Revista Brasileira de Geografia Física

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

Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG

Dayane Oliveira Santos Melo¹, Leandro de Santana Santos², Alan de Gois Barbosa³, Ludmilson Abritta Mendes⁴

Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE. ¹Engenheira Civil, E-mail: dayaneosmelo@gmail.com. ²Engenheiro Civil, E-mail: leandrosantana14@gmail.com. ³Mestre em Engenharia Civil, E-mail: alan.1995.barbosa@gmail.com. ⁴Professor Adjunto, Doutor em Engenharia Civil, E-mail: lamendes@ufs.br.

Artigo recebido em 17/04/2020 e aceito em 09/07/2020.

RESUMO

As características morfométricas de uma bacia hidrográfica são essenciais para a avaliação de seu comportamento hidrológico. Visando preencher a lacuna acerca da morfometria de bacias hidrográficas brasileiras, notadamente na Região Nordeste, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo morfométrico da bacia hidrográfica do rio Real com o uso da ferramenta de delimitação automática GrassGis 7.6.1 e apresentar os indicadores morfométricos da bacia obtidas na plataforma QGIS 3.4.11. Localizada nos estados de Sergipe e Bahia, a bacia possui área de drenagem de 4.808,16 km², perímetro de 595,60 km e rio principal com 278,39 km de extensão. Verificou-se que o uso dos dados SRTM_90m para delimitação automática com o GrassGis apresentou precisão satisfatória ao comparar com dados oficiais. A forma alongada da bacia induz a baixo potencial para ocorrência de inundações, principalmente nas regiões próximas da foz, e sua rede de drenagem possui capacidade mediana de drenagem, com baixas velocidades de escoamento devido à sinuosidade dos rios, levando a maiores tempos de concentração. Além disso foi constatado que a bacia apresenta pouca variação altimétrica, indicando um relevo plano, com declividades majoritariamente entre 0 e 3% apontando baixa suscetibilidade a erosão. Espera-se que este estudo auxilie em pesquisas futuras, além de apoiar a modelagem, planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos nessa bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Hidrologia, Morfometria, QGIS, GrassGIS.

Morphometric characterization of the Real River Basin using SRTM data and GIS technologies

ABSTRACT

Morphometric characteristics of a watershed are essential for assessment of its hydrological behavior. In order to fill the gap regarding information about Brazilian's hydrographic basins, mainly in Northeast region, this work aims to present a morphometric study about Real River watershed using the GrassGis 7.6.1 automatic delimitation tool and present the morphometric indicators obtained on the QGIS platform 3.4.11. Located in the states of Sergipe and Bahia, the basin has a drainage area of 4,808.16 km², a perimeter of 595.60 km and a main river with 278.39 km. It was noted that the use of SRTM_90m data for automatic delimitation with GrassGis have a satisfactory precision when compared to official data. The elongated shape of the basin induces low potential for flooding, especially in the regions close to the river mouth, and its drainage network has a medium drainage capacity, with low flow speeds due to the winding rivers, leading to longer concentration times. In addition, it was found that the watershed has little altimetric variation, indicating a flat relief, with slopes mostly between 0 and 3%, that indicates low susceptibility to erosion. This study is expected to assist in future research in this area, in addition to supporting the modeling, planning and management of water resources in this watershed.

Keywords: Hydrology, Morphometry, QGIS, GrassGIS.

Introdução

As características morfométricas de uma bacia hidrográfica, tais como área, comprimento do canal principal, declividade e índices de forma, são parâmetros que influenciam a resposta da bacia aos eventos de precipitação (Cruz e Tucci, 2008) e, portanto, o escoamento (Collischonn e Dornelles, 2015). Assim, a avaliação morfométrica de bacias é requisito básico no desenvolvimento de estudos hidrológicos (Ficher et al., 2019), como avaliação do sistema de drenagem (De Bartolo et al., 2016; Niipele e Chen, 2019), do risco de inundações (Abdulkareem et al., 2018), do potencial de perda de solo (Aher et al. 2014; Balasubramanian et al., 2018; Hembram e Saha, 2018), do transporte de sedimentos em rios (Park e Latrubesse, 2015), dos efeitos da topografia sobre a precipitação (Djebou et al., 2014; Oliveira et al., 2018), e estudos de regionalização de vazões (Bassiouni et al., 2016).

A técnica de se obter as características morfométricas de uma bacia hidrográfica por sua delimitação em cartas topográficas é problemática em áreas com baixa cobertura de mapeamento topográfico de média e grande escala, como é o caso de algumas regiões do Brasil (Morais e Sales, 2016), e cada vez mais obsoleta, sendo substituída pelo uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG é uma ferramenta computacional para geoprocessamento que, por meio de técnicas matemáticas e computacionais, permite a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar dados georreferenciados (Câmara et al., 2001). O SIG pode ser descrito como um conjunto de *hardwares* e programas de computador que utilizam *rasters* – imagens com informações atribuídas ao pixel de forma matricial – e *vectors* – dados cujo foco é a precisão espacial – para compor informações de diversas fontes georreferenciadas. Ao combinar informações provenientes de dados cartográficos, hidrológicos, imagens de satélite, entre outros, um SIG permite a delimitação de áreas envolvidas por um determinado fenômeno (Mendes e Cirilo, 2001).

O processo de delimitação de bacias por SIG utiliza informações de uma estrutura numérica de dados chamada de Modelo Digital de Elevação (MDE), que corresponde à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno (Alves Sobrinho et al., 2010). Alguns MDE são produto da missão espacial SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), realizada em conjunto por NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imaging and Mapping Agency*) para obter um modelo digital tridimensional da superfície terrestre, disponibilizado gratuitamente (Nascimento e Oliveira, 2020).

O uso de dados SRTM tem favorecido o desenvolvimento de pesquisas em pequenas e médias bacias hidrográficas, por apresentarem modelos altamente precisos com cobertura global (Pereira et al., 2019). Oliveira et al. (2010), que delimitaram a bacia do Ribeirão Salobra/MS em ambiente SIG, concluíram que o processamento de dados SRTM é uma ferramenta viável, pois minimiza custos e tempo de execução, além de ser compatível com a delimitação manual. Além disso, o uso de dados SRTM mostra-se exitoso em diferentes programas. Santos e Mariano (2017), com uso do Arc GIS 9.3, obtiveram resultados satisfatórios na bacia do rio Tatuoca/PE. Mendes (2018), com uso do *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM), fez a caracterização morfométrica da bacia do rio Santo Antônio/TO. Pereira (2019), com o Arc GIS 10, delimitou o açude Mucutu/PB e uma Área de Proteção Permanente na região. Niipele e Chen (2019) relatam a eficácia do MDE ALOS para obter a rede de drenagem de uma bacia na Namíbia pela ferramenta ArcHydro.

Uma das bacias de abrangência interestadual no Nordeste do Brasil que ainda não dispõe de um estudo morfométrico para toda a sua área de contribuição é a Bacia Hidrográfica do rio Real (BHR). Situada nos estados da Bahia e de Sergipe, a BHR é abordada em poucas publicações. Os trabalhos do governo de Sergipe (2010; 2016) são os principais no que se refere à caracterização morfométrica da bacia, porém se limitam à porção sergipana da BHR, o que dificulta a realização de estudos hidrológicos que envolvam toda a bacia. Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise das características morfométricas da BHR, obtidas pelo emprego de dados SRTM no *software* GRASS GIS 7.6.1, o qual se destaca por ser gratuito e de código livre.

Metodologia

A área de estudo compreende a BHR situada entre as coordenadas geográficas 38°36'58" e 37°22'56" de longitude Oeste e 10°25'3" e 11°38'48" de latitude Sul, estando inserida na sub-bacia 50 da Região Hidrográfica do Atlântico Leste (Figura 1). Engloba parte do nordeste da Bahia e do sudoeste de Sergipe, sendo limitada ao sul pela bacia do rio Itapicuru e ao norte pela bacia do rio Vaza Barris. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2013), o rio Real, que marca a divisa entre Bahia e Sergipe, nasce entre os municípios de Poço Verde/SE e Heliópolis/BA e deságua no oceano Atlântico na vila de Mangue

Seco, em Jandaíra/BA, e tem como principais afluentes os rios Mocambo e Baixa do Tubarão.

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do rio Real. Fonte: Autores (2020)

A delimitação da BHR foi realizada por meio do processamento dos dados SRTM na ferramenta computacional GrassGIS 7.6.1. Para tal, foram levantadas as cartas topográficas de códigos SC-24-Z-A, SC-24-Z-C e SC-24-Z-D, obtidas no sítio Brasil em Relevo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020) que disponibiliza as cartas no formato *raster*. A resolução espacial para as cartas da SRTM utilizadas neste trabalho é de 90x90 m, em que cada pixel representa uma área de 8100 m².

As cartas são georreferenciadas pelo sistema de coordenadas geográficas e pelo *Datum* WGS-84. Uma vez que a área da BHR está localizada em três cartas topográficas, foi confeccionado um novo arquivo *raster* com *Datum* SIRGAS 2000, representando a união dessas cartas, com a utilização da ferramenta computacional QGIS 3.4.11 (Figura 2). Por fim, tornou-se necessário reprojetar o *raster* para o sistema de coordenadas plano, pois o algoritmo do GrassGIS trabalha apenas com coordenadas UTM.

Delimitação automática

Carregado o novo *raster*, o início da análise morfométrica pelo *software* GrassGIS é feito com o comando “*r.fill.dir*”, que, por meio de interpolações com as células vizinhas, repara as discontinuidades do terreno provocadas por depressões (Capoane e Silva, 2020). Então, a partir do comando “*r.watershed*”, foram criadas duas superfícies para análise hidrológica, análise da rede de drenagem matricial (*stream*) e análise de fluxo acumulado (*accumulation*), que evidencia os valores de concentração de fluxo acumulado para cada célula do MDE.

A partir dos fluxos acumulados, foi extraída a rede de drenagem considerando a área mínima de contribuição dentro da bacia (*threshold*). Outros autores utilizaram áreas de contribuição mínima aquém do que o SRTM_90m pode fornecer, como Cunha e Bacani (2019), que usaram valores de 5 km² e 10 km². Dessa forma, visando explorar a capacidade de fornecimento dos dados SRTM, foi considerado o limiar da área de drenagem de 0,4 km², dentro das capacidades de agrupamento para contribuição da rede de drenagem, levando em conta que cada pixel representa uma área de 0,0081 km². Para tal, o *threshold* foi 50, pois é um valor próximo da razão

entre 400.000 km² e 8100 km², sendo o divisor o valor de área de cada pixel da imagem SRTM.

Figura 2. União dos MDEs oriundos do SRTM_90m. Fonte: adaptado de EMBRAPA (2020)

Finalmente, o comando “*r.basin*” fornece as características morfométricas da bacia, pela inserção das coordenadas planas do exutório para a delimitação automática da área. Como produto, o programa fornece *rasters* e *vectors* com informações do limite da bacia, rio principal, rede de drenagem, altitude, declividade e ordenamento dos rios pela classificação de Strahler (Strahler, 1957). A Figura 3 apresenta o fluxograma do processo de delimitação da bacia.

Análise morfométrica

A área de drenagem da BHR foi subdividida em sete sub-bacias, definidas pelos seus divisores internos, sendo: Baixa do Tubarão, Alto Real, Mocambo-Real, Jabiberi, Médio Real, Itamirim e Baixo Real. Segundo Calil et al. (2012), a subdivisão facilita a pontualização de problemas difusos, tornando mais compreensível o detalhamento da bacia e a identificação de focos de deterioração e degradação dos recursos naturais.

As principais características físicas das sub-bacias e da bacia principal extraídas pelos atributos associados aos *vectors* foram: área, perímetro, comprimento axial da bacia, comprimento do rio principal, comprimento do talvegue e número total de segmentos de drenagem. O comprimento de drenagem foi obtido pela soma dos *vectors* do comprimento do rio principal e de seus afluentes e subafluentes.

A declividade média e a declividade $S_{85/10}$ foram obtidas por meio dos *vectors* do rio de maior comprimento e da altitude. Nos casos em que a

estimativa da declividade média está sujeita a erros relacionados tanto à qualidade dos mapas como à identificação de altitudes, utiliza-se a declividade $S_{85/10}$ como declividade de drenagem principal. Essa declividade é estimada pela diferença de altitude entre dois pontos no rio principal, sendo o primeiro localizado a 10% da distância total do exutório à cabeceira, e o segundo localizado a 85% da distância total do exutório à cabeceira (Collischonn; Dornelles, 2015).

Com base nas características físicas das sub-bacias e da BHR, determinaram-se alguns atributos morfométricos e fisiográficos. Na Tabela 1 é possível observar os principais parâmetros analisados, assim como as equações utilizadas.

Sabendo-se que o tempo de concentração representa bem o tempo de resposta de bacia, sendo bastante utilizado em cálculos de precipitações e na elaboração de hidrogramas de projeto, analisou-se esse parâmetro para cada sub-bacia por três métodos de cálculo, quais sejam, Dooge, Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos da América e Kirpich, cujas equações segundo Collischonn e Dornelles (2015) são respectivamente:

$$t_c = 21,88 \times \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \quad (1)$$

$$t_c = 11,46 \times \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}} \quad (2)$$

$$t_c = 3,99 \times \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (3)$$

em que t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em

km; A a área da bacia em km^2 e S a declividade média do curso d'água principal em m/m.

Figura 3. Fluxograma das etapas de delimitação da BHR. Fonte: Autores (2020)

Resultados e discussão

As características morfométricas determinadas para a BHR e para cada sub-bacia estão apresentadas na Tabela 2. Por meio da delimitação automática, foi calculada a área de drenagem da BHR no valor de 4808,16 km^2 . Esse resultado, se comparado com o valor de 4972,00 km^2 fornecida por CPRM (2013) e com o valor de 4950,48 km^2 informado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), apresenta uma variação de 3% para ambas referências.

A diferença entre o valor obtido neste estudo e os valores presentes em literatura pode ser justificada pelo desempenho do *software* para delimitar regiões com altitudes baixas próximas ao nível do mar. Tal desempenho pode ser limitado a depender da resolução do MDE, uma vez que a parte correspondente ao oceano possui dados de altitude em torno do “zero”, o que pode acarretar dificuldades de identificação do limiar entre a terra e o mar. Dessa forma, para realizar a delimitação do trecho litorâneo da bacia, recorreu-se ao uso da delimitação manual. Apesar dos obstáculos apresentados, a baixa variação da área demonstra a eficácia do uso do MDE SRTM_90m para delimitação de grandes bacias.

O comprimento obtido para o rio principal, 278,39 km, apresenta variação de 13% em relação ao valor de 246,00 km relatado por CPRM (2013), 19% para o valor de 233 km fornecido pela ANA (2018), e 7,4% para o valor de 300,6 km que consta

no Atlas Digital de Sergipe (SERGIPE, 2016). Ressalta-se que o *threshold* empregado pode estar gerando uma localização de nascente mais a montante do que a representada no Atlas. Porém, uma vez que o rio Real é temporário em seu curso superior, a localização de sua nascente pode mudar ao longo das estações do ano (SERGIPE, 2010), o que pode explicar as variações do comprimento do rio principal. Além disso, o GrassGIS interpola os valores de cota dos pixels, e tal interpolação pode não representar todos os meandros nos trechos de alta sinuosidade, o que afeta o valor final do comprimento do rio principal.

As sub-bacias Mocambo-Real e Médio Real são as de maior área, ocupando juntas 48,4% da área da BHR e possuem os maiores comprimentos de drenagem. A sub-bacia que apresenta menor área de drenagem é a Baixo Real, seguida das sub-bacias Jabiberi e Itamirim.

A Figura 4 apresenta a delimitação das sub-bacias e seus cursos de água principais. Foi considerado como rio principal aquele que drena a maior área, conforme critério adotado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2005). Assim, no ponto de confluência dos rios principais das sub-bacias Baixa do Tubarão e Alto Real, embora o Baixa do Tubarão seja o rio mais extenso, foi considerado como principal formador do rio Real o rio principal da sub-bacia Alto Real, por esta apresentar maior área de drenagem. Seguindo o mesmo critério, foi identificado que o talvegue do canal principal da

sub-bacia Alto Real tem início no município de Adustina/BA, nas coordenadas geográficas 92°4'19,11" Oeste e 10°39'52,52" Sul.

Tabela 1. Principais parâmetros morfométricos analisados

Parâmetro	Equação	Unidade	Referência
Fator de forma K_f	$K_f = \frac{A}{L^2}$	Adimensional	Villela e Mattos (1975)
Coefficiente de compacidade K_c	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Adimensional	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade I_c	$I_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	Adimensional	Christofolletti (1980)
Densidade de drenagem D_d	$D_d = \frac{L_d}{A}$	km/km ²	Horton (1945)
Comprimento médio do escoamento superficial L_{es}	$L_{es} = \frac{A}{4L_d}$	km	Villela e Mattos (1975)
Sinuosidade do rio principal S_{in}	$S_{in} = \frac{L}{L_t}$	Adimensional	Christofolletti (1980)
Frequência de drenagem D_r	$D_r = \frac{N}{A}$	Segmento/km ²	Horton (1945)
Constante de manutenção de canal C_m	$C_m = D_d^{-1}$	km ² /km	Christofolletti (1980)
Declividade média S	$S = \frac{Z_{máx} - Z_{mín}}{L}$	Adimensional	Collischonn e Dornelles (2015)
Declividade $S_{85/10}$	$S_{85/10} = \frac{Z_{85} - Z_{10}}{0,75 \cdot L}$	Adimensional	Collischonn e Dornelles (2015)

A: área da bacia (km²); $\underline{L}$: comprimento axial da bacia (km); L: comprimento do rio principal (km); P: perímetro da bacia (km); L_d : comprimento de drenagem (km); L_t : comprimento do talvegue (km); N: número de segmentos de drenagem (km); Z: altitude (m)

Tabela 2. Resultado dos parâmetros morfométricos da bacia principal e sub-bacia

Índice	BHR	Sub-bacias						
		Baixa do Tubarão	Alto Real	Mocambo Real	Jabiberi	Médio Real	Itamirim	Baixo Real
A	4808,16	543,11	657,07	1273,63	457,18	1054,58	459,95	362,45
P	595,60	187,86	152,92	218,33	119,01	253,72	162,57	105,28
L	278,39	72,75	49,71	69,95	48,39	122,38	64,23	36,17
$\underline{L}$	217,39	64,15	40,72	56,26	40,99	79,41	54,70	28,33
L_t	117,07	56,12	28,81	44,11	29,19	54,22	45,16	24,93
L_d	4602,04	501,60	670,83	1266,75	420,93	1002,44	438,57	299,03
N	6887	830	1060	1928	710	1457	692	210
K_f	0,102	0,132	0,396	0,402	0,272	0,167	0,154	0,452
K_c	2,405	2,257	1,670	1,713	1,559	2,188	2,123	1,548
I_c	0,170	0,193	0,353	0,336	0,406	0,206	0,219	0,411
D_d	0,957	0,924	1,021	0,995	0,921	0,951	0,954	0,825
L_{es}	0,261	0,271	0,245	0,251	0,272	0,263	0,262	0,303
S_{in}	2,378	1,296	1,725	1,586	1,658	2,257	1,422	1,451
D_r	1,432	1,528	1,613	1,514	1,553	1,382	1,505	0,579
C_m	1,045	1,083	0,979	1,005	1,086	1,052	1,049	1,212
Ordem	6 ^a	5 ^a	6 ^a	6 ^a	5 ^a	6 ^a	4 ^a	6 ^a

A: área de drenagem (km²); P: perímetro da bacia (km); L: comprimento do rio principal (km); $\underline{L}$: comprimento axial da bacia (km); L_t : comprimento do talvegue (km); L_d : comprimento de drenagem (km); N: número de segmentos de drenagem; K_f : fator de forma; K_c : coeficiente de compacidade; I_c : índice de circularidade; D_d : densidade de drenagem (km/km²); L_{es} : comprimento médio do

escoamento superficial (km); S_{in} : sinuosidade do rio principal; D_r : frequência de drenagem (segmento/km²); C_m : constante de manutenção do canal (km²/km); Ordem: Ordem dos cursos d'água segundo a classificação de Horto-Strahler.

Figura 4. Delimitação da BHR e suas sub-bacias e traçado dos rios principais. Fonte: Autores(2020)

Forma da bacia

Para Villela e Mattos (1975), o conhecimento da forma superficial da bacia é fundamental para definição do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento em seu exutório após uma precipitação. O fator de forma, o coeficiente de compacidade e o índice de circularidade são capazes de relacionar a forma da bacia com formas geométricas.

O fator de forma K_f é dado como a relação entre a área da bacia e seu comprimento axial. Esse parâmetro compara a área da bacia com a área de um quadrado de lado igual ao comprimento axial. Dessa forma, quanto mais distante da unidade for o valor de K_f , mais comprida é a bacia e, portanto, possui menos suscetibilidade de picos de enchente rápidos (Lima et al., 2017). De forma similar ao K_f , o Índice de Circularidade I_c tende ao valor 1 à medida que a forma da bacia se aproxima de um círculo, e diminui conforme se torna alongada (Souza et al., 2018). Mendes (2018) constata que valores de I_c menores que 0,51 sugerem que a bacia

tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento. De acordo com Batista et al. (2017) o coeficiente de compacidade K_c relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de círculo de mesma área; logo, quanto mais próximo de 1 for K_c , mais circular é a bacia, com tendências de produzir escoamentos mais rápidos.

A BHR tem forma alongada, com baixa suscetibilidade a inundações e maiores tempos de concentração por apresentar coeficiente de compacidade (2,405) afastado da unidade, e por seu índice de circularidade (0,170) e seu fator de forma (0,102) serem baixos. Estudos realizados por Pinto et al. (2018) na bacia hidrográfica do Rio Sararé, no Mato Grosso, constataram baixa suscetibilidade às cheias mediante seu formato alongado, visto os valores encontrados para coeficiente de compacidade (1,91), índice de circularidade (0,26) e fator de forma (0,22). Capoane e Silva (2020) também verificaram forma alongada na bacia hidrográfica do córrego Lajeado em Campo Grande/MS com coeficiente de

compacidade (2,08), índice de circularidade (0,2) e fator de forma (0,33).

Quanto às sub-bacias, nota-se que, apesar de Baixo Real, Mocambo-Real e Alto Real apresentarem índices maiores que as demais, todas possuem formas alongadas, aproximando-se do retângulo, com $K_c > 1,81$, $K_f < 0,5$ e $I_c < 0,51$ (Lima et al. 2017; Asfaw e Workineh, 2019; Hirata e Burkert, 2020). Apesar das sub-bacias exibirem baixa suscetibilidade a inundação em condições normais de precipitação devido a seu formato, a ocorrência de chuvas de baixa intensidade com longa duração cobrindo grandes áreas pode levar à ocorrência de enchentes pontuais em função do aumento do escoamento superficial (Calil et al., 2012; Alves et al., 2016).

Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários, ou seja, inclui todos os cursos de água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros. O estudo das ramificações indica a velocidade com que a água deixa a bacia. Na Figura 5 é apresentada a rede de drenagem da BHR, com destaque para o rio principal da bacia.

A densidade de drenagem é amplamente utilizada para caracterizar a idade fisiográfica da

bacia, pois é comumente atribuída às diferenças de chuvas e relevo, capacidade de infiltração do solo e resistência do terreno à erosão (Horton, 1945). Considera-se que uma área com elevada densidade de drenagem é resultante da baixa transmissibilidade do terreno e, portanto, está mais sujeita a processos erosivos (Balasubramanian et al., 2018; Hembram e Saha, 2018).

A eficiência da drenagem da bacia, segundo Cassettari et al. (2019), é indicada pela densidade de drenagem, a qual varia de 0,5 km/km² para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² para bacias excepcionalmente bem drenadas. A densidade de drenagem encontrada na BHR foi de 0,957 km/km², valor muito próximo ao obtido para suas sub-bacias, indicando, assim, que a área de estudo possui média capacidade de gerar novos cursos de água, escoamento superficial razoavelmente baixo e uma pequena dissecação associada (Mendes, 2018; Asfaw e Workineh, 2019). Chandra e Gidde (2019) encontraram para a bacia hidrográfica de Baltira, na Índia, valor considerado alto de densidade de drenagem (1,44 km/km²), justificado pela declividade muito acentuada, vegetação escassa e materiais subsuperficiais deficientes.

REDE DE DRENAGEM - RIO REAL

Sistema de projeção de coordenadas: UTM

Datum: SIRGAS 2000; Zona UTM: 24S

Fonte: SRTM 90 m

Org: Melo. D. O.S

Figura 5. Rede de drenagem e rio principal da BHR. Fonte: Autores (2020)

O comprimento médio do escoamento superficial indica a distância média que a água de chuva escoaria sobre os terrenos da bacia, em linha reta, do ponto onde ocorreu sua queda até o curso d'água mais próximo (Villela e Mattos, 1975). Os valores obtidos para as sub-bacias mostraram pouca variabilidade, com distâncias médias entre 245 m e 303 m, e de 261 m para BHR, semelhante aos resultados entre 209 m e 237 m encontrados por Vieceli et al. (2014) em sub-bacias de seu estudo na Serra Gaúcha. Olszewski et al. (2011) afirmam que pequenos valores de extensão de escoamento, em torno de 100 m, podem causar alagamentos em dias de fortes chuvas, pela menor possibilidade de infiltração de água no solo.

A frequência de drenagem é expressa como o número total de fluxos por 1 km² de área da bacia (Chandra e Gidde, 2019). Esse parâmetro não apresentou diferenças significativas entre as sub-bacias, variando entre 1,382 segmentos/km² e 1,613 segmentos/km², com exceção da sub-bacia Baixo Real (0,579 segmentos/km²). O baixo valor obtido na Baixo Real corrobora os resultados da densidade de drenagem. A frequência de fluxo pode depender da chuva e da fisiografia da região (Magesh et al., 2013) e principalmente da litologia da bacia (Balasubramanian et al., 2018), permitindo uma avaliação dos processos de desenvolvimento da rede hidrográfica, de forma natural ou antropogênica (Vieceli et al., 2014). Baixos valores de frequência de drenagem (0 a 2 segmentos/km²) indicam baixo escoamento (Balasubramanian et al., 2018), pois este parâmetro possui variação inversa à permeabilidade do material subsuperficial (Chandra e Gidde, 2019), condição observada neste estudo.

A sinuosidade de um curso d'água depende da relação entre comprimento do rio principal e ao comprimento do talvegue, que é a medida em linha reta da nascente à foz. Segundo Christofolletti (1980), a sinuosidade é um controlador da velocidade do fluxo, ou seja, quanto mais sinuoso é o curso d'água, maior é a dificuldade de deslocamento da água, implicando em baixas velocidades de escoamento. Foram obtidos valores distantes da unidade para a BHR e suas sub-bacias, o que indica alta sinuosidade dos cursos d'água, principalmente para o rio principal na sub-bacia Médio-Real, o que contribui, portanto, para um maior tempo de concentração.

O ordenamento dos cursos d'água, segundo a classificação de Strahler (1957), é uma forma qualitativa de caracterizar a magnitude de um rio em determinado trecho, ao contrário dos parâmetros quantitativos, como área de drenagem, declividade, comprimento e tempo de concentração

(Collischonn e Dornelles, 2015). Conforme mostrado na Figura 6 para cada sub-bacia da BHR, o rio Real é um curso d'água de sexta ordem, apresentando esta classificação desde a sub-bacia Alto Real (b), indicando que o sistema de drenagem da BHR é bastante ramificado; os rios Baixa do Tubarão (a) e Jabiberi (d) são de quinta ordem, e o rio Itamirim (f) é de quarta ordem.

O coeficiente de manutenção de uma bacia hidrográfica indica a área mínima necessária para manter uma extensão de 1 km do canal (Schumm, 1956). Para este parâmetro foi constatada uma variação de 0,979 a 1,212 km²/km entre as sub-bacias e, para BHR, um valor de 1,045 km²/km. São valores considerados elevados, quando comparados com outros estudos, como o de Batista et al. (2017), em que foi encontrado o valor de 0,0325 km/km² para a bacia hidrográfica do Santo Antônio em Goiás. Altos valores de Cm podem ser atribuídos à boa capacidade de recarga hídrica e às baixas declividades, o que sugere bacias com menor suscetibilidade a inundações, maior controle da litologia com uma permeabilidade superficial composta por leitos de rocha (Abdulkareem et al., 2018; Cassettari et al., 2019).

Nascimento e Oliveira (2020) ressaltam que o MDE SRTM_90m, em comparação com o MDE LIDAR_1m, que possui maior resolução espacial, apresenta menos canais com baixa distribuição, demonstrando baixa eficiência na cobertura da rede de drenagem da bacia hidrográfica de seu estudo, que possuía uma área de drenagem de 250 km². A baixa qualidade da rede de drenagem contrapõe aos resultados encontrados por Tolentino et al. (2019), afirmando que os MDE SRTM e ASTER demonstraram resultados satisfatórios para rede de drenagem da bacia do rio Jordão em Minas Gerais para escala de 1:500.000, com resultados similares para ambos MDEs.

Relevo

A elaboração de mapas altimétricos e de declividades, além de auxiliar o entendimento da modelagem e prevenção de movimentos de massa (Alves et al., 2016), apoiam a compreensão das características topográficas, o desenvolvimento da rede de drenagem e propriedades erosivas da bacia (Capoane e Silva, 2020).

O relevo de uma bacia, caracterizado pela diferença de elevação entre os pontos mais altos e mais baixos, determina o declive e, por conseguinte, o escoamento e o transporte de sedimentos nos cursos d'água (Babu et al., 2016). Dessa forma, o estudo do relevo é importante na compreensão das características de denudação de uma bacia

Figura 6. Ordenamento dos rios das sub-bacias da BHR. Fonte: Autores (2020)

Na Tabela 3 encontram-se as amplitudes altimétricas da BHR e de suas sub-bacias. A altitude máxima da BHR é de 615 m, ponto situado na sub-bacia Mocambo-Real, enquanto que a menor altitude é de 1 m, localizado na sub-bacia Baixo Real, na foz do rio no oceano Atlântico. Nota-se que as maiores amplitudes altimétricas encontram-se nas sub-bacias Mocambo-Real, Jabiberi e Baixa do Tubarão. A sub-bacia do Baixo Real, situada na porção litorânea, registra as menores amplitudes. Na Figura 7 está apresentado o mapa de elevação da bacia

Tabela 3. Elevação da BHR e sub-bacias

Bacias	Elevação (m)		Amplitude (m)
	Máx.	Mín.	
BHR	615	1	614
BT	601	217	384
AR	506	217	292
MOR	615	153	462
JB	543	148	395
MR	285	40	245
IT	376	41	335
BR	101	1	100

Figura 7. Mapa altimétrico da Bacia Hidrográfica do rio Real. Fonte: Autores (2020)

A análise da declividade é fundamental nos estudos geomórficos, pois permite uma primeira indicação dos processos morfogenéticos atuantes na área de interesse (Dias et al., 2017). Em seu estudo sobre o pantanal da Nhacolândia, Marini et al. (2018) realizaram uma análise de acurácia, comparando outras fontes de MDE e seguindo o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), mostrando que, em uma escala de 1:100.000, o MDE proveniente do SRTM_90 m atinge um padrão de definição satisfatória para uma região com

tamanho e escala como a deste estudo. Levando em conta que neste estudo a escala foi menor que 1:1.000.000, os resultados referentes a declividade apresentam baixo erro.

A declividade afeta a velocidade do escoamento superficial e, portanto, o transporte dos sedimentos, influenciando os processos de erosão (Umrikar, 2016). Por conta de sua declividade, mostrada na Figura 8, a BHR tem um relevo predominantemente plano conforme a classificação da EMBRAPA (2018), apresentada na Tabela 4.

DECLIVIDADE - RIO REAL

Sistema de projeção de coordenadas: UTM

Datum: SIRGAS 2000; Zona UTM: 24S

Fonte: SRTM 90 m

Org: Melo, D. O.S

Legenda

< 1%	
1% - 3%	
3% - 5%	
5% - 7%	
7% - 9%	
9% - 11%	
11% - 13%	
13% - 15%	
> 15%

Figura 8. Mapa de declividades da Bacia Hidrográfica do rio Real. Fonte: Autores (2020)

Tabela 4. Classes de relevo, conforme EMBRAPA (2018)

Declividade	Classe de relevo
0% - 3%	Plano
3% - 8%	Suave Ondulado
8% - 20%	Ondulado
20% - 45%	Forte Ondulado
45% - 75%	Montanhoso
> 75%	Escarpado

As exceções ao relevo plano que ocorre na BHR como um todo são pequenas porções das sub-bacias Baixa do Tubarão, Médio Real e Jabiberi com relevo suave ondulado a ondulado. Alves et al. (2016) encontraram em sua bacia de estudo declividades semelhantes, com predominância de relevo suave ondulado, e apontam ser tal característica favorável para prática de agricultura,

por apresentar baixo risco de erosão e contribuir favoravelmente para infiltração.

Segundo Collischonn e Dornelles (2015), parâmetros como a declividade média da bacia e a declividade do curso d'água principal afetam diretamente o tempo de viagem da água ao longo da bacia hidrográfica. Na BHR observam-se baixas declividades dos canais principais, entre 0 e 1%, como mostra a Tabela 5. Observa-se, nessa tabela, que os cursos d'água das sub-bacias Jabiberi (0,00749 m/m) e Alto Real (0,00661 m/m) apresentaram as maiores declividades médias, indicando maior velocidade de escoamento de água nessas sub-bacias e menores tempos de concentração, como mostrado na Tabela 6. Na Figura 9 está apresentado o perfil longitudinal do canal principal do rio Real, desde a nascente à foz no oceano Atlântico.

Figura 9. Perfil longitudinal do rio Real obtido dos dados SRTM_90 m. Fonte: Autores (2020)

Tabela 5. Declividade (S) do canal principal (m/m)

Bacia	S média	S _{85/10}
BHR	0,00268	0,00147
BT	0,00574	0,00333
AR	0,00661	0,00377
MOR	0,00110	0,00121
JB	0,00749	0,00615
MR	0,00139	0,00149
IT	0,00603	0,00266
BR	0,00141	0,00165

Tabela 6. Tempos de concentração das bacias

Bacia	Tempo de concentração (min)		
	Kirpich	C. Eng. EUA	Dooge
BHR	3165	2705	1936
BT	790	794	696
AR	558	579	734
MOR	1446	1055	1306
JB	521	554	619
MR	2037	1545	1163
IT	704	716	644
BR	791	610	748

Comparando-se os diferentes métodos de cálculo de tempo de concentração, verificou-se que, para bacias com maiores declividades, o método de Dooge tende a superestimar o tempo de concentração, como ocorre nas sub-bacias Alto Real e Jabiberi. Todavia, esse método apresentou menores valores de tempo de concentração nas sub-bacias Baixa do Tubarão e Itamirim, que possuem os menores fatores de forma e maiores coeficientes de compacidade, o que indica bacias mais alongadas. Tal observação leva a crer que os índices de forma de uma bacia devem ser considerados na escolha do método de cálculo de tempo de concentração a ser utilizado.

O método de Kirpich tende a superestimar o tempo de concentração à medida que a área da bacia aumenta. Este comportamento se justifica pelo fato da equação de Kirpich ter sido parametrizada a partir de observações realizadas em bacias com áreas menores que 0,5 km² (Collischonn e Dornelles, 2015), embora seja uma equação amplamente empregada em estudos hidrológicos. O método do Corpo de Engenheiros dos EUA, por sua vez, apresentou o menor desvio-médio em seus resultados, em concordância com as observações relatadas por Silveira (2005) em seu estudo.

Conclusões

O uso do GrassGIS 7.6.1 mostrou-se eficiente na delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando modelos digitais de elevação, tendo em vista que a comparação da área e do comprimento do canal principal com dados da literatura registrou pequena variação. Além disso, o uso do MDE de resolução 90x90 m, embora tenha manifestado dificuldades de delimitação em regiões próximas ao nível do mar, demonstrou-se satisfatório para delimitação de bacias com área de drenagem com a magnitude da bacia do rio Real.

Os resultados obtidos com a plataforma SIG mostram que a BHR apresenta baixa tendência de inundações em condições normais de pluviosidade, por apresentar os índices de forma mais próximos de um retângulo. Além disso, sua rede de drenagem indica capacidade de drenagem entre fraca e média, resultante da qualidade do material superficial, do relevo suave e da declividade. Esses índices podem refletir em uma condição de transmissibilidade moderada do solo e ainda em uma baixa suscetibilidade à erosão.

Em relação aos valores obtidos de comprimento médio de escoamento superficial, conclui-se que, apesar da forma alongada e da declividade da BHR a tornarem menos favorável a inundações, as distâncias encontradas nas sub-bacias indicam possibilidade de ocorrência de inundações pontuais em dias de fortes chuvas, devido à chance de ser uma região de baixa infiltração de água no solo.

A frequência de drenagem não apresentou diferenças significativas entre as sub-bacias, corroborando os resultados de densidade de drenagem. Ademais, de acordo com a classificação de Strahler, o rio principal da bacia é de sexta ordem, indicando uma grande quantidade de canais fluviais de primeira e segunda ordem, o que explica suas baixas densidades de drenagem. Os rios principais da BHR e das sub-bacias apresentaram alto índice de sinuosidade, o que acarreta menores velocidades de escoamento e maiores tempos de concentração.

Verificou-se também que o método de Dooge, no cálculo de tempo de concentração, demonstrou-se sensível não apenas à declividade, mas também à forma da bacia. O método de Kirpich mostrou tendências de elevados tempos de concentração induzidos por maiores valores de área, o que leva a crer que o método é mais adequado para bacias menores.

Os resultados obtidos neste estudo fornecem informações sobre diversos indicadores da morfometria da bacia hidrográfica do rio Real, tanto para a porção sergipana como para a porção baiana da BHR. Tais informações, cuja maior parte não é encontrada em literatura para esta bacia, podem servir como um banco de dados para elaboração de ações e projetos futuros, tais como estudos de erosão do solo e avaliações de potenciais riscos de inundações, bem como para tomadas de decisões inerentes ao planejamento e gerenciamento de ambiental e de recursos hídricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, pela estrutura disponibilizada para a realização deste estudo.

Referências

Abdulkareem, J. H., Pradhan, B., Sulaiman, W. N. A. & Jamil, N. R. (2018). Quantification of runoff as influenced by morphometric characteristics in a rural complex catchment.

- Earth Systems and Environment. <https://doi.org/10.1007/s41748-018-0043-0>
- ANA. Agência Nacional de Águas (2005). Nota Técnica referente a definição de dominialidade dos cursos d'água das bacias do PCJ, nº 018/2005/NGI. Recuperado em 05 maio, 2020, de http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/BaciaPCJ/Textos/Nota_018-05_NGI-Dominialidades.pdf
- ANA. Agência Nacional de Águas (2018). Bacias Hidrográficas Ottocodificadas. Recuperado em 03 agosto, 2019, de <http://dadosabertos.ana.gov.br>
- Aher, P. D., Adinarayana, J. & Gorantiwar, S. D. (2014). Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach. *Jurnal of Hydrology*, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.028>
- Alves Sobrinho, T., Oliveira, P. T. S., Rodrigues, D. B. B. R. & Ayres, F. M. (2010). Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>
- Alves, W. S., Scopel, I., Martins, A. P. & Morais, W. A. (2016). Análise morfométrica da Bacia do Ribeirão das Abóboras - Rio Verde (GO). *Revista Geociências*, 35 (4), 652-667. Recuperado em 03 junho, 2020, de <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEO/SP/article/view/9978>
- Asfaw, D. & Workineh, G. (2019). Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003>
- Babu, K. J., Sreekumar, S., & Aslam, A. (2016). Implication of drainage basin parameters of a tropical river basin of South India. *Applied Water Science*, 6(1), 67-75. doi: 10.1007/s13201-014-0212-8
- Balasubramanian, A., Duraisamy, K., Thirumalaisamy, S., Krishnaraj, S. & Yatheendradasan, R. K. (2017). Prioritization of subwatersheds based on quantitative morphometric analysis in lower Bhavani basin, Tamil Nadu, India using DEM and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3312-6>
- Bassiouni, M., Vogel, R. M. & Archfield, S. A. (2016). Panel regressions to estimate low-flow response to rainfall variability in ungaged

- basins. *Water Resour. Res.*, 52, 9470-9494. <https://doi.org/10.1002/2016WR018718>
- Batista, D. F., Cabral, J. B. P., Rocha, T., & Barbosa, G. R. (2018). Caracterização Morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio - GO. *Geoambiente On-Line*, (29). <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50882>
- Calil, P. M., Oliveira, L. F. C., Kliemann, H. J. & Oliveira, V. A. (2012). Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000400014>
- Câmara, G., Davis, C. & Monteiro, A. M. V. (2001). Introdução à ciência da geoinformação. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Recuperado em 03 junho, 2020, de <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>
- Capoane, V. & Silva, D. A. (2020). Avaliação de parâmetros geomorfométricos derivados de modelos altimétricos de diferentes fontes de resoluções: estudo de caso da bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande, MS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <https://doi.org/10.26848/rbgef.v13.2.p674-690>
- 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. <https://doi.org/10.5380/rf.v49i2.58166>
- Chandra, V. & Gidde, M. R. (2019). Morphometric analysis of Baltira watershed using QGIS plataforma. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1720.078219>
- Christofolletti A. (1980) *Geomorfologia*. (3a ed.) São Paulo: Edgard Blüchler, 149p.
- Collischonn, W. & Dornelles, F. (2015). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. (2a ed.) Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil (2013). Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 50 – Bacias dos rios Itapicuru, Vaza Barris, Real, Inhambupe, Pojuca, Sergipe, Japarutuba, Subaúma e Jacuípe. Recuperado em 2 maio, 2020, de http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/regionalizacao_vazoes_%20bacias_hidrograficas/relatorio_sub-bacia50.pdf
- Cruz, J. & Tucci, C. (2008). Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, <https://doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p111-124>
- Cunha, E. R. & Bacani, V. M. (2019) Influência da resolução MDE na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. *Caderno de Geografia*, <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2019v29n59p1029>
- De Bartolo, S., Dell'Accio, F., Frandina, G., Moretti, G., Orlandini, S. & Veltri, M. (2016) Relation between grid, channel, and Peano networks in high-resolution digital elevation models. *Water Resour. Res.*, (52), 3527-3546, <https://doi.org/10.1002/2015WR018076>
- Dias, D. F., Trentin, R., & Marques, R. D. (2017). Utilização de parâmetros geomorfométricos para a classificação do relevo do município de Mata – RS. *Revista Geografias*, <https://doi.org/10.26848/rbgef.v11.3.p1112-1126>
- Djebou, D. C. S., Singh, V. P. & Frauenfeld, O. W. (2013). Analysis of watershed topography effects on summer precipitation variability in the southwestern United States. *Journal of Hydrology*, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.045>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (5a ed.)* Brasília, (DF): Embrapa, 355 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2020). *Brasil em Relevo*. Recuperado em 20 junho, 2019, de <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevo.br>
- Ficher, K. N., Pereira, D. R., Oliveira, J. S., Almeida, A. Q. & Uliana, E. M. (2019). Assessment of digital elevation models to obtain morphometric characteristics in relief transition region. *Revista Ambiente & Água*, <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2280>
- Hembram, T. K. & Saha, S. (2018). Prioritization of sub-watersheds for soil erosion based on morphometric attributes using fuzzy AHP and compound factor in Jainti River basin, Jharkhand, Eastern India. *Environment, Development and Sustainability*, <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0247-3>
- Hirata, A. A. & Burkert, D. (2020). Morfometria da Bacia do Ribeirão Lajeado-SP. *Formação*.

- <https://doi.org/10.33081/formacao.v27i50.6449>
- 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, [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Lima, W. J. R., Santos, F. A. & Cruz, M. L. B. (2017). Análise dos parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do Riacho Caraúna, em Quixeramobim (Ceará), *Geoambiente On-line*, <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.42567>
- Magesh, N. S., Jitheshlal, K. V., Chandrasekar, N. & Jini, K. V. (2013) Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. *Appl Water Sci* (3) 467-477, <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0095-0>
- Marini, L. B., Junior, J. M., Ramos, A. P. M., Filho, A. C. P., Barros, A. P. M., Filho, A. C. P. & Higa, L. T. (2018). Análise da Acurácia Altimétrica dos Modelos Digitais de Superfície SRTM, Aster e Topodata e Aplicação na Representação 3D do Pantanal da Nhecolândia. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 40(3), 48-54. https://doi.org/10.11137/2017_3_48_54
- Mendes, A. T. (2018). Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p973-987>
- Mendes, C. A. B., & Cirilo, J. A. (2001). *Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação (1ª)*. Porto Alegre: ABRH.
- Morais, R. C. de S. & Sales, M. C. L. (2016). Extração automática de drenagem: uma análise comparativa a partir de diferentes ferramentas e bases de dados. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p1849-1860>
- Nascimento, F. J. B. & Oliveira, L. C. (2020). Avaliação de Modelos Digitais de Elevação SRTM e LIDAR e suas aplicações em análises morfométricas. *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, (37) 1. Recuperado em 04 junho, 2020, de <http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/CT/artic/e/view/4419/3739>
- Niipele, J. N. & Chen, J. (2019). The usefulness of alos-pasar dem data for drainage extraction in semi-arid environments in The Iishana sub-basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.11.003>
- Oliveira, P. T. S., Sobrinho, T. A., Steffen, J. L. & Rodrigues, D. B. B. (2010). Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800005>
- Olszewski, N., Fernandes Filho, E. I., Costa, L. M., Schaefer, C. E. G. R., Souza, E. & Costa, O. D. V. (2011). Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. *Revista Árvore*, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000300011>
- Park, E. & Latrubesse, E. M. (2015). Surface water types and sediment distribution patterns at the confluence of mega rivers: The Solimões-Amazon and Negro Rivers junction. *Water Resour. Res.*, <https://doi.org/10.1002/2014WR016757>
- Pereira, H. L., Catalunha, M. J., Borges Junior, C. R. & Sousa, P. T. G. (2019). Qualidade de modelos digitais de elevação utilizando dados do SIGEF: Estudo de caso para as sub-bacias do Ribeirão dos Mangues e Rio Soninho no estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p187-200>
- Pereira, J. A. V. (2019). Análise ambiental da bacia de drenagem do açude Mucutú/PB utilizando sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1017-1038>
- Pinto, V. R., Pierangeli, M. A. P., Souza, C. A., Neves, S. M. A. S & Silva, C. J. (2018). Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Sararé, Sudoeste de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <http://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1721-1731>
- Santos, I. de O. & Mariano, G. (2017). Sistema de informação geográfica e caracterização fisiográfica automática da bacia hidrográfica do rio Tatuoca. *Revista Brasileira de Geografia Física*, <http://doi.org/10.5935/1984-2295.20170056>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, v.67, n.5, 597-646,

- [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:eodsas\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:eodsas]2.0.co;2)
- SERGIPE. Governo do Estado de Sergipe (2010). Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe – PERH-SE. Recuperado 02 junho, 2020, de https://www.semarh.se.gov.br/recursoshidricos/wp-content/uploads/2018/05/RFA_Relatorio_Sintese_da_Fase_A.pdf
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH (2016). Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe. Recuperado em 02 junho, 2020, de https://www.semarh.se.gov.br/recursoshidricos/?page_id=486
- Silveira, A. L.L. (2005). Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>
- Souza, C. F., Pertille, C. T., Corrêa, B. J. S. & Vieira, F. S. (2018). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Ivaí - Paraná. *Geoambiente On-line*, <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50602>
- Strahler, A. N. B. (1957) Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, v. 38, n. 6.
- Tolentino, F. M., Silva, C. R. & Santil, F. L. P. (2018). Compatibilidade visual das redes de drenagem da bacia hidrográfica do rio Jordão (MG) extraídas dos MDEs SRTM e ASTER usando operadores de simplificação e suavização. *Revista Raega*, <https://doi.org/10.5380/raega>
- Umrikar, B. N. (2016). Morphometric analysis of Andhale watershed, Taluka Mulshi, District Pune, India. *Appl Water Sci*, <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0390-7>
- Vieceli, N., Bortolin, T. A., Mendes, L. A.; Bacarim, G., Cemin, G. & Schneider, V. E. (2014). Morphometric evaluation of watersheds in Caxias do Sul City, Brazil, using SRTM (DEM) data and GIS. *Environmental Earth Science*, <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3823-3>
- Villela, S. M. & Mattos, A. (1975) *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245p.