

**CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA DA BACIA HIDROGRAFICA DO
RIACHO CACHOEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL**

**PHYSIOGRAPHIC CHARACTERIZATION OF THE CACHOEIRA CREEK
WATERSHED, PERNAMBUCO, BRAZIL**

**CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA DE LA CUENCA DEL ARROYO
CACHOEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL**

Gabriel Antonio Silva Soares¹ <https://orcid.org/0000-0003-3139-8974>

Nara Tôrres Silveira² <https://orcid.org/0000-0003-2934-1039>

Camila Gardenea de Almeida Bandim³ <https://orcid.org/0000-0003-4183-6608>

Sidney Henrique Campelo de Santana⁴ <https://orcid.org/0000-0001-9744-5062>

Joélia Natália Bezerra da Silva⁵ <https://orcid.org/0000-0002-2106-5933>

Josicléda Domiciano Galvêncio⁶ <https://orcid.org/0000-0001-7367-6587>

RESUMO

A caracterização das bacias hidrográficas é crucial para o planejamento hídrico, uma vez que as características físicas influenciam diretamente no regime hidrológico de uma determinada área. Considerando o impacto da escassez de dados detalhados e atualizados para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, o presente estudo tem como objetivo obter as características físicas da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, localizada no semiárido pernambucano, utilizando dados de alta resolução provenientes do sensor LiDAR. A caracterização foi segmentada no levantamento dos parâmetros geométricos, dos hidrográficos e dos topográficos, obtidos por meio de ferramentas de análise hidrológica e análise da superfície em ambiente SIG. Os principais resultados revelam que a bacia possui formato alongado, indicando baixa suscetibilidade a enchentes. Além disso, a bacia é de quinta ordem, com uma rede de drenagem ramificada, e apresenta baixa extensão média do escoamento superficial, indicando uma drenagem regular. A declividade da bacia é predominantemente baixa, o que sugere um escoamento superficial lento. A utilização de dados LiDAR para a caracterização fisiográfica

¹ Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Graduação em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: gabriel.antonios@ufpe.br

² Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Graduação em Engenharia de Pesca pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB). E-mail: nara.torres@ufpe.br

³ Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Graduação em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: camila.bandim@ufpe.br

⁴ Doutorado, Mestrado e Graduação em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atuação como Professor no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) - Campus Abreu e Lima. E-mail: sidneyhcsantana@gmail.com

⁵ Doutorado e Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Graduação em Geografia pela Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: joelia.silva@ufpe.br

⁶ Doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestrado em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Graduação em Matemática pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Atuação como Professora no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente e nos cursos de Graduação em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: josicleda.galvencio@ufpe.br

da bacia, revela detalhes cruciais para o entendimento da hidrologia local e pode potencialmente subsidiar o desenvolvimento de políticas de manejo e preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Gestão. LiDAR. Recursos Hídricos. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The characterization of hydrographic basins is crucial for water planning, as the physical characteristics directly influence the hydrological regime of a particular area. Considering the impact of the scarcity of detailed and updated data for water resources planning and management, the present study aims to obtain the physical characteristics of the Riacho Cachoeira hydrographic basin, located in the semi-arid region of Pernambuco, using high-resolution data from the LiDAR sensor. The characterization was segmented into the survey of geometric, hydrographic, and topographic parameters, obtained through hydrological analysis tools and surface analysis in a GIS environment. The main results reveal that the basin has an elongated shape, indicating low susceptibility to floods. Additionally, the basin is fifth-order, with a branched drainage network, and presents low average surface runoff extension, indicating regular drainage. The slope of the basin is predominantly low, suggesting slow surface runoff. The use of LiDAR data for the physiographic characterization of the basin reveals crucial details for understanding local hydrology and can potentially support the development of water resource management and preservation policies.

Keywords: Geoprocessing. Management. LiDAR. Water Resources. Remote Sensing.

RESUMEN

La caracterización de las cuencas hidrográficas es crucial para la planificación hídrica, dado que las características físicas influyen directamente en el régimen hidrológico de un área determinada. Considerando el impacto de la escasez de datos detallados y actualizados para la planificación y gestión de recursos hídricos, el presente estudio tiene como objetivo obtener las características físicas de la cuenca hidrográfica del Riacho Cachoeira, ubicada en la región semiárida de Pernambuco, utilizando datos de alta resolución del sensor LiDAR. La caracterización se dividió en el relevamiento de parámetros geométricos, hidrográficos y topográficos, obtenidos mediante herramientas de análisis hidrológico y análisis de superficie en un entorno SIG. Los principales resultados revelan que la cuenca tiene una forma alargada, lo que indica una baja susceptibilidad a inundaciones. Además, la cuenca es de quinto orden, con una red de drenaje ramificada, y presenta una baja extensión media de escorrentía superficial, lo que indica un drenaje regular. La pendiente de la cuenca es predominantemente baja, lo que sugiere una escorrentía superficial lenta. El uso de datos LiDAR para la caracterización fisiográfica de la cuenca revela detalles cruciales para comprender la hidrología local y puede potencialmente apoyar el desarrollo de políticas de gestión y preservación de recursos hídricos.

Palabras clave: Geoprosesamiento. Gestión. LiDAR. Recursos Hídricos. Teledetección.

INTRODUÇÃO

A caracterização de bacias hidrográficas se configura como uma ferramenta de suma importância para o planejamento hídrico, tendo em vista que, como apontam Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia influenciam diretamente o seu regime hidrológico. Barros e Galvínio (2022) discorrem sobre a importância de se analisar sistemicamente os fatores atuantes em uma bacia hidrográfica, compreendendo que o

comportamento da água em seus limites é resultado da atuação contínua e simultânea de diversos fatores.

Desde a homologação do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido pela Lei nº 9.433 de 1997, as bacias hidrográficas são consideradas unidades territoriais de planejamento político, hídrico e social. A escassez de dados em escalas mais detalhadas sobre bacias hidrográficas dificulta o desenvolvimento de políticas públicas que assegurem o direito à água e subsidiem uma melhor gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997). Soares e Galvêncio (2020, p.3) ressaltam que “a falta de informações sobre as características das bacias hidrográficas resulta em uma má gestão de seus recursos”. Os autores evidenciam a importância de estudos que se ocupem de analisar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, sobretudo em bacias localizadas na região semiárida.

Dentre os elementos que influenciam diretamente no comportamento hídrico em uma bacia hidrográfica, pode-se destacar a topografia, pois segundo Hsu *et al.* (2000) é um dos principais fatores a serem considerados no estudo das dinâmicas hídricas em áreas rurais, considerando que em contrapartida às áreas mais urbanizadas, nas regiões rurais existem menos espaços impermeabilizados, e conseqüentemente, as características topográficas, somadas ao uso do solo determinam, o comportamento hídrico nas áreas da bacia, e por isso devem estar em destaque nas análises hidrológicas para estas áreas.

Gallegos *et al.* (2009) discorrem sobre como a topografia é um dos principais fatores a serem considerados no estudo dos fluxos hídricos, tendo em vista que estes são naturalmente definidos, e podem ser ainda artificialmente alterados, pelas condições de relevo, declividade, geologia, geomorfologia, e pelas modificações antrópicas do terreno, por exemplo. Tonello *et al.* (2005) afirmam que as características geomorfológicas influenciam fortemente no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, destacando sua importância na definição de processos importantes para o ciclo hidrológico, como a infiltração da água precipitada no solo, a evapotranspiração, e o escoamento superficial, parâmetros de destaque no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

Outro fator determinante para o estudo do comportamento hidrológico é a relação estabelecida entre o uso e ocupação nas áreas das bacias hidrográficas, expressa através dos impactos das ações antrópicas nas paisagens naturais. Nas regiões semiáridas, as principais formas de uso e ocupação do solo estão relacionadas à agropecuária, justificada pela influência que a sobre-exploração dos recursos naturais e as modificações nos padrões naturais de uso da terra possuem sobre a disponibilidade de água e o comportamento hidrológico em uma bacia

(COELHO, 2014). Como aponta Vanzela *et al.* (2010, p. 56), “o estabelecimento de correlações entre o uso e a ocupação dos solos e os recursos hídricos, é uma importante informação para o planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica”, o que indica a necessidade de se analisar e compreender significativamente as inter-relações estabelecidas entre ser humano e meio ambiente para a gestão dos recursos hídricos, entendendo que estas não ocorrem de forma dissociada e que impactam de formas distintas no uso do solo em uma bacia hidrográfica.

Diante do aprimoramento das geotecnologias, a aplicação de dados obtidos a partir do sensoriamento remoto tem se apresentado como ferramentas eficientes para a caracterização de bacias hidrográficas. Neste contexto, os dados provenientes do sensor LiDAR vêm sendo recorrentemente utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas na literatura internacional há mais de uma década, subsidiando o desenvolvimento de trabalhos que se ocupam principalmente de identificar os padrões hídricos e as características físicas da bacia, possibilitando a compreensão da dinâmica hidrológica e as propensões naturais específicas de cada área (BROWN *et al.*, 2007; FEWTRELL *et al.*, 2010; GALLEGOS *et al.*, 2009; HSU *et al.*, 2000; HUNTER *et al.*, 2008; MASON *et al.*, 2007; NEAL *et al.*, 2009; OZDEMIR *et al.*, 2013; SAMPSON *et al.*, 2012; TSUBAKI e FUJITA, 2010).

Em decorrência da necessidade de dados precisos para a representação das bacias hidrográficas, os dados provenientes do sensor LiDAR (Light Detection And Ranging), também denominado como “Scanner a Laser”, conforme Santana *et al.* (2020), apresentam-se como uma alternativa de qualidade para a compreensão da topografia, e seus desdobramentos para os estudos hidrológicos. Rodriguez *et al.* (2010) descrevem o sistema de varredura a laser aerotransportado LiDAR como uma tecnologia de sensoriamento remoto que realiza uma varredura do terreno a partir da emissão de um feixe de laser em direção à superfície sob análise, para obtenção das informações espaciais desta determinada localidade.

Na literatura nacional, recentemente, têm surgido uma diversidade de trabalhos que utilizam dos dados do LiDAR para o estudo de bacias hidrográficas, especialmente no estado de Pernambuco, em decorrência da existência do programa do Governo do Estado de Pernambuco denominado Pernambuco Tridimensional (PE3D). Como apresentam Cirilo *et al.* (2015), este programa consiste no recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território pernambucano, obtido a partir da utilização de aviões equipados com o sensor LiDAR e câmeras digitais de alta definição (BANDIM e GALVÍNIO, 2021; BARROS e GALVÍNIO, 2022; DA FONSECA NETO *et al.*, 2020; FEITOZA, 2021; FERRAZ, 2019; GOMES, 2019; LIMA *et al.*, 2021; PESSOA NETO *et al.*, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2020; SILVA, 2021; SOARES e GALVÍNIO, 2020; VERÇOSA, 2019). Isto posto, o presente

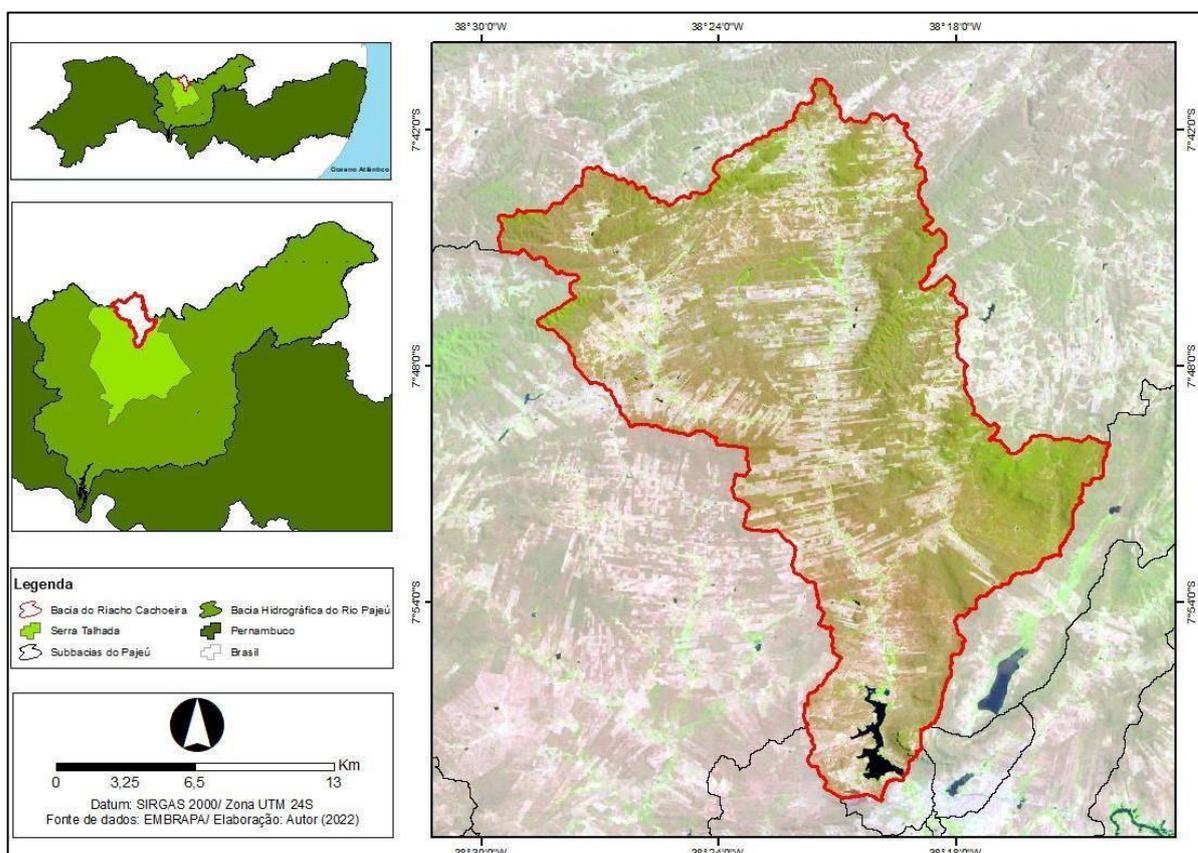
estudo tem como objetivo caracterizar a fisiografia da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, semiárido pernambucano, utilizando os dados de alta resolução provenientes do sensor LiDAR para obtenção de parâmetros geométricos, hidrográficos e topográficos.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia do Riacho Cachoeira é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Pajeú que corresponde à Unidade de Planejamento Hídrico 9 (UP9) do estado de Pernambuco, com 393.75 km² (Figura 1). A bacia do rio Pajeú é a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área total do Estado. Seus limites são: ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22) e a bacia do rio Moxotó (UP8), a leste com a bacia do rio Moxotó e o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 - GL4 (UP23) (APAC, 2022).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, PE



Fonte - Autores, 2023.

A bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, assim como a maior parte da bacia hidrográfica do rio Pajeú, apresenta incidência de chuva na maioria dos meses mais quentes, e seco nos meses frios do ano, com baixos índices de pluviosidade (entre 600 mm e 800 mm anuais) de ocorrência irregular ao longo do ano, características de clima do tipo BSw^h, segundo a classificação climática de Köppen.

Na área compreendida pela bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira constata-se quatro tipos de solos, sendo estes: Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos. As principais formas de uso e ocupação do solo na bacia é a Caatinga, associadas às áreas antropizadas, como as atividades de pastagem e agropecuária. As atividades predominantes, segundo Ferreira *et al.* (2010), são o cultivo de palma e pasto, a agricultura de sequeiro, a criação de caprinos, e atividades pesqueiras.

Obtenção dos parâmetros físicos

Para a obtenção dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira foram utilizadas as informações espaciais georreferenciadas e digitalizadas contidas no MDE do programa PE3D. Os dados capturados pelo sensor aerotransportado a laser LiDAR, possuem uma resolução espacial de 1 m em uma escala de 1:5000, e foram obtidos a partir da plataforma online do programa (www.pe3d.pe.gov.br/mapa), onde está disponível para download parte das quadrículas LiDAR que compõem a bacia hidrográfica do Rio Pajeú. Foram utilizadas, também, as ortofotos provenientes do imageamento do PE3D, que possuem resolução espacial de 50 cm, em uma escala de 1:5000. Todas as produções cartográficas apresentadas no presente trabalho se encontram em coordenadas UTM, na Zona 24S e utilizando como Datum de referência o SIRGAS 2000.

Para o PE3D, o estado de Pernambuco foi fragmentado em cinco blocos, que por sua vez foram divididos em subáreas, onde estão contidas as informações espaciais captadas pelo laser LiDAR. Cada uma destas quadrículas possui produtos distintos referentes à sua área, sendo estes: o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Elevação (MDE) e as ortofotos, que variam em termos de resolução e escala a depender do dado escolhido. A bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira é representada em um total de 76 quadrículas, que estão localizadas no terceiro bloco do PE3D. Para fins comparativos, foram utilizados MDEs de 30 m de resolução, provenientes do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponíveis para download na plataforma Earth Explorer da United States Geological Survey (USGS) [<https://earthexplorer.usgs.gov/>].

Os parâmetros para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, foram obtidos através dos mesmos procedimentos metodológicos adotados por Soares e Galvínio (2020), que utilizaram os dados LiDAR para analisar as características físicas da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, localizada no litoral pernambucano. Assim como na metodologia apontada pelos autores, a caracterização da bacia se dará em três âmbitos, a partir da obtenção dos parâmetros geométricos, hidrográficos, e do relevo, tendo como objetivo analisar as principais características que influenciam diretamente nos padrões hídricos da bacia hidrográfica de forma integrada. O processamento em ambiente SIG consistiu no emprego das ferramentas de análise hidrológica e análise da superfície; bem como na utilização da ferramenta de cálculos estatísticos condicionais para a extração da rede de drenagem.

Parâmetros geométricos

Para a caracterização geométrica da bacia foram obtidas, em ambiente SIG, as seguintes informações: a área de drenagem (A), o perímetro da bacia (P), o comprimento axial (L); bem como os valores necessários para o cálculo do coeficiente de compacidade (Kc), do fator de forma (Kf), e do índice de circularidade (IC). Tonello (2005) define a área de drenagem da bacia como a projeção horizontal da área compreendida pela rede de drenagem de uma bacia, destacando que este é o principal atributo a ser considerado para a caracterização da geometria de uma bacia; sobre perímetro, a autora indica que corresponde ao comprimento medido em linha entre os extremos da bacia através de uma linha imaginária; o comprimento axial é entendido pela autora como o comprimento da distância existente entre a foz do rio, e o ponto mais distante nos limites da bacia hidrográfica.

O coeficiente de compacidade calcula a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com a mesma área da bacia, o coeficiente deve ser analisado com base na unidade de referência “1”; quanto maior em relação ao referido número, mais alongada é a bacia e menor a probabilidade de enchentes em seus limites. O fator de forma estima a relação estabelecida entre a área de captação e o comprimento axial da bacia, e quanto mais elevado o valor do fator de forma, mais propensa a ocorrência de enchentes é a bacia hidrográfica. O índice de circularidade determina a propensão a enchentes de uma bacia a partir da análise de sua forma, os resultados mais próximos à unidade indicam uma forma circular para a bacia (SOARES e GALVÍNIO, 2020; VILELLA e MATTOS, 1975; TONELLO, 2005).

Para o cálculo dos índices foram empregadas as seguintes fórmulas, apresentadas por Tonello (2005):

$$Kc = 0,28 \frac{p}{\sqrt{A}}$$

(1)

Em que, “Kc” representa o coeficiente de compacidade, “P” o perímetro da bacia em km, e “A” a área da bacia em km².

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

(2)

Em que, “Kf” representa o fator de forma, “A” a área da bacia em km², e “L” o comprimento axial em km.

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

(3)

Em que, “IC” representa o índice de circularidade, “A” a área da bacia em km², e “P” o perímetro da bacia em km.

Parâmetros hidrográficos

Para a caracterização hidrográfica da bacia foram obtidos, em ambiente SIG, a rede de drenagem, a ordem dos canais, a direção e o acúmulo dos fluxos na bacia, apresentados em mapas, além das seguintes informações: a ordem da bacia, a densidade de drenagem (Dd), o comprimento do canal principal (Lc), o comprimento total dos cursos d’água (Lt), e a extensão média do escoamento superficial (l).

A ordem da bacia foi estimada no software de geoprocessamento, com base na metodologia de Strahler (1957), que considera os canais sem tributários como de primeira ordem; os canais de segunda ordem são, por sua vez, os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, enquanto os de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo também receber afluentes de primeira ordem, e assim sucessivamente, a maior ordem de canal mapeada na drenagem da bacia, define sua ordem. O comprimento do canal principal foi mensurado através de sua vetorização no software de geoprocessamento, e pode ser compreendido como a distância entre o exutório da bacia e seu ponto mais longínquo (GALVÊNCIO e SOUSA, 2004).

O comprimento total dos cursos d’água da bacia foi calculado a partir do somatório do comprimento de cada um dos canais presentes em sua drenagem, em ambiente SIG. A densidade de drenagem compreende a análise da riqueza da rede de drenagem da bacia, definida como a relação entre o comprimento total dos cursos d’água e a área da bacia, e varia entre 0,5 para bacias de drenagem pobre, a 3,5 para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILELLA

e MATTOS, 1975). A extensão média do escoamento superficial é definida como a distância média que a água precipitada percorre até um curso d'água, calculado através de um retângulo que representa a área da bacia, onde um curso d'água percorre pelo seu centro (SOARES e GALVÊNCIO, 2020; TONELLO, 2005; VILLELA e MATTOS, 1975).

Para o cálculo dos índices foram empregadas as seguintes fórmulas, apresentadas respectivamente por Tonello (2005), e Villela e Mattos (1975):

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

(4)

Em que, “Dd” representa a densidade de drenagem em km/km²; “Lt” o comprimento total dos cursos d'água da bacia em km; e “A” a área da bacia, em km²:

$$l = \frac{A}{4L}$$

(5)

Em que, “l” representa a extensão média do escoamento superficial, “A” a área da bacia em km², e “L” o comprimento do rio principal em km.

Parâmetros topográficos

Para a caracterização topográfica da bacia foram obtidos, em ambiente SIG, os mapas de hipsometria e declividade, além das seguintes informações: as altitudes mínimas e máximas, a amplitude altimétrica (Hm), a relação de relevo (Rr) e o gradiente de canais (Gc).

As altitudes mínima e máxima foram obtidas a partir do mapa hipsométrico para a bacia, elaborado no software de geoprocessamento, e correspondem, respectivamente, às cotas altimétricas mais elevadas e rebaixadas presentes na área da bacia. A amplitude altimétrica de uma bacia corresponde, segundo Strahler (1952), à diferença entre as altitudes do seu exutório e a maior altitude presente em sua área. A relação de relevo expressa a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento de seu canal principal, segundo Schumm (1956), quanto maior o índice obtido para uma bacia, maior será o desnível entre sua nascente e sua foz. O gradiente de canais é estimado para quantificar a declividade média dos canais de uma bacia hidrográfica, foi obtido por meio do cálculo da relação entre a altitude máxima da bacia e o comprimento de seu canal principal (CHORLEY, 1995; SOARES e GALVÊNCIO, 2020).

Para o cálculo dos índices foram empregadas as seguintes fórmulas, apresentadas respectivamente por Strahler (1952), Schumm (1956) e Chorley (1995):

$$Hm = Hmax - Hmin$$

(6)

Em que, “Hm” representa a altitude altimétrica em m, “Hmax” a altitude máxima em m, e “Hmin” a altitude mínima em m.

$$Rr = \frac{Hm}{Lc}$$

(7)

Em que, “Rr” representa a relação de relevo m/km, “Hm” a amplitude altimétrica em m, e “Lc” o comprimento do canal principal.

$$Gc = \frac{Amax}{Lc}$$

(8)

Em que, “Gc” representa o gradiente de canais, “Amax” a altitude máxima da bacia em m, e “Lc” o comprimento do canal principal em km.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das problemáticas que assolam uma bacia hidrográfica, surge a necessidade de se desenvolverem estudos que subsidiem informações atualizadas e de qualidade para os órgãos gestores. O levantamento das características físicas de uma bacia, se apresenta como uma ferramenta indispensável para a gestão de seus recursos hídricos, o que evidencia a importância de adotar a caracterização fisiográfica como metodologia para o estudo integrado destas áreas. Barros e Galvínio (2022) atestam que os resultados de uma caracterização fisiográfica possibilitam compreender detalhadamente a dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica, viabilizando uma análise sistêmica dos elementos que influenciam no comportamento da água nestas regiões; podendo ser empregada ainda, segundo Soares e Galvínio (2020), no estudo comparativo entre bacias hidrográficas de características distintas ou semelhantes, e para a compreensão de eventos passados e previsão de eventos futuros.

Caracterização geométrica

A área da bacia do Riacho Cachoeira foi estimada em 393.75 km², o perímetro em 164.15 km e o comprimento axial em 31.49 km. Tais informações indicam que a extensão da bacia do Riacho Cachoeira se encontra no intervalo médio para áreas de sub-bacias apontado por Faustino (1996), entre 100 km² e 700 km², apresentando extensão mediana. O cálculo dos índices para caracterização da forma da bacia aponta uma baixa suscetibilidade natural a ocorrências de inundações e enchentes, em decorrência principalmente de sua forma

consideravelmente alongada. O coeficiente de compacidade, estimado em 2.32, aponta que a bacia apresenta formato estreito e alongado, o que indica que o escoamento superficial em sua área de drenagem ocorre de forma distribuída no tempo, não propiciando a concentração de água. O fator de forma da bacia de 0.39, e o índice de circularidade de 0,18, corroboram com o coeficiente de compacidade, atestando a forma alongada da bacia, por apresentarem valor distante da unidade de referência (1), que indica forma arredondada para a bacia (BARGOS, 2019; TONELLO, 2005).

Conhecer as características da forma da bacia é essencial para o desenvolvimento de estudos que objetivem compreender o comportamento hidrológico em sua extensão, bem como, prever ocorrências de eventos extremos relacionados à hidrografia. O formato longo e estreito da bacia do Riacho Cachoeira indica que a probabilidade de eventos pluviométricos intensos recobrirem simultaneamente toda a sua área de extensão é baixa, apontando também que na drenagem da bacia boa parte dos canais tributários atingem o canal principal (FERREIRA *et al.*, 2010). Resultados similares foram encontrados em caracterizações fisiográficas elaboradas anteriormente para a mesma área de estudo, por Ferreira *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2021), corroborando com os resultados aqui apresentados acerca da forma da bacia. Os resultados para a caracterização dos indicadores geométricos da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da caracterização geométrica da bacia do Riacho Cachoeira, PE

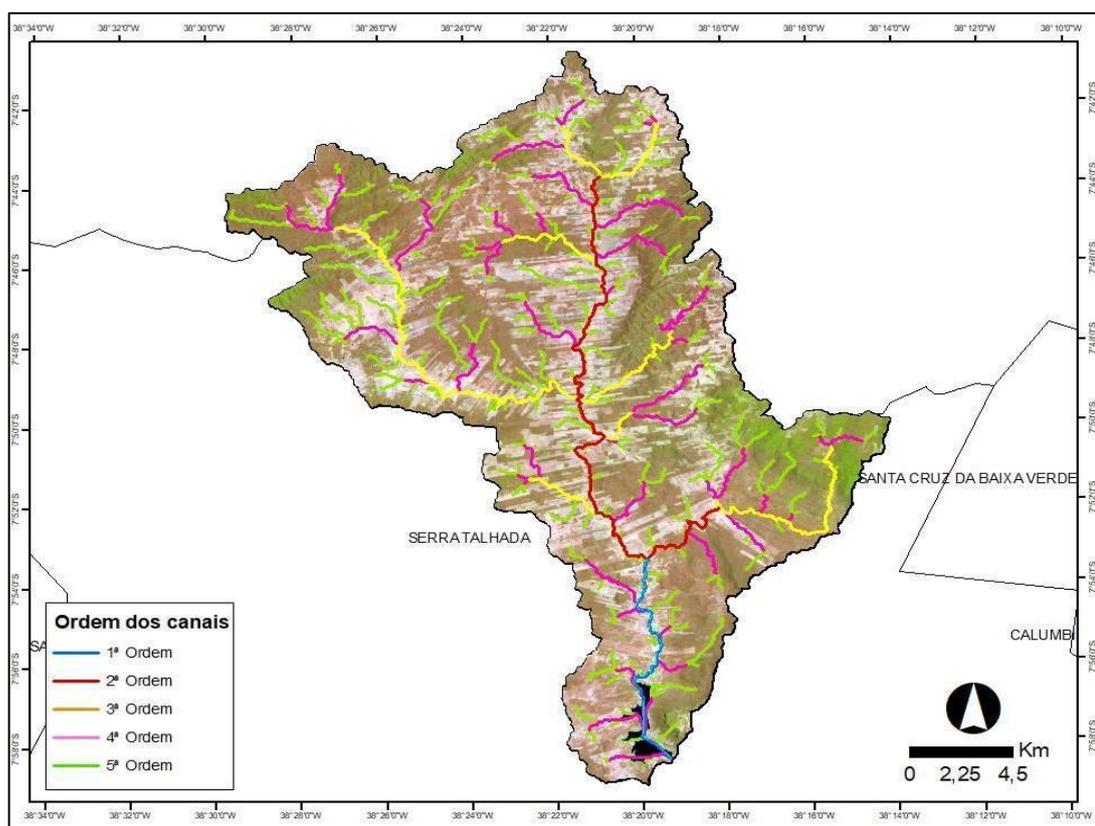
Parâmetros Geométricos	
Parâmetros obtidos	Resultados
Área da bacia	393.75 km ²
Perímetro da bacia	164.15 km
Comprimento axial	31.49 km
Coeficiente de compacidade	2,32
Fator de forma	0,39
Índice de circularidade	0,18

Fonte - Autores, 2023.

Caracterização hidrográfica

Os resultados obtidos para a caracterização hidrográfica da bacia do Riacho Cachoeira indicam que a mesma se trata de uma bacia de quinta ordem, segundo a classificação de Strahler (1957); a ramificação das ordens dos canais pode ser visualizada na figura 2. Pessoa Neto *et al.* (2021) indicaram a bacia hidrográfica do rio Jaboatão, no litoral pernambucano, como uma bacia de 5ª ordem, constatando que bacias desta ordem são propícias ao desenvolvimento de espécies aquáticas. Soares e Galvêncio (2020) identificaram a bacia hidrográfica do rio Beberibe como de 6ª ordem, afirmando que se tratava de uma bacia altamente drenada, tendo em vista sua área consideravelmente pequena, de apenas 71 km². A ordem encontrada em outras caracterizações da bacia do Rio Cachoeira foram quinta e quarta ordem, obtidas respectivamente por Ferreira *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2021).

Figura 2 - Ordem dos canais da bacia do Riacho Cachoeira, PE

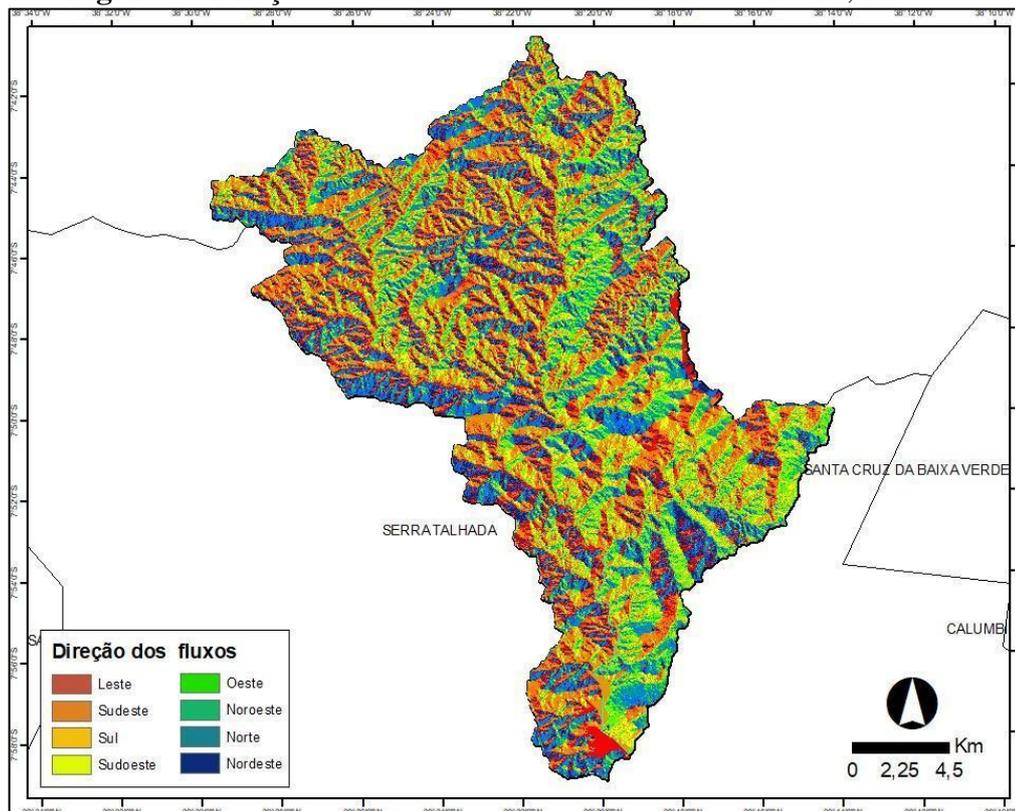


Fonte - Autores, 2023.

Além da ordem dos canais, estão apresentadas nas figuras 3 e 4 respectivamente: a direção e o acúmulo dos fluxos, extraídos a partir do MDE LiDAR. A rede de drenagem apresenta ramificações significativas, corroborando com a ordem encontrada para a bacia, bem

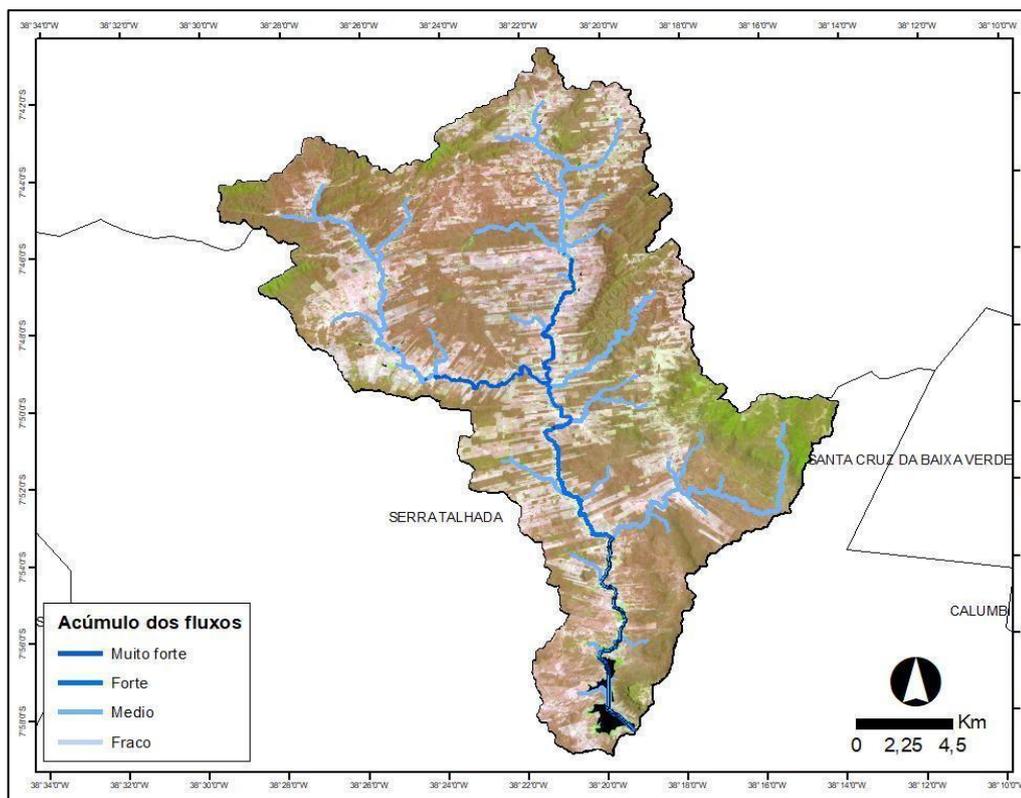
como com o padrão de drenagem dendrítico informado pela CPRM (2005). As informações de direção e acúmulo de fluxo são de extrema importância para a compreensão do comportamento da água na área da bacia, sobretudo para a projeção de enchentes e inundações, uma vez que subsidiam conhecimentos acerca do padrão do escoamento superficial e as áreas de maior acúmulo de água na bacia (SOARES e GALVÊNCIO, 2020).

Figura 3 - Direção dos fluxos da bacia do Riacho Cachoeira, PE



Fonte - Autores, 2023.

Figura 4 - Acúmulo dos fluxos da bacia do Riacho Cachoeira, PE



Fonte - Autores, 2023.

A mensuração do comprimento do canal principal e do comprimento total dos cursos d'água obteve para os índices, respectivamente, 48.28 km e 407.29 km. Os índices obtidos por Santos *et al.* (2021) para tais parâmetros na bacia do Riacho Cachoeira foram 22,936 km e 265,749 para comprimento do canal principal e comprimento total dos cursos d'água, respectivamente. A disparidade entre os valores obtidos se justifica pelo uso de diferentes modelos digitais de elevação, tendo em vista que para a caracterização proposta pelos autores foram utilizados dados do SRTM com resolução espacial de 30 m. Segundo Barros e Galvêncio (2022), a modelagem dos fluxos realizada para a extração dos canais é fortemente influenciada pela resolução dos dados, tendo em vista que a riqueza de detalhamento da topografia é indispensável para obter representações fidedignas dos fluxos superficiais, destacando explicitamente a superioridade dos modelos digitais de elevação do LiDAR em relação aos modelos SRTM.

Para a densidade de drenagem foi obtido o valor de 1.03 km/km², o que de acordo com a classificação de Vilella e Mattos (1975), indica que a drenagem da bacia é regular. Ferreira *et al.* (2010) obtiveram resultados similares acerca da densidade de drenagem para a bacia, constatando para o parâmetro o valor de 1.16 km/km², e atestando-a como uma de drenagem

pobre, apesar da também identificada ramificação da rede de drenagem. Os autores contribuem ainda para a compreensão do comportamento hidrológico da bacia, quando atestam que para além dos padrões climáticos da região, a baixa densidade de drenagem da bacia do Riacho Cachoeira justifica a presença de reservatórios em sua extensão, indicando que estes reservatórios são indispensáveis para assegurar o acesso à água para a população abastecida. Tucci (2004) contribui para o entendimento da importância de se estimar a densidade de drenagem em uma bacia hidrográfica, a partir da seguinte constatação:

A densidade de drenagem é um indicador do relevo superficial e das características geológicas da bacia [...] permite avaliar a eficácia de drenagem de uma bacia, ou seja, a eficiência na concentração do escoamento superficial no exutório da bacia. Quanto maior a densidade de drenagem, maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos no exutório, bem como deflúvios de estiagem baixos. É um parâmetro utilizado para pré-avaliação em estudos de regionalização ou transposição de dados hidrológicos entre bacias de uma região, pois permite avaliar as semelhanças de escoamento entre bacias hidrográficas de tamanhos diferentes (TUCCI, 2004, p.47).

Um dos principais padrões a serem caracterizados na hidrografia de uma bacia é a extensão média do escoamento superficial, que quantifica a distância percorrida pela água das chuvas até desaguar nos cursos d'água de uma bacia (VILLELA e MATTOS, 1975). Para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, a extensão média do escoamento superficial estimada foi de 2,03 km, o que corrobora com os dados de densidade de drenagem, uma vez que a bacia, apesar de dispor de uma rede de drenagem extremamente ramificada, apresenta uma drenagem pobre.

O conhecimento das características hidrográficas de uma bacia é essencial para o planejamento do uso de seus recursos, pois como apontam Soares e Galvínio (2020), estes índices representam a expressão do comportamento da água em uma bacia, se caracterizando enquanto indispensáveis para um manejo de qualidade das áreas da bacia. Os resultados para os parâmetros hidrográficos da bacia do Riacho Cachoeira estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da caracterização hidrográfica da bacia do Riacho Cachoeira, PE

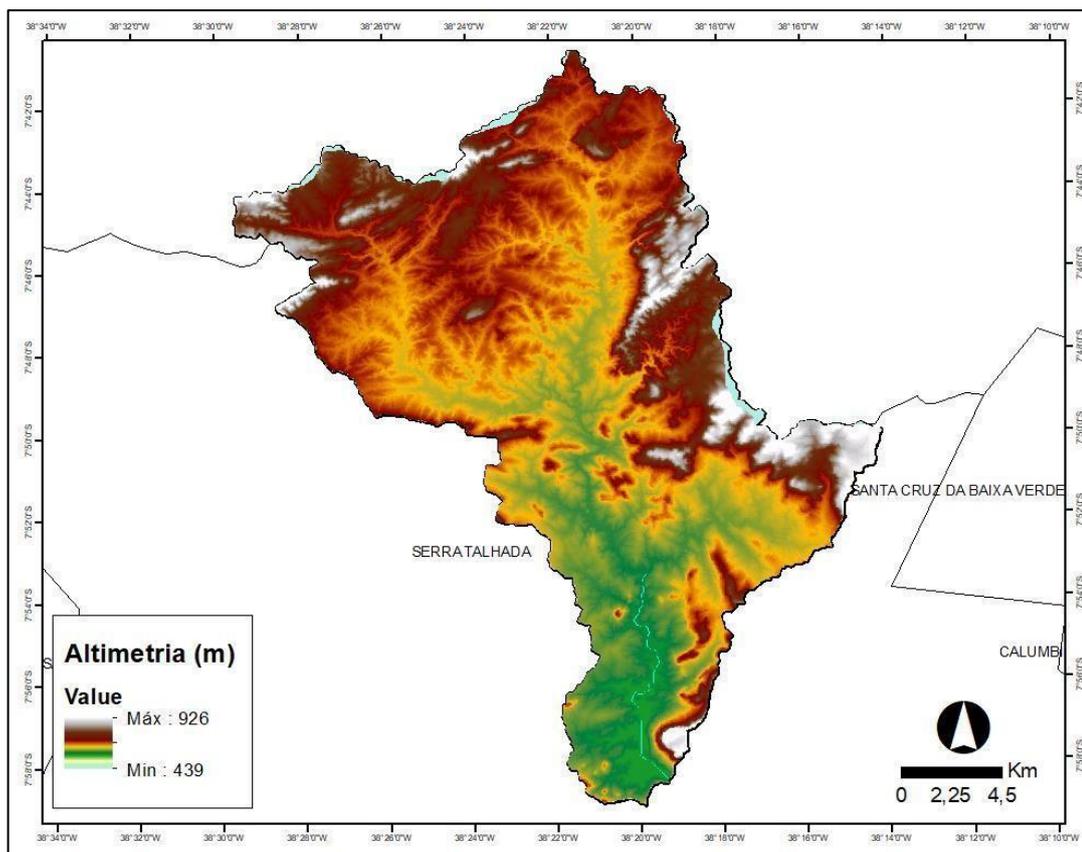
Parâmetros hidrográficos	
Parâmetros obtidos	Resultados
Ordem da bacia	5°
Comprimento do canal principal	48.28 km
Comprimento total dos cursos d'água	407.29 km
Densidade de drenagem	1.03 km/km ²
Extensão média do escoamento superficial	2,03 km

Fonte - Autores, 2023.

Caracterização topográfica

Soares e Galvêncio (2020) discorrem sobre a importância de se compreender a dinâmica altimétrica de uma bacia hidrográfica, uma vez que suas características indicam as áreas para onde confluirão e se acumularão fluxos superficiais de água. Para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, o mapa altimétrico (figura 5) indicou uma altura máxima de 926 m de altitude, e altitude mínima de 439 m, corroborando com os resultados apresentados por França (2017), que estimou uma variação de altitudes entre 250 m e 1000 m para a bacia hidrográfica do rio Pajeú. A amplitude altimétrica, parâmetro que expressa a diferença entre os extremos altimétricos em uma bacia hidrográfica, foi de 487 m.

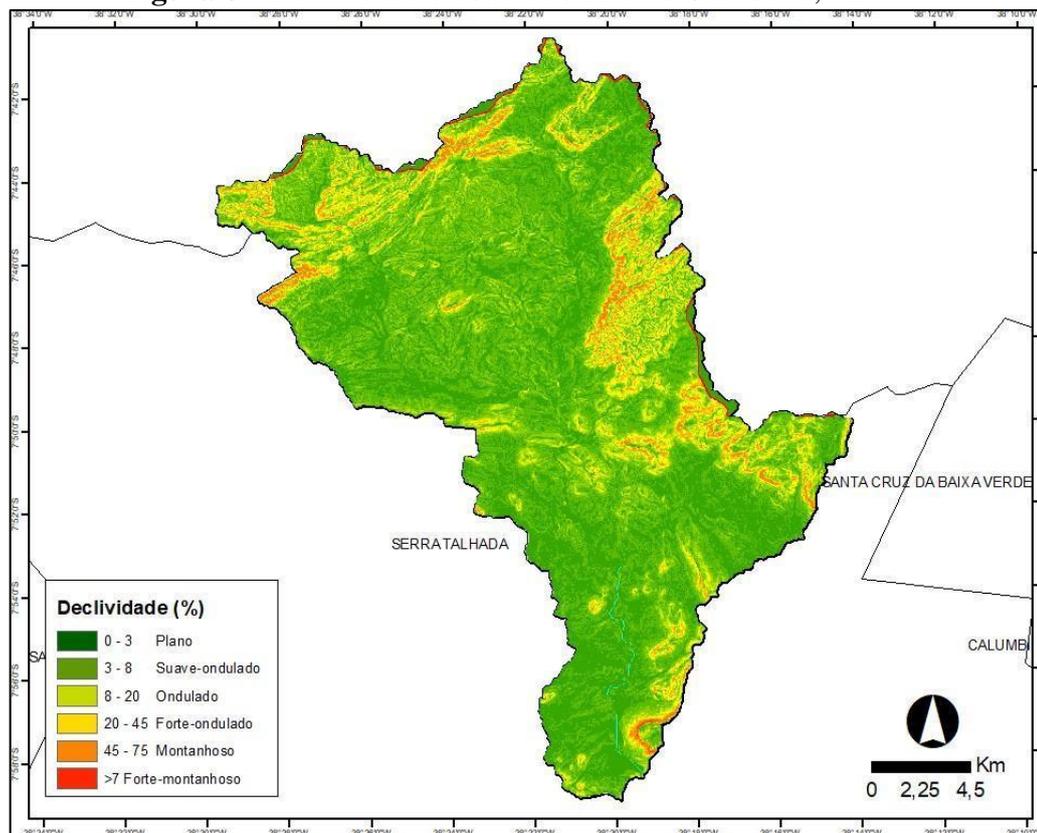
Figura 5 - Altimetria da bacia do Riacho Cachoeira, PE



Fonte - Autores, 2023.

A declividade é um parâmetro essencial para a compreensão do comportamento da água em bacias hidrográficas, uma vez que a orientação do terreno define o padrão de escoamento, como destacam Galvêncio *et al.* (2006). Analisando o mapa de declividade (figura 6) obtido para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, pode-se inferir que na área da bacia há uma predominância de relevos das classes baixas: plano, suave ondulado e ondulado. Esta configuração se dá principalmente, pelo fato da área da bacia estar inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, marcada por uma superfície de pediplanação monótona e de relevo majoritariamente suave-ondulado (CPRM, 2005). Segundo Galvêncio *et al.* (2006), bacias hidrográficas que apresentam suaves níveis de declividade, possuem escoamento superficial com baixa velocidade, portanto, são pouco propensas à ocorrência de inundações.

Figura 6 - Declividade da bacia do Riacho Cachoeira, PE



Fonte - Autores, 2023.

A relação de relevo obtida para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira foi de 10,08 m/km, o que segundo Pessoa Neto *et al.* (2021), apontam uma baixa declividade geral da bacia, indicando que a velocidade da água que escoar em direção ao canal principal também será baixa. O gradiente de canais estimado para a bacia foi de 19,18% de declividade, condizente com as características do relevo, que apresenta em praticamente toda a área da bacia níveis de declividade característicos de relevos plano a ondulado. Os padrões estimados para a caracterização do relevo estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da caracterização do relevo da bacia do Riacho Cachoeira, PE

Parâmetro de Relevo	
Parâmetros obtidos	Resultados
Altitude mínima	439 m
Altitude máxima	926 m
Amplitude altimétrica	487 m
Relação de Relevo	10,08 m/km
Gradiente de canais	19,18 %

Fonte - Autores, 2023.

Comparação dos resultados obtidos com o MDE LiDAR e o MDE SRTM

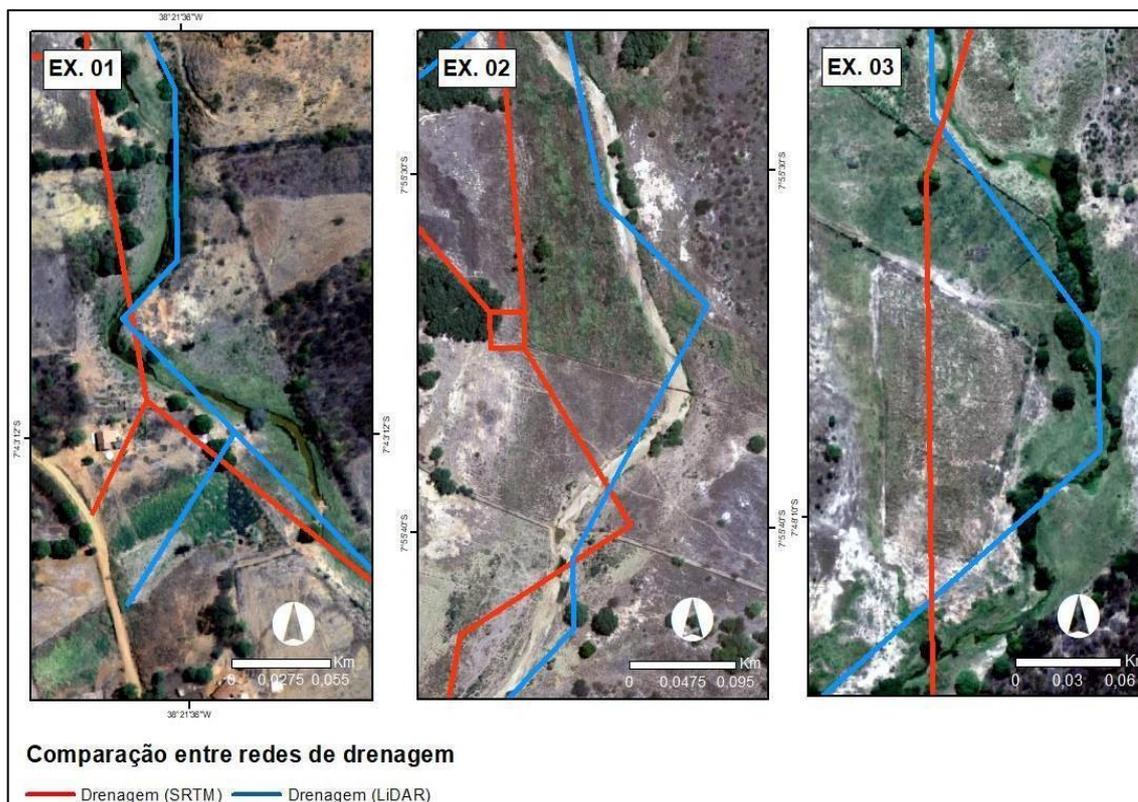
Segundo Silva *et al.* (2022, p. 02), os MDEs são: “representações matemáticas da topografia, servindo de suporte para o desenvolvimento de pesquisas e políticas”. Para a gestão de bacias hidrográficas, a qualidade dos dados é de extrema importância na estimativa dos parâmetros de drenagem, evidenciando a influência que a utilização de modelos digitais de alta resolução apresenta na obtenção de resultados de qualidade, que representem de forma realística os percursos e nuances dos corpos hídricos em uma bacia hidrográfica (BARROS e GALVÊNCIO, 2022; SOARES e GALVÊNCIO, 2020).

Barros e Galvêncio (2022) comprovaram em seu estudo, a superioridade dos dados LiDAR quando comparados aos SRTM na representação dos acúmulos de fluxos, ainda que ocorram erros de precisão e algumas incertezas na modelagem; evidenciando a eficácia da utilização de dados LiDAR em projetos de modelagem, que por sua vez, podem contribuir com a tomada de decisões na gestão da água. Portanto, entender as disparidades entre a rede de drenagem extraída através dos respectivos dados também é de extrema importância, uma vez que atesta a qualidade dos resultados obtidos a partir da modelagem de bacias hidrográficas com o LiDAR, e demonstra a eficácia do emprego de seus resultados para projetos de gestão eficazes.

Para tal, foram selecionados três exemplos entre as drenagens extraídas para a bacia do Riacho Cachoeira (figura 7), com o objetivo de identificar as disparidades na modelagem dos canais entre os dados de alta resolução do LiDAR e os dados SRTM para um mesmo ponto. Nos exemplos, é possível constatar a eficiência dos dados LiDAR no mapeamento das nuances dos canais mais sinuosos, em contrapartida a drenagem obtida com o SRTM apresenta generalizações grotescas na representação dos canais, como é possível observar no exemplo 3, onde a drenagem SRTM não mapeia a sinuosidade do canal, representando-o como retilíneo.

A influência da qualidade dos dados pode ser analisada a partir da comparação entre a caracterização fisiográfica proposta por Santos *et al.* (2021), que utilizaram como base para a modelagem os dados SRTM de 30 m de resolução, e o presente estudo que utiliza dados LiDAR de 1 m. Ainda que os resultados obtidos pelos autores indicassem em alguns índices as mesmas características que as aqui obtidas, há disparidades grosseiras entre as estimativas para a caracterização da rede de drenagem, evidenciando a influência da utilização de dados de alta resolução para o desenvolvimento de projetos encarregados da caracterização de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem.

Figura 7 - Comparação entre os canais obtidos com o LiDAR e com o SRTM



Fonte - Autores, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira evidenciam um cenário pouco propenso à ocorrência de enchentes, em decorrência principalmente da forma alongada atribuída à bacia através do cálculo dos índices geométricos. Com base nas características obtidas para a hidrografia da bacia, foi possível concluir que o escoamento superficial não é intenso e que sua rede de drenagem, apesar de altamente ramificada, não é eficiente. A caracterização do relevo da bacia indicou um cenário de baixa propensão a acúmulo superficial, uma vez que se apresenta em classes de baixa declividade, ainda que apresente consideráveis níveis de altitude. Quanto à extração da rede de drenagens da bacia, foi possível atestar os grandes níveis de ramificação para a drenagem e as sinuosidades de seus canais, principalmente ao comparar os resultados obtidos através dos dados LiDAR com os obtidos a partir dos dados SRTM, onde ficou clara a superioridade do primeiro produto no que se refere à precisão e ao detalhamento das propriedades dos cursos d'água, evidenciando o LiDAR como uma excelente fonte de dados para o desenvolvimento de projetos de planejamento hídrico para o estado de Pernambuco, tendo em vista a disponibilidade e a qualidade dos dados para a modelagem hidrológica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa do Nível Superior (CAPES), pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado aos três primeiros autores. À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), por disponibilizar toda a estrutura técnica e organizacional necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas - Rio Pajeú**. Disponível em: <<http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/207-bacia-do-rio-terra-nova>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

BANDIM, C. G. A.; GALVÍNIO, 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 p. 058-067, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p058-067>.

BARGOS, D. C. **Caracterização de Bacias Hidrográficas**. E-disciplinas USP, 3 abr. 2019.
BARROS, J. P. F. G.; GALVÍNIO, J. D. Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do rio Una e Mundaú utilizando dados do LiDAR, Pernambuco 3D. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2671-2688, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2671-2688>.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BROWN, J. D. *et al.* Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom. **Water Resources Research**, v. 43, n. 6, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005WR004597>.

CIRILO, J. A. *et al.* Pernambuco tridimensional: base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. **Anais do Silusba - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa**, 2015.

CHORLEY, R. H., RE 1945: Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America** 56, 2 75-3 70. Progress in Physical Geography, v. 19, n. 4, p. 533-554, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913339501900406>.

COELHO, V. H. R. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 64-72, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100009>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Diagnóstico do Município de Serra Talhada**. 2005.

DA FONSECA NETO, G. C. *et al.* Modelagem Bidimensional para a Verificação Hidráulica da Canalização de um Trecho do Rio Fragoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2963-2977, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2963-2977>.

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

FEITOZA, M. A. B. **Aplicação de modelo de simulação hidrológica com regionalização de parâmetros para regiões semiáridas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

FERREIRA, C. W. S. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada - PE, Brasil. In: **Anais do VI Simpósio Latino-Americano de Geografia Física**, Coimbra, 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/20915885-Caracterizacao-morfometrica-da-bacia-hidrografica-do-acude-cachoeira-ii-no-municipio-de-serra-talhada-pe-brasil.html>>. Acesso: 25 ago. 2023.

FEWTRELL, T. J. *et al.* Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. **Physics and Chemistry of the Earth**, Parts A/B/C, v. 36, n. 7-8, p. 281-291, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.011>.

FRANÇA, L. M. de A. **Impacto das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

GALLEGOS, H. A. *et al.* Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam- break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. **Advances in Water Resources**, v. 32, n. 8, p. 1323-1335, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.05.008>.

GALVÊNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S. Uso do TOPAZ para caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul. v. 9, n. 4, p. 69-75, 2004.

GALVÊNCIO, J. D. *et al.* Análise do relevo da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, n. 1, p. 54-69, 2006.

GOMES, M. M. D. A. **Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na Bacia do Rio Capibaribe**. 2019. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco.

HSU, M.; CHEN, S.; CHANG, T. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. **Journal of Hydrology**, v. 234, n. 1-2, p. 21-37, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00237-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00237-7).

HUNTER, N. M. *et al.* Benchmarking 2D hydraulic models for urban flooding. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management**. Thomas Telford Ltd, 2008. p. 13-30. DOI: <https://doi.org/10.1680/wama.2008.161.1.13>.

LIMA, A. de S. *et al.* O uso dos dados lidar para a compreensão da dinâmica de escoamento e acúmulo de águas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 06, p. 3255-3278, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3255-3278>.

MASON, D. C. *et al.* Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 21, n. 11, p. 1436-1447, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.6343>.

NEAL, J. C. *et al.* Distributed whole city water level measurements from the Carlisle 2005 urban flood event and comparison with hydraulic model simulations. **Journal of Hydrology**, v. 368, n. 1-4, p. 42-55, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.01.026>.

OZDEMIR, H. *et al.* Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 10, p. 4015-4030, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-4015-2013>.

PESSOA NETO, A. G. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação provenientes de sensor LiDAR. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 11, p. 242-253, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29150/2237-2202.2021.252364>.

RIBEIRO, A. A. D. S. *et al.* Reconstituição de manchas de inundação baseada em dados coletados via smartphones: uma abordagem metodológica para o mapeamento de riscos hidrológicos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190179>.

RODRIGUEZ, L. C. E. *et al.* Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp no Brasil. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, p. 67–80, 2010.

SAMPSON, C. C. *et al.* Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. **Advances in water resources**, v. 41, p. 1-17, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.02.010>.

SANTANA, S. H. C. de *et al.* Método de Análise de Biomassa em um fragmento florestal de Pinus Uncinata. **Mercator** (Fortaleza), v. 20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2021.e20001>.

SANTOS, A. G. B. dos *et al.* Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 1036-1043, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1036-1043>.

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, p. 597- 646, 1956. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).

SOARES, G. A. S.; GALVÍNIO, 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, [S.L.], v. 13, n. 07, p. 3659-3674, 31 dez. 2020.
<http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3659-3674>.

SILVA, J. F. da *et al.* Análise dos Modelos Digitais de Elevação (PE3D, SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TANDEM-X, ALOS PALSAR e ALOS AW3D30) e a necessidade da produção de dados altimétricos em excelência no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1543-1555, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1543-1555>.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952. DOI:
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2).

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957. DOI:
<https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.

TSUBAKI, R.; FUJITA, I. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*, v. 24, n. 11, p.1404-1420, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7608>.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

VANZELA, L. *et al.* Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 55-64, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>.

VERÇOSA, L. F. de M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica aplicada à avaliação da ocorrência de inundações na cidade de Recife, PE**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 24 ago. 2023.

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

Artigo recebido em: 01 de março de 2024.

Artigo aceito em: 22 de julho de 2024.

Artigo publicado em: 13 de setembro de 2024.