

Characterization of the Physiography and Morphology of the Watershed of the Ipojuca-PE River using Geotechnologies

Layane Carmem A. da Rocha^{1*}, George do N. Ribeiro², José H. S. de Sousa³, Paulo R. M. Francisco⁴ Wesley dos Santos Carvalho^{5*}

¹Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, layane.rocha@ufv.br,

²Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george@ufcg.edu.br

³Graduando em Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, jose.hugo@estudante.ufcg.edu.br

⁴Doutorando em Eng. Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

⁵ Universidade Católica Dom Bosco <http://orcid.org/0000-0003-1244-893X>

Received 23 March 2023, Accepted 27 November 2023

ABSTRACT

The physiographic and morphological characteristics of watersheds is one of the main procedures performed in the hydrological and environmental analysis to understand its local and regional dynamics and subsidize the management of water resources. This work aimed to analyze the physiography and morphology of the Ipojuca-PE river basin, integrating a database related to the watershed using remote sensing and computational modeling tools in Geographic Information System. For the processing of morphological and physiographic data, QGIS 2.18 was used. Through the results obtained, the watershed of the river Ipojuca-PE, has an elongated shape, however, it indicated a low inclination to the occurrence of floods, evidenced by the parameters. It presented moderate erosive processes evidenced by its low flow frequency. The predominant relief is undulating and rich in coastal areas. The use of geotechnologies proved to be effective, through the delimitation and analysis of the study area can be used to support the effective management of water resources.

Keywords: SIG, water resource management, drainage.

Caracterização da Fisiografia e Morfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca-PE utilizando Geotecnologias

RESUMO

As características fisiográficas e morfológicas de bacias hidrográficas é um dos principais procedimentos realizados na análise hidrológica e ambiental para entender sua dinâmica local e regional e subsidiar a gestão dos recursos hídricos. Este trabalho teve como objetivo analisar a fisiografia e morfologia da bacia do rio Ipojuca-PE, integrando um banco de dados relacionado à bacia hidrográfica utilizando sensoriamento remoto e ferramentas computacionais de modelagem em Sistema de Informações Geográficas. Para o processamento dos dados morfológicos e fisiográficos foi utilizado o QGIS 2.18. Por meio dos resultados obtidos a bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE, detém um formato alongado, porém, indicou baixa inclinação à ocorrência de enchentes, evidenciados pelos parâmetros. Apresentou processos erosivos moderados evidenciados por sua baixa frequência de escoamento. O relevo predominante é ondulado e rico nas áreas costeiras. O uso de geotecnologias se mostrara eficazes, mediante a delimitação e análises da área de estudo podem ser usadas para apoiar o gerenciamento eficaz dos recursos hídricos.

Palavras-chave: SIG, gestão de recursos, hídricos, drenagem.

1. Introdução

Ao longo dos anos, a água enquanto recurso natural, tem se tornado um bem cada vez mais escasso. Com isso compele-se à sociedade a necessidade de planejar e gerenciar os recursos hídricos de modo a evitar o seu esgotamento ou comprometimento da sua qualidade e distribuição

(Santana et al., 2016). À importância da gestão das águas, os custos de preservação quali-quantitativa são menores que o tratamento, como no contexto ambiental, na despoluição hídrica (Nascimento et al., 2013) e no enfrentamento das crises de escassez hídricas (França & Moreno, 2017).

Conhecer o ambiente físico é essencial para subsidiar o processo de ocupação e manejo das

bacias hidrográficas, reconhecendo áreas de fragilidade natural e potencializadas pelo antropismo, sendo assim, conhecer as características morfométricas e físicas de uma unidade geoambiental permite o planejamento da ocupação do espaço de maneira mais sustentável (Alves et al., 2014).

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas se baseia na análise quantitativa das relações entre a fisiografia e a dinâmica hidrológica da bacia. A análise de parâmetros morfométricos tem grande importância nos estudos de bacias hidrográficas, por retratar o comportamento hidrológico, uma vez que é capaz de indicar a capacidade de armazenamento da água no solo ou o seu escoamento superficial (Moura et al., 2018).

A combinação de diversos dados morfométricos possibilita a diferenciação de áreas homogêneas, revelando assim indicadores físicos para um determinado local de forma a qualificarem as alterações ambientais (Teodoro et al., 2007). A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, abrange princípios e normas para o planejamento e gestão das águas, aplicando a definição de bacias hidrográficas e suas subdivisões. Desta maneira, para que a gestão de recursos hídricos seja efetiva, deve-se considerar todos os aspectos físicos, sociais e econômicos localizados na área de sua bacia hidrográfica (Carvalho, 2020).

Contudo, a análise de parâmetros morfométricos tem grande importância nos estudos de bacias hidrográficas, pois, por meio da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (Nunes et al., 2006).

O Geoprocessamento, por sua vez, apresenta-se como uma ferramenta poderosa para a gestão e análise de dados hidrológicos, vindo a ser de grande relevância, pois suas técnicas rápidas e precisas de coleta de dados auxiliam na elaboração de mapeamentos de áreas, delineamento de redes

de drenagem, disponibilização de dados altimétricos do relevo, delimitação de bacias hidrográficas e imagens de alta resolução (Franco, 2016).

Segundo Moura et al. (2018), as geotecnologias têm uma grande facilidade de obtenção dos resultados dos parâmetros morfométricos, extraídos de forma semiautomática a partir de derivações do Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno, que pode ser obtido por imagens geradas pelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ou outras fontes, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os autores ainda explanam sobre o porquê dos produtos SRTM geralmente serem os mais utilizados em pesquisas científicas, visto que, fornecem cobertura de imagem para praticamente todo o planeta, por possuírem resolução que atende às escalas de 1:100.000 ou menores e serem disponibilizadas gratuitamente.

Portanto, objetiva-se, com este estudo, utilizar geotecnologias para analisar a fisiografia e a morfologia da bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE (BHRI), para consolidar uma base de dados.

2. Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca (Figura 1), ocupa cerca de 3,49% da área territorial do Estado do Pernambuco, além de trespassar 24 municípios, 12 desses com suas sedes localizadas na área da bacia, de coordenadas geográficas 8°09'50" e 8°40'20" de latitude sul, e os meridianos 34°57'52" e 37°02'48" de longitude a oeste de Greenwich (Deus et al., 2016). A BHRI possui uma extensão territorial de 3.433,58 km², perímetro de 749,6 km, faz divisa ao norte com a bacia hidrográfica do rio Capibaribe, ao sul com as bacias dos rios Una e Sirinhaém, a Leste com o segundo e terceiro grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos e o Oceano Atlântico, e a oeste com as bacias dos rios Ipanema e Moxotó e o Estado da Paraíba (Medeiros, 2020).

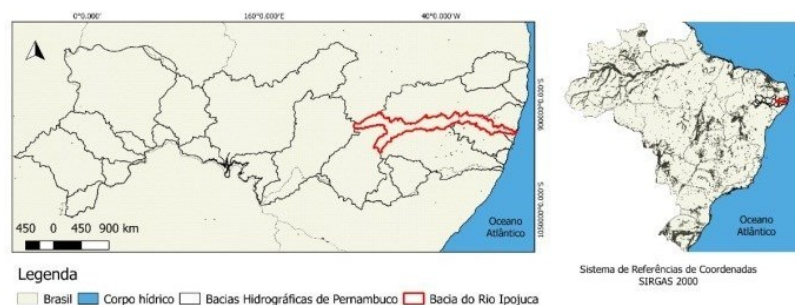


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE. Fonte: adaptado de IBGE (2021).

Os trechos superior, médio e sub-médio da bacia estão localizados na região Agreste do Estado de Pernambuco. Essa região é considerada intermediária entre as áreas de clima úmido e de clima seco. O trecho inferior da bacia, sua maior parte se situa na Zona da Mata, nela incluída a faixa litorânea que apresenta características de clima quente e úmido (Silva et al., 2009). As chuvas se iniciam em fevereiro, com as chuvas de pré-estação, terminando no final do mês de agosto, e sendo capaz de estender-se até a primeira

quinzena de setembro. Os meses chuvosos são maio, junho e julho; os secos sucedem nos meses de outubro, novembro e dezembro (Araújo et al., 2020).

De acordo com o Santos et al. (2011), os solos predominantes na área de estudo são os Argissolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Amarelos, Planossolos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Litólicos, como pode ser observado na Figura 2.

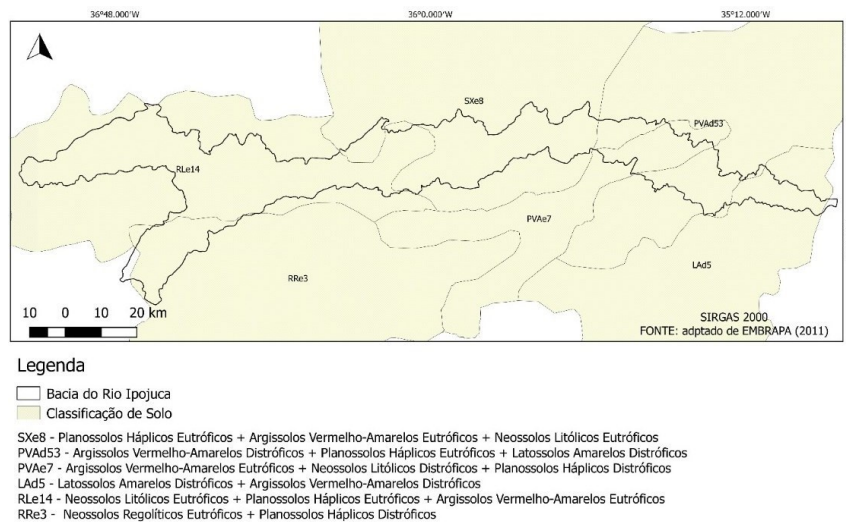


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo. Fonte: adaptado de EMBRAPA (2011).

EMBRAPA (2018) abordando as características dos Argissolos afirma que são de profundidade variável, desde forte à imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, são de forte à moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa; os Neossolos compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário.

Os Planossolos são moderadamente profundos a rasos, com desargilização (perda de argila) vigorosa da parte superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte sub-superficial, imperfeitamente drenados, de baixa permeabilidade e muito susceptíveis à erosão. Os Latossolos apresentam textura argilosa, são muito profundos e porosos, bastante permeáveis e bem drenados (Silva et al., 2019).

Modelo Digital de Elevação hidrologicamente consistente (MDEHC)

A partir da base de dados do TOPODATA, do Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 m foi realizado a correção da imagem raster para eliminar erros atmosféricos que poderiam interferir nos resultados, e após foi

obtido um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), elaborado no software QGIS v.2.18 (Júnior, 2017).

Caracterização morfométrica

Para a caracterização da bacia foram realizados a determinação do coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, tempo de concentração, densidade hidrográfica, índice de sinuosidade do canal principal, declividade e a densidade de drenagem assim descritos em seguida.

Coeficiente de Compacidade (Kc)

Por meio do coeficiente de compacidade proposto por Villela e Mattos (1975), foi possível obter bases sobre o potencial de escoamento, demonstrando a probabilidade de ocorrência de cheias (Arabori et al., 2021). Quando o valor calculado do coeficiente de compacidade for superior a 1 corresponde a uma bacia alongada, de outro modo, quando o valor for mínimo refere-se a uma bacia circular sendo essa mais vulnerável a enchentes mais acentuadas (Capucho, 2021). O Kc foi determinado baseado na Equação 1.

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

Onde: K_c = coeficiente de capacidade; P = perímetro da bacia e A = circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

Fator de Forma (F)

O fator de forma (F) foi obtido a partir da Equação 2, sendo relacionado a área da bacia em (km^2) com o comprimento axial da bacia (km), resultando em um valor adimensional que também pode ser outro parâmetro para indicar a probabilidade de ocorrências de enchentes em uma bacia (Rodrigues et al., 2016).

Para delinear uma bacia circular o valor encontrado deve ser maior de que 0,78 e valores menores indicam a forma alongada da bacia, valores entre 0,2 e 0,3 demonstram, respectivamente, estreito e canais profundos (Kaur et al., 2014).

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

Onde: F = fator de forma; A = área da bacia; e L = comprimento axial da bacia.

Índice de Circularidade (I_c)

Por meio da Equação 3 foi possível calcular o índice de circularidade (I_c), mediante correlação da área de drenagem (A) em km^2 e P é o perímetro (km), descrito por Franco (2016) como o índice usado para definir a similaridade da bacia com a forma circular. Em que, o resultado obtido mais próximo de 1,0 representa a bacia mais aproximada da forma circular, com maior probabilidade de cheia, por ter o escoamento reduzido.

$$I_c = (12,57 \cdot A) / P^2 \text{ (Eq.3)}$$

Onde: I_c = índice de circularidade; A = área da bacia; e P = perímetro da bacia.

Tempo de Concentração (T_c)

Uma das características importantes a ser calculada de uma bacia é o Tempo de concentração (T_c), que é o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto mais desfavorável topograficamente da bacia hidrográfica até a secção de referência, tratando-se, portanto, de uma grandeza fundamental para a compreensão do escoamento produzido na bacia, como por exemplo: implementação de sistemas de alerta contra inundações, projetos de drenagem urbana, separação do hidrograma, e definição do intervalo de monitoramento hidrológico (Ataide et al., 2016; Mota & Kobiyama, 2015).

Como relatado por Kim et al. (2019), existem diversas fórmulas para calcular o tempo de concentração, para selecionar deve-se escolher a mais adequada para determinadas características da bacia em estudo.

Esse parâmetro é um fator positivo em relação às cheias, pois quanto maior for o tempo de concentração menor será a possibilidade de enchentes (Cassettari & Queiroz, 2018).

A formulação empírica utilizada para calcular o tempo de concentração (T_c) está representada na Equação 4, na qual necessita como dados de entrada o comprimento do curso d'água em km (L), a declividade equivalente em m/km (I_{eq}).

$$T_c = 57(L^2/I_{eq})^{0,385} \text{ (Eq.4)}$$

Onde: T_c = tempo de concentração; I_{eq} = declividade equivalente em m/km ; L = comprimento do curso d'água em km ; $I_{eq} = \Delta H/L$ e ΔH = a variação da cota.

Densidade Hidrográfica (D_h)

Conforme esclarece Sartor et al. (2018), a densidade hidrográfica (D_h), tem sua definição determinada conforme o fundamento de vários autores, portanto a frequência dos rios é um índice que fornece o número de rios por quilômetro quadrado de área e a extensão da rede hidrográfica, tal como a capacidade da bacia em gerar novos cursos d'água, de acordo com alguns parâmetros do local.

Obtido a partir da relação entre o número total de segmentos de rios e a área da bacia hidrológica, segundo a Equação 5.

$$D_h = N/A \text{ (Eq.5)}$$

Onde: D_h = densidade hidrográfica; N = número de rios; e A = área da bacia.

Índice de Sinuosidade do Canal Principal (I_s)

O índice de sinuosidade indica os formatos dos canais, correlacionando o comprimento do canal principal e dividindo pela distância vetorial (comprimento em linha reta) desse mesmo canal, sendo calculado a partir da Equação 6 (Sartor et al., 2018).

$$I_s = L/D_v \text{ (Eq.6)}$$

Onde: I_s = índice de sinuosidade; L = comprimento do canal principal; e D_v = comprimento vetorial entre os pontos extremos do canal.

Declividade

A declividade prejudica a velocidade do escoamento superficial, há relação inversa entre a inclinação da superfície e a infiltração, no qual o aumento na inclinação diminui a infiltração e vice-versa, influenciando a capacidade de transporte de sedimento e colaborando para definir o padrão do canal (Miranda, 2019; Montanher & Morais, 2021).

Desta forma os mapas de declividade auxiliam na análise de relevo, sendo retratado por diferentes níveis de inclinação (Barbosa et al., 2019). No presente estudo, utilizou-se 6 níveis de inclinação, classificado de acordo com a EMBRAPA (1979) em plano (0-3%), suavemente ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), fortemente ondulado (20-45%), (45-75%) montanhoso e (>75%) fortemente montanhoso (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da declividade

Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

Densidade de Drenagem (Dd)

É um indicador da proximidade de espaçamento de canais, importante para determinar o tempo de viagem pela água, além disso, a densidade de drenagem está relacionada ao clima, tipos de rochas, relevo, capacidade de infiltração, cobertura vegetal, superfície rugosidade e intensidade do escoamento (Kumar et al., 2015). Quando o resultado de densidade de drenagem está baixo, indica uma boa capacidade de infiltração da água no solo e de cobertura vegetal, já valores elevados apresentam áreas com pouca infiltração (Rodrigues et al., 2017).

Densidade de drenagem é alcançado a partir da razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia, demonstrada na Equação 7.

$$Dd = Lt/A \text{ (Eq.7)}$$

Onde: Dd = densidade de drenagem; Lt = comprimento total dos canais; e A = área da bacia.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2, observa-se os resultados dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da bacia em estudo. A BHRI possui uma área de aproximadamente 3420,20 km². A área da bacia hidrográfica corresponde a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial projetada no plano horizontal e, conforme Moore et al. (1991), a área da BHRI influencia no volume de escoamento.

Foi encontrando o valor de 1002,25 km para o perímetro da BHRI. O perímetro é o limite externo da bacia hidrográfica que delimita sua área. É medido ao longo dos divisores entre bacias hidrográficas e pode ser usado como um indicador

do tamanho e da forma da BHRI (Moore et al., 1991).

A declividade média encontrada para a BHRI foi de 10,88%. A declividade média de uma bacia é de grande importância para o planejamento, tanto para com o cumprimento da legislação ambiental como para garantir a eficiência das ações do homem no meio. Soma-se a isso o fato de possuir importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos (Tonello, 2006).

O coeficiente de compacidade (Kc) e o fator de forma (Ff) obtidos são 4,7985 e 0,0689, respectivamente, indicando que o tanque não tem formato circular, mas sim formato alongado. Tal plausibilidade pode ser comprovada pelo índice de circularidade de 0,0427. Bacias alongadas tendem a ser menos propensas a inundações em condições normais de precipitação anual. Segundo Wani et al. (2018), valores próximos a 1.0 indicam bacias circulares e quanto mais próximos a 0 caracteriza o alongamento. Dornellas et al. (2020) ressaltam que a forma de uma bacia de drenagem controla principalmente a taxa na qual a água é fornecida ao canal principal à medida que ela escoar ao longo de seu curso da nascente até a confluência ou foz. Os autores encontram os valores de índice de circularidade na bacia de estudo variando de 0,31 a 0,46, caracterizando-as como fortemente alongadas e com baixo potencial natural para picos extremos de cheias.

É retratado por Cardoso et al. (2006) e Sousa (2016), que bacias circulares tem uma maior probabilidade a ter inundações, pois a ocorrência de chuvas intensas sincronicamente em toda a sua extensão é maior de que a forma alongada.

Obteve-se o tempo de concentração de 2.656,8 minutos. Ataíde et al. (2016), encontraram

resultados de grande tempo de concentração (Tc) para a bacia do rio Tauá. Ferrari et al. (2013) e Tonello et al. (2006) afirmam que quanto maior Tc será menor a vazão máxima de enchente se forem mantidas constantes outras características como solo, vegetação, geologia, geomorfologia e hidrologia, ou seja, a ausência de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, dentre outros, associada à maior declividade, conduzirá à maior velocidade de escoamento, e resultará em menor quantidade de água armazenada no solo e enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação.

Sousa e Rodrigues (2012) apresentaram classes de densidade hidrográfica (Dh) sendo: valores superiores ou iguais 15 - muito alta, entre 7-15 – alta, 3-7 - média valores e, abaixo de 3 -

baixa densidade hidrográfica. Nesta classificação a Dh é considerada como baixa (Tabela 2). A bacia hidrográfica do rio Farinha-MA, caracterizada por Nobre et al. (2020), apresentou densidade hidrográfica de 0,07 rios.km⁻², dessa forma a bacia possui baixa densidade hidrográfica.

O índice de sinuosidade demonstra que as bacias que tendem a ter um índice próximo a 1 são canais que podem ser retilíneos (alta influência da carga sedimentar), enquanto bacias com valores acima de 2 indicam a ser tortuosos (baixa influência da carga sedimentar), e os resultados entre 1 e 2, a apresentar canais com formas transicional, regulares e irregulares. (Conceição et al., 2021; Alves & Castro, 2003). Fato encontrado no presente estudo, com valor de 1,32, (Tabela 2).

Tabela 2. Características morfométricas da bacia

Características geométricas			
Variável	Símbolo	Unidade	Resultado
Área da bacia	A	km ²	3.420,20
Perímetro da bacia	P	km	1.002,25
Coefficiente de Compacidade	Kc	-	4,7985
Fator de Forma	Ff	-	0,0689
Índice de Circularidade	Ic	-	0,0427
Comprimento axial da bacia	L	km	222,65
Características da rede de drenagem			
Comprimento total dos cursos dos rios	-	km	3.225,85
Densidade de Drenagem	Dd	km/km ²	0,943
Tempo de Concentração	Tc	min	2.656,8
Ordem da Bacia	-	-	6
Índice de Sinuosidade	Is	-	1,32
Número de cursos d'água	-	-	4.307
Densidade hidrográfica	Dh	rios.km ⁻²	1,26
Características do relevo			
Comprimento do rio principal da bacia	-	km	292,80
Amplitude da bacia	-	m	1.164,00
Comprimento vetorial entre os extremos do curso principal	Lr	km	221,22
Cota Média	-	m	624,80
Cota Máxima	-	m	1.171,00
Declividade Média	-	%	10,88
Declividade Equivalente	-	m/km	3,975

A hierarquia fluvial permite conhecer a relevância do tamanho da rede de drenagem dos canais de uma determinada bacia, podendo analisá-la (Dornellas et al., 2020; Caixeta et al., 2020). Foi possível verificar que a BHRI é de 6^a. ordem hierárquica, segundo a classificação hierárquica, proposto por Strahler (1964). Nesta classificação, os canais de primeira ordem não possuem tributários; os de segunda ordem tem apenas a primeira ordem como tributários, da mesma forma que os fluxos de terceira ordem têm os fluxos de

primeira e segunda ordem como seus tributários e assim por diante (Capoane & Silva, 2020). Dornellas et al. (2020), seguindo a mesma proposta, definiu que a bacia do Alto Rio Paraíba foi classificada como de 7^a. ordem. As sub-bacias dos Rios Sucuru e do Umbuzeiro são de 6^a. ordem enquanto a sub-bacia do Rio Monteiro é de 5^a. ordem.

Conforme essa definição, é possível estabelecer que a BHRI apresenta rios que vão até Ordem 6, tal qual demonstrado na Figura 3.

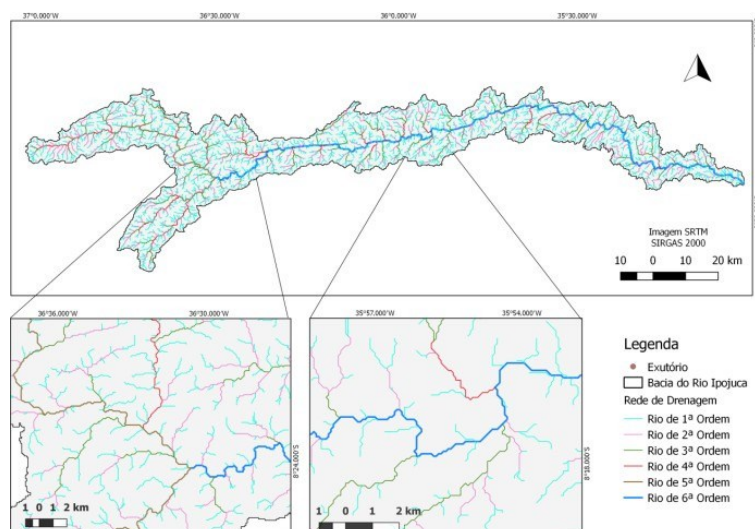


Figura 3. Hierarquia fluvial da bacia. Fonte: adaptado de TOPODATA (2011).

Outro parâmetro analisado foi a declividade da bacia hidrográfica, então através deste parâmetro identificam-se áreas consideradas

planas e outras montanhosas, mas predominam áreas planas à onduladas, destacadas na Figura 4.

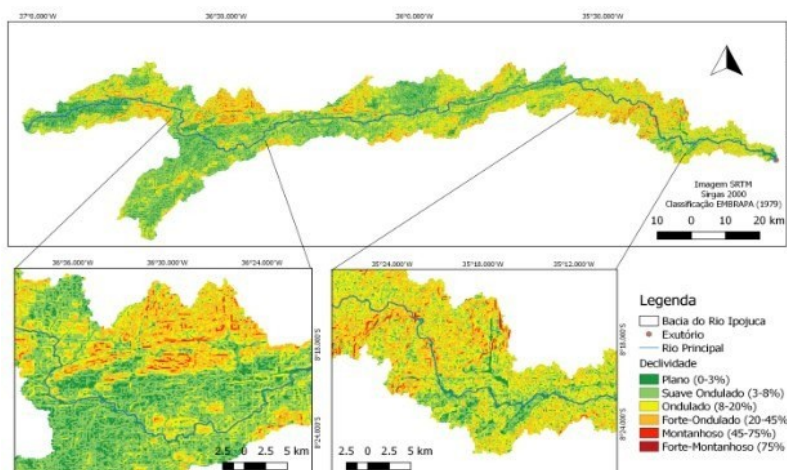


Figura 4. Classes de declividade da bacia. Fonte: adaptado de TOPODATA (2011).

Com resultado de 10,88%, a declividade corresponde à classificação de relevo ondulado, segundo a classificação da EMBRAPA (1979). Pode-se notar que, o relevo ondulado prevalece na área costeira da bacia, porém com a presença de serras próximas aos rios de ordem 1 e 2 (Figura 5), além da existência de Argissolos distróficos e eutróficos e Latossolo Amarelo (Figura 2) e com baixa altitude (Figura 4).

Afastando-se da costa, nota-se o relevo de suaves ondulações e elevada altitude, com a ocorrência de solos Litólicos e Regolíticos não salinos; como a nascente do rio Ipojuca está localizada neste local, deve-se observar que as ordens 1, 2, 3, 4 e 5 estão presentes neste trecho.

A declividade de uma bacia afeta a velocidade do escoamento superficial, tal como a ausência de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, assim diminuindo a infiltração da água e afetando a quantidade de água

armazenada no solo, que intensifica a erosão, ocorrência de enchentes e a degradação da bacia (Fraga et al., 2014; Guerra et al., 2015).

Conforme Hirata e Burkert (2020), a densidade de drenagem reflete na propriedade de transmissibilidade do terreno e consequentemente na suscetibilidade a erosão. Uma área com um índice elevado de densidade de drenagem é resultante da baixa transmissibilidade do terreno e, portanto, mais sujeita a erosão.

Hiruma e Ponçano (1994) propuseram classes de densidade de drenagem sendo: valores superiores a 2,50 - de alta densidade, entre 1,25-2,50 - média densidade valores e, abaixo de 1,25 - baixa densidade de drenagem. Nesta classificação a Dd da bacia enquadra-se como de baixa densidade de drenagem (Tabela 2). Beltrame (1994) propôs uma classificação em quatro faixas para a densidade de drenagem: < 0,5 - baixa; 0,5 a 2 - mediana; 2 a 3,5 - alta e; > 3,5 - muito alta.

Assim como na classificação anterior, a Dd da área de estudo, enquadra-se como baixa (Tabela 2). Esses valores são considerados baixos, porém típicos de regiões semiáridas (Dornellas et al., 2020). Lima et al. (2016), estudaram a relação entre a densidade de drenagem e as superfícies de aplainamento na bacia hidrográfica do Rio Bom Sucesso, semiárido do Estado da Bahia, e encontraram o valor de densidade de drenagem de 0,92 km/km². Os autores ressaltam que a densidade é baixa e está de acordo com as características dos

ambientes semiáridos, que refletem o baixo grau de dissecação do relevo.

Com relação à amplitude altimétrica, entende-se pela diferença entre a cota superior e a inferior do canal, em outras palavras, a variação entre a cabeceira até a foz e o logaritmo natural da extensão total do curso de água (Monteiro et al., 2014). Na Figura 5 encontram-se as altitudes máximas, médias e mínimas das regiões da bacia, contudo a maioria das regiões tem altitude média.

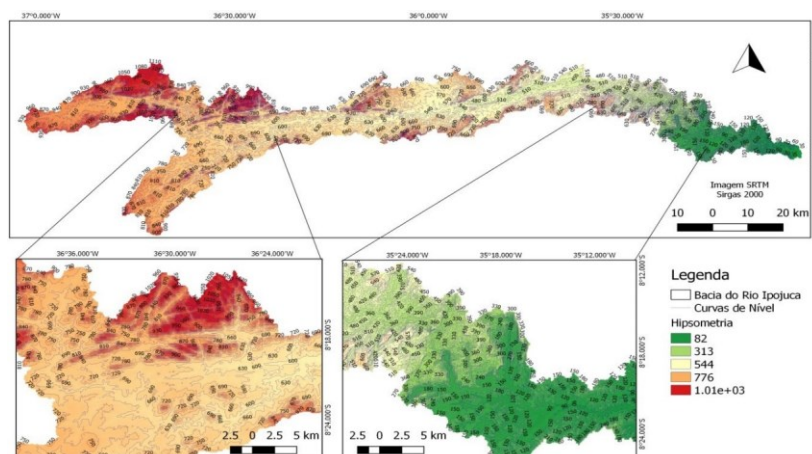


Figura 5. Mapa de altimetria. Fonte: adaptado de TOPODATA (2011).

Note-se que a altitude média de 544 m, prevalece em áreas de relevo plano e levemente ondulado onde há menor ocorrência de montanhas, por outro lado, altas amplitudes com valor de 1.010 metros são encontradas próximo à cabeceira da bacia, onde há concentração de montanhas. No litoral, a amplitude média é mínima, mesmo na presença de montanhas.

Para Santos et al. (2012), altos valores de amplitude altimétrica, ausência de cobertura vegetal, classe de solo tendem a favorecer o escoamento rápido em uma bacia hidrográfica, favorecendo os processos erosivos superficiais.

4. Conclusão

Por meio dos resultados obtidos a bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE, detém um formato alongado, porém, indicou baixa inclinação à ocorrência de enchentes, evidenciados pelos parâmetros. Apresentou processos erosivos moderados evidenciados por sua baixa frequência de escoamento. O relevo predominante é ondulado e rico nas áreas costeiras.

O uso de geotecnologias se mostrara eficazes, mediante a delimitação e análises da área de estudo podem ser usadas para apoiar o gerenciamento eficaz dos recursos hídricos.

5. Referências

- Alves, J.M.P.; Castro, P.T.A. 2003. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências* 33 117-127.
- Alves, T.L.B.; Azevedo, P.V.; Silva, M.T. 2014. Análise morfométrica da bacia hidrográfica riacho Namorado, São João do Cariri-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico. *Revista de Geografia (UFPE)* 31(3) 130-148.
- Arabori, M.K.N.; Cainzos, R.L.P.; Júnior, V.G.A.; Nardini, R.C. 2021. Análises das características hidrogeológicas da microbacia do Ribeirão Jacutinga em Ibiporã-PR. *Ciência Geográfica* 25(1) 243-252.
- Araújo, W.R.; Medeiros, R.M.; França, M.V. 2020. Espacialização da evapotranspiração na bacia hidrográfica do rio Ipojuca -PE, Brasil. *Journal of Biotechnology and Biodiversity* 8(3) 205-218.
- Ataide, L.C.P.; Rodrigues, R.S.S.; Pessoa, F.C.L. 2017. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste paraense. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 11(1) 130-138.
- Barbosa, B.G.S.; Silva, L.R.T.; Pinho, T.A.S.; Rocha, T.T.; Listo, F.D.L.R. 2019. O uso das geotecnologias como ferramenta de análise dos parâmetros topográficos de declividade e

- hipsometria no município de Petrolina- PE. In: I CONIMAS e III CONIDIS, 2019, Campina Grande. Anais... Campina Grande.
- Beltrame, A.V. 1994. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 112p.
- Caixeta, A.C.M.; Senna, J.A.; Junior, W.R.; Vasconcelos, A.M.C. 2020. Caracterização morfométrica da bacia do córrego da Palha em Diamantina (MG) com a aplicação de sistema de informações geográficas (SIG). Brazilian Journal of Development 6(11) e84845.
- Capoane, V.; Silva, D.A. 2020. Avaliação de parâmetros geomorfométricos derivados de modelos altimétricos de diferentes fontes e resoluções: estudo de caso da bacia hidrográfica do córrego Lajedo, Campo Grande, MS. Revista Brasileira de Geografia Física 13(2) 674-690.
- Capucho, D.N. 2021. Morfometria e caracterização do meio físico da Bacia hidrográfica do Rio Piraquê- Açu (ES). 22f. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal do Espírito Santo. Santa Teresa.
- Cardoso, C.A.; Dias, H.C.T.; Soares, C.P.B.; Martins, S.V. 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista árvore 30 241-248.
- Carvalho, A.T.F. 2020. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. Caderno Prudentino de Geografia 42(1) 140-161.
- Cassettari, G.A.; Queiroz, T.M. 2019. Morphometric characterization of the hydrographic basin of Jauquara river in the transition between the Cerrado and Amazon biomes in Mato Grosso-Brazil. Floresta 49(2) 325-334.
- Conceição, A.J.L.; Silva, C.M.; Ishihara, J.H. 2021. O estudo das características morfométricas da bacia hidrográfica do médio Tocantins. Separata de: Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia: Recursos Hídricos. 1. ed. Belo Horizonte - MG: Poisson, v.5, cap.3, p.19- 23.
- Deus, R.A.S.G.; Costa, S.O.S.; Lourenço, E.R.C.; Goldfarb, M.C.; Duarte, C.C; Gomes, D.D.M. 2016. Análise das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE. REGNE 2 1120-1129.
- Dornellas, P.D.C.; Xavier, R.; Silva, R.D.; Seabra, V. 2020. Análise morfométrica da bacia do alto rio Paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geomorfologia 21(3) 601-614.
- EMBRAPA. 1979. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 83p.
- EMBRAPA. 2011. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Informação de Solos Brasileiros. Disponível em: <<https://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- Ferrari, J.L.; Silva, S.F.; Santos, A.R.; Garcia, R.F. 2013. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 8(2) 181-188.
- Fraga, M.S.; Ferreira, R.G.; Silva, F.B.; Vieira, N.P.A.; Silva, D.P.; Barros, F.M.; Martins, I.S.B. 2014. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. Nativa 2(4) 214-218.
- França, J.M.F.; Moreno, J.C. 2017. Uma reflexão sobre os impactos causados pela seca no Rio Grande do Norte de 2012 a 2016. Parcerias Estratégicas 22 213-232.
- Franco, V.V. 2016. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Jucurutu. Revista de Geociências do Nordeste 2 252-261.
- Guerra, S.M.S.; Silva, A.M.R.B.; Araújo, S.P.; Corrêa, M.M; Silva, V.L.; Santos, B.R.T. 2015. Caracterização morfométrica e avaliação da qualidade da água da bacia Hidrográfica de Bitá, Ipojuca-PE. Revista Brasileira de Geografia Física 8(3) 759-775.
- Hirata, A.A.; Burkert, D. 2020. Morfometria da Bacia do Ribeirão Lajeado-SP. Formação 27(50) 175-199.
- Hiruma, S.T.; Ponçano, W.L. 1994. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. Revista do Instituto Geológico 15(1-2) 49-57.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- INPE. 2011. TOPODATA: banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos. Resolução espacial de 30 m. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- Junior, J.S.A.C. 2017. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica situada no município de Silves, AM. 44f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara.

- Universidade do Estado do Amazonas. Itacoatiara.
- Kaur, M.; Singh, S.; Verma, V.K.; Pateriya, B. 2014. Quantitative geomorphological analysis & land use/land cover change detection of two sub-watersheds in ne region of PUNJAB, India. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 40(8) 371-375.
- Kim, V.J.H.; Galbetti, M.V.; Brandão, J.L.B.; Schalch, V. 2019. Análise de fórmulas de Tempo de Concentração (TC) de uma bacia em urbanização: um estudo da Bacia do Mineirinho (São Carlos-SP). Brazilian Journal of Development 5(8) 11202-11219.
- Kumar, A.; Samuel, S.K.; Vyas, V. 2015. Morphometric analysis of six sub-watersheds in the central zone of Narmada River. Arabian Journal of Geosciences 8(8) 5685–5712.
- Lima, K.C.; Cunha, C.M.L.D.; Filho, A.P. 2016. Relações entre rede de drenagem e superfícies de aplainamento semiáridas. Mercator (Fortaleza) 15(2) 91-104.
- Medeiros, R.M. Análise Climática da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca- PE. 2020. Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability 2(1) 1-17.
- Miranda, N.M.G.; Caprario, J.; Martini, L.C.P.; Finotti, A.R. 2019. Processo Hierárquico Analítico (AHP) em modelagem espacial da vulnerabilidade à inundação em ambientes mistos. Anuário do Instituto de Geociências 42(4) 172-181.
- Montanher, O.C.; Morais, E.S. 2021. Análise da declividade de canais fluviais com uso de cálculo diferencial. Revista Brasileira de Geomorfologia 22(1) 135-148.
- Monteiro, K.A.; Tavares, B.A.C.; Correa, A.C.B. 2014. Aplicação do índice de Hack no rio Ipojuca para identificação de setores anômalos de drenagem e rupturas de relevo. Geociências 33(4) 616-628.
- Moore, I.D.; Grayson, R.B.; Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes 5(1) 3-30.
- Mota, A.D.A.; Kobiyama, M. 2015. Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 20(1) 55-59.
- Moura, D.M.B.; Oliveira, R.M.; Oliveira, I.J.; Nascimento, D.T.F.; Alves, W.S. 2018. O uso de geotecnologias na análise morfométrica da alta bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio, no município de Iporá-Goiás, Brasil. GeoFocus 21 19-37.
- Nascimento, F.I.C.; Santos, W.L.; Lira, E.M.; Arcos, F.O. 2013. Caracterização morfométrica como base para o manejo da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco–Acre. Revista Brasileira de Geografia Física 6(2) 170-183.
- Nobre, N.C.; Silva, C.M.; Santana, J. S; Silva, W. A. 2020. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. Acta Iguazu, 9(1), 11-34.
- Nunes, F.G.; Ribeiro, N.C.; Fiori, A.P. 2006. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6, 2006, Goiânia. Anais... Goiânia.
- Rodrigues, R.S.S.; Fernandes, L.L.; Crispim, D.L.; Vieira, A.S.A.; Pessoa, F.C.L. 2016. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 11(3) 143-150.
- Rodrigues, T.O.; Lisboa, G.S.; Silva, Q.D. 2017. Morfometria das unidades de drenagem do médio curso do rio Anil, Ilha do Maranhão. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento 1 909-914.
- Santana, F.S.; Alves, N.M.S.; Melo, I.S. 2016. A dinâmica da rede hidrográfica da bacia do rio Sapucaia, Japaratuba/Pirambu-SE. Revista de Geociências do Nordeste 2 335-343.
- Santos, A.M.D.; Targa, M.D.S.; Batista, G.T.; Dias, N.W. 2012. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. Revista Ambiente & Água 7(3) 195-211.
- Sousa, F.A.; Rodrigues, S.C. 2012. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. Mercator 11(25) 141-151.
- Santos, H.G.; Junior, W.D.C.; Dart, R.D.O.; Áglío, M.L.D.; Sousa, J.S.; Pares, J.G.; Fontana, A.; Martins, A.L.S.; Oliveira, A.P. 2011. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 67p.
- Sartor, M.B.; Piza, M.W.T.; Silveira, G.R.P.; Gomes, E.P.; Campos, S. 2018. Caracterização Física da Bacia Hidrográfica do Córrego da Lontra - Cafelândia, SP. Revista Energia na Agricultura 33(1) 58-65.
- Silva, C.J.; França, M.V.; Medeiros, R.M.; Holanda, R.M. 2019. O índice de aridez e sua tendência à desertificação na bacia do Rio Ipojuca-PE. Journal of Environmental Analysis and Progress 4(1) 21-30.
- Silva, Í.F.; Nóbrega, R.S.; Galvêncio, J.D. 2009. Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do rio Ipojuca (PE)–Parte 2:

- cenários de aumento de temperatura. *Revista Brasileira de Geografia Física* 2(2) 19-30.
- Sousa, F.R.C. 2016. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará–Brasil). *Revista de Geociências do Nordeste* 2 555-564.
- Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow VT (ed) *Handbook of applied hydrogeology*. McGraw-Hill, New York, p.4–76,
- Teodoro, V.L.L.; Teixeira, D.; Costa, D.J.L.; Fuller, B.B. 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar* 11(1) 137-156.
- Tonello, K.C.; Dias, H.C.T.; Souza, A.L.D.; Ribeiro, C.A.A.S.; Leite, F.P. 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. *Revista Árvore* 30(5) 849-857.
- Villela, S.M.; Mattos, A. 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p.
- Wani, M.B.; Ali, S.A.; Ali, U. 2018. Flood assessment of Lolab valley from watershed characterization using remote sensing and GIS techniques. In: *Hydrologic Modeling: Select Proceedings of ICWEES-2016*. Springer Singapore, p.367-390.