só se apresentam fluxos d'água em períodos de chuva, ou seja, é do tipo intermitente/efêmero e seu regime hidrográfico fluvial é predominantemente dendrítico, pois apresenta uma grande quantidade de afluentes e subafluentes, no qual o arranjo da drenagem lembra a distribuição dos galhos de uma árvore. Na microbacia do açude Catolé I se observa um padrão retangular da hidrografia, o que ocorre devido à existência de fraturas geológicas características da região (Mascarenhas, 2005).

Figura 02 - Localização da microbacia hidrográfica do açude Catolé I

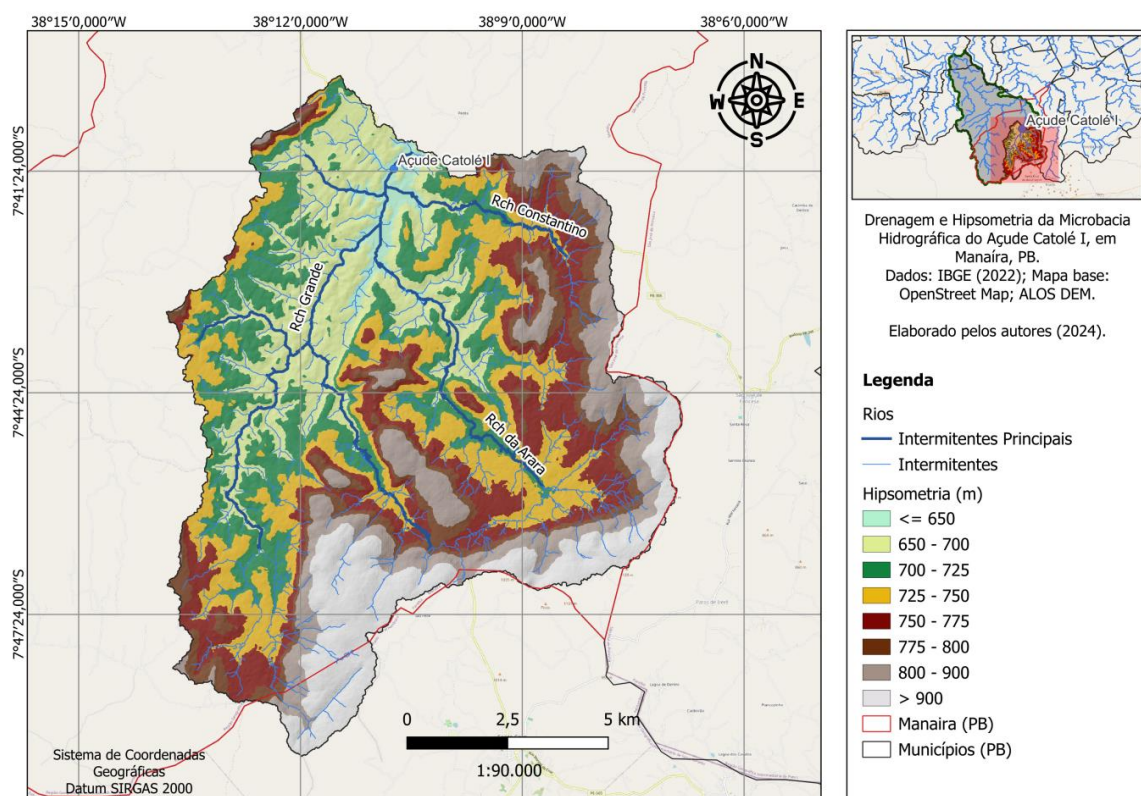


Fonte: Os autores (2023).

As rochas do embasamento são cristalinas, sendo basicamente magmáticas e metamórficas (CPRM, 2006). Os solos oriundos do embasamento são de maioria do tipo argilossolo, de composição arena-argilosa e, localmente, além desses, também estão presentes cambissolos háplicos e neossolos litólicos (IBGE, 2006).

A microbacia do Catolé I, delimitada utilizando o MDE de alta resolução, é apresentada na Figura 03. A identificação precisa da área que contribui para o reservatório é essencial para o cálculo da vazão e para a estimativa da entrada de sedimentos, cálculo e estimativa fundamentais para o gerenciamento do reservatório (Sobrinho *et al.*, 2010; Rentería-Guevara *et al.*, 2019). A área da bacia apresenta amplitude altimétrica de 495 m, variando de 623 m a 1.118 m. Na porção norte, onde está localizado o exutório, o relevo apresentou as menores altitudes, chegando a 623 m, juntamente com pouca variação da feição do relevo (Figura 03):

Figura 03 - Hipsometria e hidrografia da microbacia hidrográfica do açude Catolé I

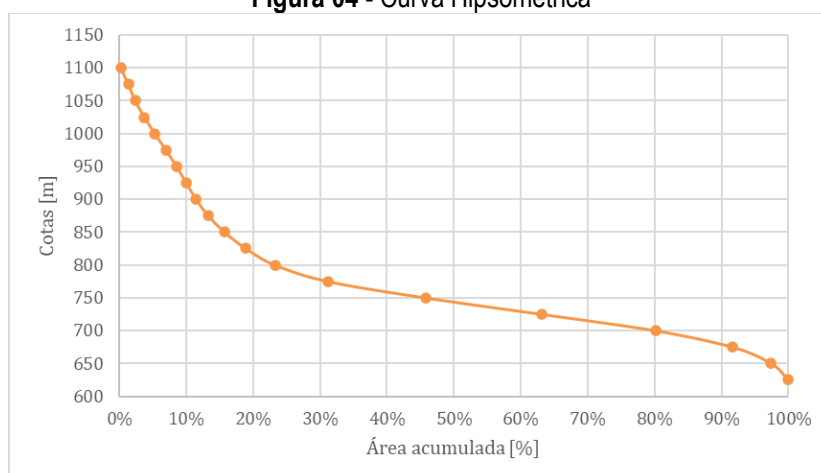


Fonte: Os autores (2023).

A topografia acidentada da região sul e sudeste da microbacia, com altitudes de até 1.118 metros, impõe desafios e oportunidades para a gestão dos recursos hídricos. As serras alongadas e alinhadas, características da Serra de Teixeira (Mascarenhas, 2005), influenciam significativamente a disponibilidade, a qualidade e o escoamento da água.

Outra análise realizada na Microbacia Hidrográfica do Açude Catolé I foi a hipsometria, para observar qual a maior frequência de classe de altitude. Na Figura 03 é representada a curva hipsométrica, a qual consiste na frequência relativa da altitude, apresentada na Figura 04:

Figura 04 - Curva Hipsométrica



Fonte: Os autores (2023).

Observou-se que a classe de 725-750 m tem a maior representatividade do relevo com 17,34 % da área total da Microbacia. Já a classe que representa as áreas com altitudes maiores que 1.100 m tem a menor representatividade do relevo com 0,21 %. A análise hipsométrica permite a identificação de áreas com maior risco de erosão e transporte de sedimentos, auxiliando na definição de estratégias de conservação do solo e no planejamento ambiental que impactam diretamente a disponibilidade hídrica do açude (Nachtigall *et al.*, 2020).

A curva hipsométrica apresentou-se em forma de S, indicando uma distribuição equilibrada das altitudes. Além disso, sugere que a bacia está em um estado de equilíbrio dinâmico, cujas forças da erosão e da deposição estão em equilíbrio (Santos *et al.*, 2019). Porém, é importante destacar, no contexto gestão integrada de recursos hídricos, que outros fatores, como o uso e a ocupação do solo, sejam incorporados numa análise mais profunda.

Parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos descrevem características físicas de uma bacia hidrográfica, sendo um recurso adequado para avaliar possíveis dinâmicas do comportamento hidrológico da bacia. Na Tabela 01, apresentam-se os indicadores referentes às características geométricas, de relevo e da rede de drenagem da microbacia do açude Catolé I.

As características geométricas são determinadas por parâmetros relacionados com formas geométricas conhecidas, como o Coeficiente de Compacidade (K_c), o fator de forma (k_f) e o índice de circularidade (I_c) (Nobre *et al.*, 2020).

Tabela 01 - Características geomorfométricas da microbacia hidrográfica do açude Catolé I

Características	Parâmetros	Siglas	Und	Valores
Geométricas	Área de drenagem	Abh	km ²	132,01
	Perímetro da bacia	Pbh	km	79,20
	Coeficiente de compacidade	kc	-	1,93
	Fator de forma	kf	-	0,30
	Índice de circularidade	Ic	-	0,26
Relevo	Maior altitude da bacia	Hmáx	m	1.118,00
	Maior altitude do canal principal	HCmáx	m	1.036,00
	Menor altitude da bacia	Hmin	m	623,00
	Menor altitude do canal principal	HCmin	m	594,00
	Diferença de cota no dreno principal	ΔH	m	442,00
	Equidistância vertical entre curvas de nível	D	km	0,03
	Comprimento total das curvas de nível	CN	km	837,13
	Declividade média da bacia	I(%)	%	0,16
	Declividade do curso d'água principal	Ieq	m/km	21,03

Rede de Drenagem	Ordem da bacia	-		4ª
	Número Total de Drenos	N	Und	227,00
	Comprimento do curso d'água principal da bacia	L	km	21,02
	Distância vetorial entre os extremos do canal	Lt	km	13,43
	Índice de Sinuosidade	Sin	-	1,57
	Rede de drenagem	Rd	km	172,11
	Densidade de drenagem	Dd	km/km²	1,30
	Densidade da Rede de Drenagem	Dr	rios/km²	1,72
	Extensão média do escoamento Superficial	Cm	km	0,19
	Tempo de concentração	Tc	min	275,17

Fonte: Os autores (2023).

A classificação das bacias pelos valores de K_c ocorre da seguinte forma: $1,00 < K_c < 1,25$ – bacia com alta propensão a grandes enchentes; $1,25 < K_c < 1,50$ – bacia com tendência mediana a grandes enchentes; $K_c > 1,50$ – bacia não sujeita a grandes enchentes (Rocha *et al.*, 2014). Portanto, para a área de estudos obteve-se $K_c = 1,93$, o que significa que, pela forma, a microbacia hidrográfica do açude Catolé I não está sujeita a grandes enchentes.

Sabendo que o fator de forma (k_f) indica que a bacia está sujeita a enchentes quando $k_f = 1$, em contrapeso a bacia não está sujeita a enchentes quando $k_f < 0,50$. Como o fator de forma obtido foi de 0,30, é entendido que a microbacia hidrográfica do açude Catolé I tem baixo risco a enchentes, corroborando o coeficiente de compacidade.

De acordo com Almeida *et al.* (2013), para os valores do índice de circularidade (IC), considera-se uma bacia circular quando $IC = 1$, e bacia alongada quando valores do IC forem mais próximos de 0. Ainda, Carvalho *et al.* (2020) acrescentam que o $IC = 0,51$ aponta para o escoamento superficial moderado e menor probabilidade de cheias rápidas, $IC > 0,51$ indica uma bacia circular, favorecendo os processos de inundação, $IC < 0,51$ caracteriza uma bacia mais alongada, colaborando para o escoamento superficial.

Com os valores calculados e os mapas produzidos, a microbacia hidrográfica do açude Catolé I apresentou índice de circularidade de 0,26 e é tida como alongada de rápido escoamento superficial, pouco suscetível a enchentes e inundações em condições normais de precipitação, corroborando o k_f e o K_c , sendo favorável para a implantação de um reservatório artificial (como é o caso).

Nas características de relevo e rede de drenagem, constatou-se que a maior altitude da bacia ($H_{máx}$) é de 1.118 m e a menor ($H_{mín}$) é de 623 m, apresentando uma declividade média da bacia de 0,16%, calculada a partir da razão entre o produto da equidistância vertical ($D = 0,03$ km) e o comprimento total das curvas de nível ($CN = 837,13$ km) pela área de drenagem ($Abh = 132,01$ km²). A declividade média da bacia hidrográfica é um parâmetro que revela, aliado a informações sobre a vegetação, o uso e cobertura da terra e a intensidade de chuvas, a distribuição do escoamento superficial e subterrâneo

da água (Ribeiro; Pereira, 2013). O canal principal possui 21,02 km de comprimento e apresenta maior altitude ($HC_{máx}$) de 1.036 m e a menor (HC_{min}) de 594 m. A diferença de cota no rio principal (ΔH) foi de 442 m, o que resultou em 21,03 m/km de declividade do curso d'água principal.

O índice de Sinuosidade (Sin), que é a relação entre o comprimento do canal principal (21,020 km) e a distância vetorial do canal principal (13,427 km), foi de 1,57. De acordo com Moura (2013), a classificação pelos valores da sinuosidade ocorre da seguinte forma: valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo e, portanto, com velocidade de escoamento maior; quando superiores a 2 ($Sin > 2,0$), indicam canais tortuosos em que a velocidade de escoamento da água é menor, favorecendo cheias rápidas; já os valores intermediários ($1 < Sin < 2,0$) sugerem formas transicionais, regulares e irregulares em que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica e pela estruturação geológica.

Conforme a classificação de Christofolletti (1980) sobre os tipos de bacia de drenagem, a microbacia hidrográfica do açude Catolé I é endorreica, visto que a drenagem é interna e desagua em um reservatório artificial. A bacia apresentou um total de 227 rios, que totalizaram 172,11 km de rede de drenagem (soma de todos os comprimentos dos cursos d'água), resultando em uma densidade da rede de drenagem de 1,72 rios/km² e em uma extensão média do escoamento superficial de 0,19 km. De acordo com a hierarquia fluvial de Strahler (1957), para a hierarquia de sistema de drenagem, o rio principal é de quarta ordem.

A densidade de drenagem é um indicador da capacidade de transformação da precipitação em escoamento superficial aliada à velocidade mínima ou máxima da água que sai da bacia hidrográfica (Mello; Silva, 2013). Para a microbacia hidrográfica do açude Catolé I, obteve-se $Dd = 1,30$ km/km², considerada mediana. Segundo classificação sugerida por Beltrame (1994), na qual $Dd > 0,50$ é considerada baixa, $0,50 < Dd < 2,00$ é mediana, entre $2,01 < Dd < 3,50$ é alta, e $Dd > 3,50$ é muito alta.

É importante destacar que a drenagem é um parâmetro que também sofre alterações devido a atividades antrópicas. Alterações no uso do solo, como a construção de estradas, pode afetar significativamente a drenagem de bacias, destacando a importância deste parâmetro nos planos de gestão em bacia hidrográficas (Souza; Cunha, 2022). Dessa forma, a avaliação da capacidade de escoamento da água em uma bacia hidrográfica é crucial para o planejamento eficaz de obras de drenagem e de controle de inundações (Teixeira *et al.*, 2020).

Por fim, o tempo de concentração é uma grandeza importante e sua determinação deve ser rigorosa, pois permite a compreensão do escoamento produzido na bacia hidrográfica e subsidia o dimensionamento de sistemas de drenagem, de armazenamento e de controle. Para a bacia hidrográfica do açude Catolé I, o tempo de concentração foi de 275,17 minutos, valor relacionado com a forma

alongada e com a declividade da bacia, uma vez que quanto maior a declividade do relevo, maior a velocidade do escoamento superficial direto e menor o tempo de concentração, consequentemente haverá maiores os riscos de picos de enchentes (Nobre *et al.*, 2020).

Considerações finais

Considera-se que a caracterização geomorfológica da microbacia hidrográfica do açude Catolé I produziu informações de interesse à análise, ao planejamento e à gestão de recursos hídricos, visto que descrevem dinâmicas hidrológicas capazes de suportar planos de gestão integrados às mudanças físicas que ocorrem na bacia.

Os dados obtidos mostraram que a microbacia hidrográfica do açude Catolé I apresenta forma alongada, com 227 trechos de drenagem, que totalizam 172,11 km de rede típica do semiárido com padrão intermitente, dendrítico, endorreica e de quarta ordem, com tempo de concentração considerado de rápido escoamento superficial e pouco suscetível a enchentes e inundações, em condições normais de precipitação, sendo favorável para implantação de um reservatório artificial.

Para isso, o uso do Geoprocessamento foi eficiente ao possibilitar a delimitação da microbacia, focando o estudo em uma área específica, e a obtenção dos dados para realizar os cálculos dos parâmetros morfométricos, bem como a caracterização do relevo e da rede hidrográfica da microbacia do Açude Catolé I. Isso permitiu uma análise ambiental integrada e geograficamente abrangente, por meio de processos automatizados, e produziu resultados espacializados e georreferenciados, cuja aplicabilidade revela características fisiográficas da bacia e, por conseguinte, municia a tomada de decisão para uma gestão mais assertiva.

Por fim, pode-se considerar que a limitação do sensor produtor do MDS utilizado também limita a produção de informações, porque é um fator que reduz o nível de detalhamento, isto é, simplifica a representação da realidade do relevo e influencia os parâmetros utilizados para calcular os índices. Assim, corre-se o risco de se produzir generalizações que mascaram as dinâmicas reais existentes na microbacia. Portanto, recomenda-se avaliar o uso de diferentes MDS na caracterização geomorfológica da microbacia para identificar alternativas para a produção de informações tão precisas quanto possível.

Referências

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. *Açudes do Estado*. [S.l. : s.n.], 2007. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>. Acesso em: 07 jun. 2023.
- AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology Elsevier*, v. 511, p. 850-860, 2014. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2014.02.028](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.028)

- ALMEIDA, R. F. B. *Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do rio do coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos*. 2017. 134f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; REIS JÚNIOR, D. S.; CARVALHO, J. C. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, n. 2, 2013.
- ALVES SOBRINHO, T., OLIVEIRA, P. T. S., RODRIGUES, D. B. B., AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 1, p. 46–57, 2010. DOI: [10.1590/s0100-69162010000100005](https://doi.org/10.1590/s0100-69162010000100005)
- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu* / Resumo Executivo. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.
- BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: ED. UFSC, 1994.
- BRUNO, L. O. G. A free and open source solution for hydrographic body analysis. *Nativa*, v.5, n.1, p.24-30, 2017.
- CARVALHO, A. C. F.; SILVA, C. W. G.; RODRIGUES, E. S.; CALDAS, A. M. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova – PE. *Revista Semiárido de Visu*, v. 8, n. 1, p. 3-14, 2020.
- CASTRO, L. I. S.; CAMPOS, S.; ZIMBACK, C. R. L.; KAISER, I. M. Sistema de Informação Geográfica na formulação de indicadores ambientais para sustentabilidade dos recursos hídricos. *Irriga*, Botucatu, v.19, n.4, p.655, 2015
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2ªed. São Paulo. Edgard Blücher, p. 03- 50, 1980.
- 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, p. 483-500, 2020. DOI: [10.5007/1982-5153.2020v35n74p483](https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483).
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. *Mapa Geodiversidade do Estado da Paraíba*. Escala: 1:500.000. Recife: CPRM, 2006.
- FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.38, n.1, p.156-163, 2016
- GUIMARÃES, C. L. et al. Uso de geotecnologias para análise da bacia hidrográfica do açude Cachoeira dos Alves, município de Itaporanga-PB. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 5, n. 1, 2008.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de solos do Brasil*. Escala: 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2ª ed., n. 1, Rio de Janeiro: IBGE, 272 p., 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico 2022*. IBGE, c2024. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- LEAL, M.S.; TONELLO, K.C. Morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba/SP. *FLORESTA*, v.46, n.4, p.439-446, 2017.
- LUCENA, E. M. P. de. Ecossistemas do Nordeste (semiárido). In: Eliseu Marlônio Pereira de Lucena. (Org.). *Mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável*. 1 ed.Fortaleza: Universidade Aberta do Nordeste, 2010, v. 1, p. 321-352.
- MASCARENHAS, J. de C. et al. *Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado da Paraíba / Diagnóstico do município de Manaíra*. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. *Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas*. UFLA/MG: UFLA, 455 p., 2013.

- MOURA, C. A. Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). *Revista de Geografia*, v. 30, n. 2, p. 123–138, 2013.
- NACHTIGALL, S. D.; NUNES, M. C. M.; MOURA-BUENO, J. M.; LIMA, C. L. R. de, MIGUEL, P., BESKOW, S., SILVA, T. P. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 6, p. 933–946, 2020. DOI: [10.1590/s1413-4152202020190136](https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020190136)
- NOBRE, N. C.; SILVA, C. M.; SANTANA, J. S.; SILVA, W. A. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. *Acta Iguazu*, v. 9, n. 1, p. 11–34, 2020.
- OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, 2010. DOI: [10.1590/S1415-43662010000800005](https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800005)
- RENTERÍA-GUEVARA, S. A., SANHOUSE-GARCÍA, A., BUSTOS-TERRONES, Y., RODRIGUEZ-MATA, A. E., & RANGEL-PERAZA, J. G. A proposal to integrate the legal definition and official delineation of watersheds in Mexico: eight model case studies. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 14, n. 2, 2019. DOI: [10.4136/ambi-agua.2198](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2198)
- RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. *TERRÆ*, n.10, v.1-2, p.15-20, 2013.
- ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P. D.; MENEZES NETO, E. L.; NETTO, A. D. O. A. Caracterização morfométrica da sub-bacia do Rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.
- RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. *Revista Verde*, v. 11, n.3, p.143-150, 2016.
- SANTOS, M., LADEIRA, F. S. B., & BATEZELLI, A. (2019). Indicadores geomórficos aplicados à investigação de deformação tectônica: uma revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n. 2, 2019. DOI: [10.20502/rbg.v20i2.1564](https://doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1564).
- SILVA, A. F.; FARIAS, C. W. L. A. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú utilizando o modelo SWAT. *Revista Semiárido De Visu*, Petrolina, v. 9, n. 2, p. 76-86, 2021. DOI: [10.31416/rsdv.v9i2.216](https://doi.org/10.31416/rsdv.v9i2.216).
- SOUSA, M.M., OLIVEIRA, W. Análise morfológica da rede de drenagem do alto Juruá/AC, extraída de MDE-SRTM. *Caminhos de Geografia*, v.18, n.61, p.44-64, 2017.
- SOUZA, C. C.; CUNHA, M. C. Analysis of Morphometric Parameters of the Drainage Network and Road Network of the Ribeirão Paraíso Watershed, Jataí - GO. *Sociedade & Natureza*, v. 34, e6540, Universidade Federal de Uberlândia, 2022. DOI: [10.14393/SN-v34-2022-65404x](https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-65404x).
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: *Transactions: American Geophysical Union*, 1957. v.38. p. 913-920.
- TEIXEIRA, G. da S., RODRIGUES, R. S. S., CRISPIM, D. L., FERNANDES, L. L., BITTENCOURT, G. M. (2020). Metodologias para Caracterização e Avaliação de Sistemas de Drenagem urbana: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, p. e197943063, 2020. DOI: [10.33448/rsd-v9i4.3063](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.3063)
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil. 1975.
- YOGI, F.; STANGANINI, F. N. Comparação e Avaliação de Modelos Digitais de Elevação dos sensores SRTM, ASTER, TANDEM/TERRASAR – X, NASADEM, COPERNICUS DEM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno para aplicações no saneamento básico. *Research, Society and Development*, v. 12, n.1, e13812139350, 2023. DOI: [10.33448/rsd-v12i1.39350](https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39350).