ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS*

Ênio Gomes Flôr Souza¹, Antônio Henrique Cardoso do Nascimento², Ellen Abreu da Cruz⁴, Dalbert de Freitas Pereira⁵, Raquel Soares da Silva⁶, Thiago Pereira da Silva⁷, Winandy Araújo Freire⁸

¹ Professor do Curso de Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Campus Piranhas, CEP: 57.460-000, Piranhas (AL), Brasil, Tel.: (+55 87) 99637-1428, enio.souza@ifal.edu.br (autor correspondente). ³ Professor dos Cursos de Engenharia Agrônoma, Engenharia de Pesca e Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), CEP 56.909-535, Serra Talhada (PE), Brasil, Tel.: (+55 87) 98852-5129, tonyagronomia@gmail.com. ⁴ Professora do Curso de Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Campus Piranhas, CEP: 57.460-000, Piranhas (AL), Brasil, Tel.: (+55 73) 99111-2933, ellen.cruz@ifal.edu.br. ⁵ Graduando em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Campus Piranhas, CEP: 57.460-000, Piranhas (AL), Brasil, Tel.: (+55 82) 98887-4576, dalbert.freitas@gmail.com. ⁶ Graduando em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Campus Piranhas, CEP: 57.460-000, Piranhas (AL), Brasil, Tel.: (+55 82) 98108-6714, raquel.ssm16@hotmail.com. ⁷ Graduando em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Campus Piranhas, CEP: 57.460-000, Piranhas (AL), Brasil, Tel.: (+55 82) 98855-9531, thiagopdseng@gmail.com. ⁸ Graduando em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Campus Piranhas, CEP: 57.460-000, Piranhas (AL), Brasil, Tel.: (+55 82) 98751-5914, araujo.winandy@gmail.com. * Trabalho de conclusão de curso do primeiro autor, apresentado ao Curso de Especialização em Georreferenciamento e Geoprocessamento do Instituto Nacional de Ensino e Pesquisa (INESP).

Artigo recebido em 04/04/2020 e aceito em 29/06/2021

RESUMO

A bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco, tem importante papel ao atender as demandas hídricas de animais, culturas agrícolas e da população local, sendo fundamental estudá-la de maneira mais específica, a fim de que sejam geradas informações que subsidiem a gestão de seus recursos ambientais. O objetivo deste estudo foi delimitar a bacia hidrográfica do Riacho do Navio e descrever suas características morfométricas (forma, rede de drenagem e relevo) a partir de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) processados no programa livre Quantum GIS (QGIS), via a ferramenta *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM). A bacia em questão possui 3.312,97 km², sendo considerada de quinta ordem, com densidade de drenagem de 0,50 km km⁻². Observou-se que a declividade média foi de 5,23%, sendo que mais de 86,61% da área da bacia apresentou declividades menores que 8%. O fator de forma, o coeficiente de compactidade e o índice de circularidade atingiram valores de 0,29; 2,10 e 0,22, indicando que a bacia possui formato alongado e, por conseguinte, baixa tendência a enchentes. Por outro lado, a sinuosidade e a declividade média do álveo podem favorecer a ocorrência de cheias em situações de chuvas intensas. O uso do QGIS e do TauDEM para tratamento de imagens SRTM se mostrou uma ferramenta eficiente, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do Riacho do Navio.

Palavras-chave: análise fisiográfica, Hidrologia, modelo digital de elevação, Semiárido, TauDEM.

Delimitation and morphometric characterization of the hydrographic basin of Riacho do Navio, Pernambuco, based on SRTM data processed at QGIS

ABSTRACT

The Riacho do Navio watershed, in Pernambuco, has an important role in meeting the water demands of animals, agricultural crops and the local population, and it is essential to study it more specifically, in order to generate information that supports the management of its environmental resources. The objective of this study was to delimit the Riacho do Navio watershed and describe its morphometric characteristics (shape, drainage network and relief) from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data, processed in the free program Quantum GIS (QGIS), via the Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM) tool. The watershed in question has 3,312.97 km², being considered of fifth order, with drainage density of 0.50 km km⁻². It was observed that the average slope was 5.23%, with more than 86.61% of the watershed area showing slopes less than 8%. The shape factor, the compactness coefficient and the circularity index reached values of 0.29; 2.10 and 0.22, indicating that the watershed has an elongated shape and, therefore, low tendency

1530

to flooding. On the other hand, the sinuosity and the average slope of the riverbed can favor the occurrence of floods in situations of intense rains. The use of QGIS and TauDEM for the treatment of SRTM images proved to be an efficient tool, which can assist in the management and administration of water resources in the Riacho do Navio watershed.

Keywords: physiographic analysis, Hydrology, digital elevation model, Semiarid, TauDEM.

Introdução

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (Tucci, 2015; Rocha e Santos, 2018). Espacialmente, a bacia hidrográfica é delimitada por um divisor topográfico, que consiste em uma linha que passa pelos pontos mais altos do terreno (topos de morros), ao redor de uma rede de drenagem (Silva, 2015).

Um dos maiores entraves na adoção e proposição metodológica das bacias hidrográficas, enquanto unidades espaciais para o planejamento ambiental integrado, reside nas suas múltiplas dimensões e expressões espaciais (Botelho e Silva, 2004). Entretanto, dentre as principais ferramentas computacionais do Geoprocessamento está o Sistema de Informação Geográfica (SIG), o qual possibilita a realização de análises complexas, ao integrar dados de várias fontes e criar banco de dados georreferenciados, no qual possibilitam a automatização da produção de materiais cartográficos (Silva, Mariani e González, 2012; Sánchez, Chávez e Gonzalez et al., 2019).

Com as aplicações do SIG, a geração de modelos digitais de elevação (MDE) a partir de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) permite a reprodução com exatidão do caminho preferencial de escoamento da água superficial (Medeiros, Ferreira e Ferreira, 2009; Alves Sobrinho et al., 2010; Schmitt e Moreira, 2015; Rodrigues et al., 2018; Girão, et al., 2019; Gomes et al., 2020) e, assim, podem ser derivadas características e índices físicos de uma bacia hidrográfica de forma mais precisa, tais como a forma, as dimensões, o sistema de drenagem e o relevo, os quais são fundamentais para o estabelecimento de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos de uma unidade territorial (Brasil, 1997; Martins et al., 2021; Toniolo et al., 2021).

Quanto ao emprego de geotecnologias para a delimitação de bacias hidrográficas, percebe-se, na literatura, a busca pela utilização de programas livres, como o Quantum GIS – QGIS (QGIS, 2020), o qual permite a automação dos processos de extração das características do meio físico com elevada eficiência, proporcionando economia de tempo (Silva et al., 2018; Fernandes, Oliveira e

Rocha, 2018; Flenniken, Stuglik e Iannone, 2020). Associado ao QGIS, alguns autores, como Schmitt e Moreira (2015), Costa, Souza e Silva (2016) e Pontes et al. (2019) delimitaram automaticamente bacias hidrográficas com o auxílio da ferramenta gratuita *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* – TauDEM (Tarboton, 2020), que possibilita extrair informações hidrológicas da topografia por meio do MDE.

O estudo de caso apresentado neste artigo refere-se à área de drenagem do Riacho do Navio, a qual se insere na bacia do rio Pajeú, a maior do estado de Pernambuco, possuindo uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área do Estado (APAC, 2020). Na literatura, há trabalhos sobre a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pajeú (Feitosa, Santos e Araújo, 2011; Oliveira et al., 2012; Ferreira et al., 2014; Ribeiro, 2016), porém são escassas as informações hidrológicas específicas sobre a área de contribuição do Riacho do Navio (Nouvelot, Ferreira e Cadier, 1979; Falcão e Leal, 1980; Cadier, 1994), sendo fundamental o levantamento desses dados para fins de projeção de uso do manancial em políticas públicas importantes, como na gestão atual de suas águas e na sua perenização a partir do Projeto de Transposição do Rio São Francisco (Souza, 2019).

Assim, o objetivo deste estudo foi delimitar a bacia hidrográfica do Riacho do Navio e descrever suas características e índices morfométricos (forma, rede de drenagem e relevo) a partir de dados SRTM processados no programa livre QGIS, via a ferramenta TauDEM.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de análise e estudo morfométrico corresponde à bacia hidrográfica do Riacho do Navio, localizada nas coordenadas geográficas entre 08° 03' 55,51" e 08° 42' 22,5" de latitude sul, e 37° 46' 10,56" e 38° 34' 43,32" de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Floresta, Betânia, Custódia e Ibimirim, no Estado de Pernambuco (Figura 1). A bacia do Riacho do Navio, por sua vez, está inserida na bacia hidrográfica do rio Pajeú, porção Centro-Oeste de

Pernambuco. Tem uma área de drenagem de 3.312,97 km², perímetro de 432,48 km, 140,78 km de comprimento do curso d'água principal e tem

sua foz no rio Pajeú na cidade de Floresta. O curso do Riacho do Navio tem a direção no sentido nordeste-sudoeste.

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco.

Processamento dos dados SRTM

Obteve-se os dados SRTM junto à Embrapa Monitoramento por Satélite (Miranda, 2005), utilizando a carta SC-24-X-A, cujos dados altimétricos apresentam resolução espacial de 90 m x 90 m. Para a extração das redes de drenagem, o MDE passou pelos tratamentos descritos abaixo com o auxílio dos programas livres QGIS versão 2.18.7 e TauDEM versão 5.3.7, sendo este composto por ferramentas para a extração e análise de informações hidrológicas.

Inicialmente foram eliminados os *pixels* sem valores de elevação, originando um novo MDE. A partir de então foi possível gerar os mapas com as informações de direções de fluxo e de declividade. Tais informações foram necessárias para a composição do mapa da área de contribuição de fluxo. Com a origem deste, pode-se obter a área de contribuição correspondente aos limites da bacia hidrográfica determinado a partir do ponto exutório, permitindo a primeira visualização da rede de drenagem (Lopes, Leal e Ramos, 2018).

A definição dos corpos hídricos passou por um reajuste do limiar que se refere ao número mínimo de células do terreno necessárias para gerar *pixels* da drenagem, permitindo a extração do fluxo e de drenagem. Rennó et al. (2008), estudando a variação do limiar, observou que índice para verificação hidrológica acima do limiar de 300 foi o mais indicado. Assim para este estudo foi adotado também o valor de limiar indicado pelos autores na extração do fluxo de drenagem.

Diante do reajuste do limiar, obteve-se a hierarquia dos rios, as sub-bacias e a rede de drenagem. O método utilizado para demarcação automática dos limites da bacia hidrográfica do Riacho do Navio foi de acordo com classificação da hierarquização fluvial proposta por Strahler (1957). Assim, finalizou-se a etapa de geração de mapas e iniciou-se a caracterização da bacia e sub-bacias, que ocorreu utilizando recursos de sistemas de informações geográficas (SIG) e as equações da Tabela 1.

A caracterização foi realizada por meio de cálculos geométricos que relacionaram as principais medidas da bacia como área de drenagem, perímetro, comprimento do eixo

principal da bacia, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e razão de alongação.

Tabela 1. Equações para cálculo dos índices geométricos, hidrográficos e de relevo, utilizados para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO	FONTE
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS			
Coeficiente de compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P, km) da bacia e a área da bacia (A, km ²).	$Kc = 0,28 (P/A^{0.5})$	Lima (1969)
Fator de forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A, km ²) e o comprimento do eixo da bacia (L, km).	$Kf = A/L^2$	Horton (1945)
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS			
Índice de circularidade (Ic)	Relação entre a área da bacia (A, km ²) e o perímetro (P, km) da bacia.	$Ic = 12,57 (A/P^2)$	Müller (1953)
Razão de alongação (Re)	Relação entre índices pré determinados, a área da bacia (A, km ²) e o comprimento do eixo da bacia (L, km).	$Re = 1,128 [(A^{0.5})/L]$	Schumm (1963)
CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS			
Densidade de drenagem (Dd, km km ⁻²)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Rd, km) e a área da bacia (A, km ²).	$Dd = Rd/A$	Horton (1945)
Densidade hidrográfica (Dh, km ⁻²)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A, km ²).	$Dh = Nt/A$	Christofolletti (1969)
Extensão média do escoamento superficial (Lm, km)	Relação entre a área da bacia (A, km ²) e o comprimento da rede de drenagem (Rd, km).	$Lm = A/4Rd$	Villela e Matos (1975)
Índice de sinuosidade do rio principal (Is, %)	Relação entre o comprimento rio principal (R, km) e o comprimento do talvegue do rio principal (Lrp, km).	$Is = 100(R-Lrp)/R$	Schumm (1963)
Sinuosidade do rio principal (Srp)	Relação entre o comprimento rio principal (R, km) e o comprimento do talvegue do rio principal (Lrp, km).	$Srp = R/Lrp$	Schumm (1963)
Razão de textura (T, km ⁻¹)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P, km).	$T = Nt/P$	Smith (1950) e França (1968)
CARACTERÍSTICAS DO RELEVO			
Declividade do rio principal (m m ⁻¹)	Relação da variação da cota (ΔH) e do comprimento do rio principal (R);	$S1 = (Cota_{max} - Cota_{min})/R$	Villela e Matos (1975)
Índice de rugosidade (Ir)	Relação entre a amplitude altimétrica (ΔH, km) e a Densidade de drenagem (Dd, km km ⁻²).	$Ir = ΔH * Dd$	Christofolletti (1969)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a amplitude altimétrica (ΔH, km) e o comprimento do eixo da bacia (L, km).	$Rr = ΔH/L$	Christofolletti (1969)

Para as características da hidrografia, que relacionam as principais medidas da rede hidrográfica da bacia, foram determinados o ordenamento dos canais por hierarquia segundo Strahler (1957), o comprimento da rede de drenagem, o comprimento do rio principal, o comprimento do talvegue do rio principal, a densidade de drenagem, a densidade hidrográfica, extensão média do escoamento superficial, o índice de sinuosidade, a sinuosidade do curso principal e a razão de textura.

As características do relevo que relacionam as principais medidas do comportamento das altitudes e declividades na

bacia foram determinadas por meio das curvas hipsométrica e de declividade (Villela e Mattos, 1975), além da declividade média do rio principal, do índice de rugosidade e da razão de relevo.

Resultados e discussão

Características geométricas

Os índices originários da caracterização geométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio são apresentados na Tabela 2. Segundo Tucci (2015), uma característica de fundamental importância na definição da sua potencialidade hídrica e hidrológica é a área da bacia, sendo que

quanto maior a área, menor a tendência de ocorrer picos de enchentes, devido ao tempo de escoamento para toda a bacia.

Com a delimitação da bacia, obteve-se um valor de área de 3.312,97 km² e perímetro de 432,48 km (Tabela 2). O valor de comprimento do eixo principal da bacia foi de 106,06 km, permitindo um conhecimento da forma da bacia, ou seja, se esta é mais alongada ou circular, quando associado a outras características.

Tabela 2. Características e índices geométricos da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	VALOR
Área de drenagem (A)	3.312,97 km ²
Perímetro (P)	432,48 km
Comprimento do eixo (L)	106,06 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,10
Fator de forma (Kf)	0,29
Índice de circularidade (Ic)	0,22
Razão de alongação (Re)	0,61

Por meio da obtenção do coeficiente de compacidade (Kc), 2,10 (Tabela 2), classifica-se a bacia com pouca suscetibilidade a enchentes em condições médias de precipitação. Segundo Villela e Mattos (1975), quanto mais o coeficiente de compacidade se aproxima de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas. Quanto ao fator de forma (Kf), foi obtido um valor de 0,29, refletindo em uma menor probabilidade de ocorrer na bacia uma chuva intensa que atinja toda sua extensão, comparada com outra bacia de mesma área e menor comprimento axial. Os valores desses índices geométricos foram semelhantes aos observados por Oliveira et al. (2012) ao estudar a bacia hidrográfica do rio Pajeú. Entretanto, Gomes et al. (2020), ao analisar a bacia do rio Exu, localizado na mesorregião do Sertão do Alto rio Pajeú, relataram Kc de 1,62 e Kf de 0,39 (indicando formato mais circular).

A caracterização do fator de forma pode ser complementada com o índice de circularidade e a razão de alongação, sendo 0,22 e 0,61, respectivamente, para a bacia hidrográfica do Riacho do Navio (Tabela 2). Esses índices indicam que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada, corroborando com o valor do fator de forma. Resultados semelhantes foram observados por Andrade et al. (2008) para a bacia

hidrográfica do rio Manso-MT, Lopes, Leal e Ramos (2018), para bacia hidrográfica do rio Pontal-PE, e Martins et al. (2021) para a bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras-TO, definindo-as como pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação.

A bacia hidrográfica do Riacho do Navio apresenta áreas de caatinga arbustiva, com solos rasos e intensos processos de desmatamento e de uso da terra próximo ao curso d'água principal (Araújo Filho et al., 2001; Feitosa, Santos e Araújo, 2011; Ribeiro, 2016), que associados à ocorrência de chuvas intensas no período chuvoso promovem, na realidade, eventos de enchente na região. A estimativa desses índices e o acompanhamento das vazões máximas do Riacho do Navio, a partir de chuvas intensas, seria fundamental para a adoção de medidas mitigadoras do efeito das cheias, como a preservação e/ou recomposição de áreas de preservação permanente (matas ciliares, por exemplo).

Características hidrográficas

Os índices morfométricos de caracterização hidrográfica são apresentados na Tabela 3. As principais medidas da drenagem da bacia hidrográfica do Riacho do Navio são comprimento do rio principal de 141,32 km e o comprimento do talvegue do rio principal de 103,97 km. Pode-se verificar também um quantitativo de 1.669,41 km de comprimento da rede de drenagem em toda a extensão da bacia e 667 unidades de seguimentos de córregos d'água, sendo 334 de primeira ordem (845,42 km), 166 de segunda ordem (467,88 km), 88 de terceira ordem (200,88 km), 33 de quarta ordem (77,64 km) e 46 de quinta ordem (77,59 km). Essa quantificação vai influenciar diretamente nas características de densidade de drenagem, densidade hidrográfica e razão de textura.

As densidades de drenagem e hidrográfica foram da ordem de 0,50 km km⁻² e 0,20 segmentos de rios por km² da bacia, respectivamente (Tabela 3). A densidade de drenagem pode ser classificada no limite entre uma drenagem pobre e regular (Villela e Matos, 1975). Para Milani e Canali (2000), a densidade de drenagem reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e, consequentemente, a suscetibilidade à erosão. Segundo Feitosa, Santos e Araújo (2011), a bacia hidrográfica do rio Pajeú, a qual o Riacho do Navio se insere, possui um baixo desenvolvimento do sistema de drenagem, podendo estar relacionado com as características naturais do clima na região

Semiárida, com baixos valores de precipitação anual e chuvas concentradas num curto período.

Tabela 3. Características e índices hidrográficos da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS	VALOR
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	1.669,41 km
Número de segmentos de rios de 1ª ordem (Nt)	334
Comprimento do rio principal (R)	141,32 km
Comprimento do talvegue do rio principal (Lrp)	103,97 km
Densidade de drenagem (Dd)	0,50 km km ⁻²
Densidade hidrográfica (Dh)	0,20 km ⁻²
Extensão média do escoamento superficial (Lm)	0,50 km
Índice de sinuosidade do rio principal (IS)	26,43%
Sinuosidade do rio principal (Sin)	1,36
Razão de textura (T)	1,54 km ⁻¹

Observa-se que o sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Riacho do Navio é do tipo dendrítica, de acordo com a classificação de Christofletti (1980), sendo considerada de quinta ordem (Figura 2), após a análise do mapa de drenagem pelo critério de Strahler (1957). A extensão média do escoamento superficial foi de 0,50 km e a razão de textura foi de 1,54 segmentos de rios por km (Tabela 3). Considera-se que, quanto mais ramificada a rede, mais eficiente a drenagem, consequentemente, a água precipitada, depois de ter iniciado o escoamento superficial, vai percorrer uma extensão menor até encontrar um curso d'água (Vilela e Matos, 1975). Em relação aos resultados de índice de sinuosidade e sinuosidade do rio principal, os valores obtidos foram de 26,43% e 1,36, respectivamente, indicando que o corpo hídrico tem poucas irregularidades e apresenta um padrão retilíneo (Christofletti, 1980).

Características de relevo

A avaliação das características da bacia hidrográfica do Riacho do Navio permitiu a observação do comportamento espacial da altitude, por meio do MDE (mapa hipsométrico) apresentado na Figura 3.

Com a visualização da Figura 3, fica evidente a relação entre o modelo digital de elevação e a representação da rede de fluxo, o que possibilita a determinação de todas as

conectividades a montante e a jusante dos cursos d'água (Lopes, Leal e Ramos, 2018). Essa relação, que é implícita, foi complementada por Medeiros, Ferreira e Ferreira (2009), os quais relataram que em cada célula da estrutura de um MDE contempla um micromapeamento da direção de fluxo, o que torna possível e explícito a direção do fluxo de água para cada área estudada.

Na Tabela 4 constam as classes hipsométricas na bacia hidrográfica do Riacho do Navio com suas respectivas áreas e porcentagens em relação à área total da bacia. A maior ocorrência por classe de altitude foi de 400 a 500 m (51,78%), enquanto 94,20% da área tem entre 300 e 600 m.

Tabela 4. Área das classes hipsométricas da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

Classes hipsométricas (m)	Área (km ²)	Área (% do total)
300 – 400	671,95	20,28
400 – 500	1.715,59	51,78
500 – 600	733,56	22,14
600 – 700	140,30	4,23
700 – 800	41,15	1,24
800 – 900	8,78	0,27
900 – 1000	1,03	0,03
> 1000	0,61	0,02
Área total	3.312,97	100,00

Tabela 5. Características e índices de caracterização de relevo da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

CARACTERÍSTICAS DE RELEVO	VALOR
Altitude máxima da bacia	1.075,00 m
Altitude média da bacia	467,37 m
Altitude mínima da bacia	310,00 m
Amplitude altimétrica (ΔH)	765,00 m
Declividade máxima da bacia	128,40%
Declividade média da bacia	5,23%
Declividade mínima da bacia	0,00%
Índice de rugosidade (Ir)	0,38
Razão de relevo (Rr)	0,0072
Declividade média do rio principal (S1)	0,0019 m m ⁻¹

A altitude máxima da bacia e altitude mínima da bacia foi de 1.075,00 m e 310 m, respectivamente (Tabela 5). Dessa maneira, o valor encontrado para a amplitude altimétrica foi de 765 m. Essas características de amplitude pouco vão influenciar na quantidade de radiação que a bacia

hidrográfica intercepta e, por consequência, na evapotranspiração, temperatura e precipitação (Benatti et al., 2015). O índice de rugosidade e a razão de relevo foram de 0,38 e 0,0072, os quais

são considerados baixos e indicativos de baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes.

Figura 2. Representação da rede de drenagem e a hierarquia dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

Figura 3. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

A declividade média do rio principal (S1) é outro aspecto relevante, pois interfere na velocidade do escoamento da água no curso. Na bacia hidrográfica do Riacho do Navio, a foz do riacho encontra-se na cota de 311 m, e a nascente situa-se na cota de 576 m de altitude. No intervalo de 141,32 km com sentido de corrente de nordeste-sudoeste, o Riacho do Navio apresenta uma diferença de nível de 265 m, com valor de declividade média de $0,0019 \text{ m m}^{-1}$ (Tabela 5), portanto, mostra tendência a enchentes em razão dessa diferença de altitude e declividade (Vilella e Matos, 1975).

A partir do modelo digital de declividade, observou-se que a declividade máxima foi de 128,40%, a declividade média foi de 5,23% e mais de 86,61% da área da bacia apresentou declividades menores que 8% (Figura 4 e Tabela 6). Desta forma, caracteriza-se a bacia hidrográfica

do Riacho do Navio como de relevo plano a suave ondulado, semelhante à classificação encontrada por Lopes, Leal e Ramos (2018) para a bacia hidrográfica do rio Pontal, afluente do Rio São Francisco no Sertão Pernambucano.

Segundo Benatti et al. (2015), a declividade apresentada por uma bacia hidrográfica é um dos fatores que afeta consideravelmente a velocidade do escoamento superficial, reduzindo, assim, a infiltração da água no solo, que, em casos de ausência de cobertura vegetal e elevadas precipitações, potencializam o processo de erosão do solo e a ocorrência de enchentes. Alves et al. (2016) ressaltam que em regiões acima de 45% de declividade (0,42% da bacia hidrográfica do Riacho do Navio) deve ser caracterizada como área de preservação permanente, em conformidade com o novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651 (Brasil, 2012).

Figura 4. Representação do modelo digital de declividade da Bacia Hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

Tabela 6. Área das classes de declividade da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, em Pernambuco.

Classes de relevo	Declividade (%)	Área (km ²)	Área (% do total)
Plano	0 – 3	1.333,63	40,25
Suave ondulado	3 – 8	1.536,07	46,36
Ondulado	8 – 20	302,69	9,14
Forte ondulado	20 – 45	126,84	3,83
Montanhoso	45 – 75	13,11	0,40
Escarpado	> 75	0,65	0,02
Área total		3.312,97	100,00

Conclusões

Os índices de coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, razão de alongação, a densidade de drenagem e a declividade média do relevo indicam que a bacia apresenta uma baixa tendência a enchentes, enquanto que a sinuosidade e a declividade média do álveo podem favorecer a ocorrência de cheias em situações de chuvas intensas.

Por ser uma bacia hidrográfica de relevância agrícola para a região, fazem necessários estudos de uso e ocupação atual do solo, de aptidão agrícola detalhado e o levantamento da qualidade da água.

Os programas QGIS e TauDEM se mostraram ferramentas eficientes no que diz respeito à obtenção das características morfométricas da bacia, de uma forma simples e automatizada, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento de recursos hídricos.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Alagoas, pelo custeio do Curso de Especialização *Lato Sensu* em Georreferenciamento e Geoprocessamento, e a empresa HG2 pela promoção do curso.

Referências

- Alves Sobrinho, T., Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Ayres, F.M., 2010. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola* 30, 46-57.
- Alves, W.S., Scopel, I., Martins, A.P., Moraes, W.A., 2016. Análise morfométrica da bacia do Ribeirão das Abóboras, Rio Verde (GO). *Revista de Geociências* 35, 652-667.
- Andrade, N.L.R., Xavier, F.V., Alves, É.C.R.F., Silveira, A., Oliveira, C.U.R., 2008. Caracterização morfométrica e pluviométrica da Bacia do Rio Manso - MT. *Revista de Geociências* 27, 237-248.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2020. Bacias hidrográficas: rio Pajeú. Recife. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=20. Acesso: 29 fev. 2020.
- Araújo Filho, J.C., Silva, A.B., Silva, F.B.R., Leite, A.P., 2001. Diagnóstico ambiental do município de Floresta, Pernambuco. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. (Circular técnica, 10).
- Benatti, D.P., Tonello, K.C., Leite, E.L., Faria, L.C., 2015. Morfometria, uso e ocupação do solo de uma microbacia em Sete Barras, São Paulo. *Irriga* 20, 21-32.
- Botelho, R.G.M., Silva, A.S., 2004. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: Vitte, A.C., Guerra, A.J.T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Brasil, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 8 janeiro 1997.* Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso: 29 fev. 2020.
- Brasil, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 23 maio 2012.* Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso: 29 fev. 2020.
- Cadier, E., 1994. Hidrologia das pequenas bacias do Nordeste Semi-árido: transposição hidrológica. Recife: SUDENE, DPG, PRN, HME. 448 p. (Hidrologia, 31).
- Christofolletti, A., 1969. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Notícias Geomorfológicas* 18, 35-64.
- Christofolletti, A., 1980. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 200 p.
- Costa, F.R., Souza, R.F., Silva, S.M.P., 2016. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. *Sociedade & Natureza* 28, 429-442.
- Falcão, T.C.C., Leal, J.M., 1980. Estudo hidroquímico da bacia do Riacho do Navio-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., 1980, Recife. Anais... Recife: ABAS, 1980. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23953/16007>. Acesso: 29 fev. 2020.

- Feitosa, A., Santos, B., Araújo, M.S.B., 2011. Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4, 820-836.
- Fernandes, F., Oliveira, M.S.C., Rocha, F.A., 2018. Análise das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio de Ondas, BA. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento* 2, 55-71.
- Ferreira, P.S., Gomes, V.P., Santos, A.M., Morais, Y.C.B., Miranda, R.Q., Ferreira, J.M.S., Galvêncio, J.D., 2014. Análise do cenário de suscetibilidade à desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú – Estado de Pernambuco. *Scientia Plena* 10, 105401.
- Flenniken, J., Stuglik, S., Iannone, B., 2020. “Quantum GIS (QGIS): An Introduction to a Free Alternative to More Costly GIS Platforms”. *EDIS* 2020 2, 7.
- França, G.V., 1968. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Girão, R.S., Vicens, R.S., Fernandes, P.J.F., Barbalho, L.V., 2019. Avaliação da acurácia vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) para o estado do rio de janeiro através de algoritmos de automatização. *Revista Caminhos de Geografia* 20, 72-79.
- Gomes, C., Piscoya, V.C., Cavalcante, D.M., Santos, I.G.O., Cantalice, J.R.B., 2020. Bacia hidrográfica do Riacho Exú, semiárido pernambucano: caracterização hidromorfológica. *Ciência Agrícola* 18, 37-42.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.
- Lima, W. P., 1969. Manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Silvicultura. 18 p.
- Lopes, I., Leal, B.G., Ramos, C.M.C., 2018. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 8, 31-40.
- Martins, D.D.S., Camargo, R.V., Maciel, G.F., Serra, J.C.V., Zukowski Junior, J.Ca., 2021. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras no município de Palmas – TO. *Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica* 14, 377-391.
- Medeiros, L.C., Ferreira, N.C., Ferreira, L.G., 2009. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia* 61, 137-151.
- Milani, J.R., Canali, N.E., 2000. O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica. *Raega – O Espaço Geográfico em Análise* 4, 139-152.
- Miranda, E.E. (Coord.), 2005. Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso: 29 fev. 2020.
- Müller, V.C., 1953. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. n. 3. New York: Virginia and Tennessee/Dept. of Geology. p. 30.
- Nouvelot, J.F., Ferreira, P.A.S., Cadier, E., 1979. Bacia representativa do Riacho do Navio. Recife: SUDENE/DRN/Divisão de Hidrometeorologia. (Hidrologia, 6).
- Oliveira, S.D., Silva, M.T., Sousa, E.P., Silva, V.P.R., 2012. Determinação automática de parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE a partir de MDE. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 1., 2012, Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFCG. Disponível em: http://editorarealize.com.br/revistas/aguanosem iariado/trabalhos/Modalidade_4datahora_11_11_2013_19_10_01_idinscrito_438_99a0121df86f10492f744f2c5df3285a.pdf. Acesso: 29 fev. 2020.
- Pontes, J.I., Melo, M.F.O., Lima, V.N., Alcântara, L.A., 2019. Pernambuco tridimensional: potencialidade de geração de produtos cartográficos de apoio a gestão de bacias hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. Anais... Santos: INPE. Disponível em: https://proceedings.science/proceedings/100063/_papers/97532/download/abstract_file1?lang=en. Acesso: 29 fev. 2020.
- QGIS, 2020. Quantum Gis: um sistema de informação geográfica livre e aberto. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso: 29 fev. 2020.
- Rennó, C.D., Nobre, A.D., Cuartas, L.A., Soares, J.V., Hodnett, M.G., Tomasella, J., Waterloo,

- M., 2008. A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment* 112, 3469-3481.
- Ribeiro, E.P., 2016. Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Rocha, P.C., Santos, A.A., 2018. Análise hidrológica em bacias hidrográficas. *Mercator* 17, e17025.
- Rodrigues, A.C.F., Silva, C.W.G., Rodrigues, E.S.R., Galvão, S.R.S., Caldas, A.M., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova – PE. *Revista Semiárido De Visu* 8, 3-14.
- Sánchez, B.L.M., Chávez, E.S., Gonzalez, A.Z.D., 2019. Cartografia das paisagens com sistemas de informação geográfica como base para o diagnóstico geoecológico da bacia hidrográfica do rio Ariguanabo (Cuba). *Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia* 15, 169-194.
- Schimitt, A., Moreira, C.R., 2015. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software Quantum-GIS. *Revista Cultivando o Saber Edição Especial*, 125-137.
- Schumm, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin* 74, 1089-1100.
- Silva, A.C.C., Mariani, L., González, R.H.A., 2012. Fundamentos da gestão territorial para recursos hídricos e caracterização de bacias hidrográficas: unidade 1. Agência Nacional das Águas – ANA. Curso de Gestão Territorial para Recursos Hídricos com Software Livre de Código Aberto. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/images/stories/MOOCs/GestaoRHCA/materiais/Unidade1.pdf>. Acesso: 29 fev. 2020.
- Silva, G.C., Almeida, F.P., Almeida, R.T.S., Mesquita, M., Alves Junior, J., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*. 15, 244-255.
- Silva, L.P., 2015. Hidrologia: engenharia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier. 330 p.
- Smith, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science* 248, 655-668.
- Souza, E.G.F., 2019. Prognóstico da demanda hídrica do Açude Barra do Juá e Riacho do Navio, em Floresta-PE, frente à Transposição do Rio São Francisco. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union* 38, 913-920.
- Tarboton, D.G., 2020. Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM). Disponível: <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/index.html>. Acesso: 29 fev. 2020.
- Toniolo, B.P., Oliveira, R.A., Lourenço, R.W., Silva, D.C.C., 2021. Indicadores morfométricos como instrumento de gestão da bacia hidrográfica do rio Cotia (SP). *Holos Environment* 21, 282-302.
- Tucci, C.E.M., 2015. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 944 p.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245 p.