REVISTA DA ANPEGE. V. 18. Nº. 36 — ANO 2022 E-ISSN: 1679-768X 25
DOI 10.5418/ra2022.v18i36.16166

ANÁLISE MORFOMÉTRICA COMPARATIVA DAS ALTAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIBEIRÕES SANTO ANTÔNIO E SANTA MARTA (IPORÁ-GO) COMO SUPORTE À AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

COMPARATIVE MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE HIGH WATERSHADS OF THE SANTO ANTÔNIO AND SANTA MARTA RIVERS (IPORÁ-GO) AS A SUPPORT TO THE EVALUATION OF HYDROLOGICAL BEHAVIOR

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO COMPARATIVO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS ALTAS DE LOS RÍOS SANTO ANTÔNIO Y SANTA MARTA (IPORÁ-GO) COMO APOYO A LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO

Derick Martins Borges de Moura
Universidade Estadual de Goiás (UEG)
derickmartins@hotmail.com

Ivanilton José de Oliveira
Universidade Federal de Goiás (UFG)
ivanilton.oliveira@gmail.com

Diego Tarley Ferreira Nascimento
Universidade Federal de Goiás (UFG)
diego_nascimento@ufg.br

RESUMO

O artigo faz uma análise morfométrica comparativa das altas bacias hidrográficas do ribeirão Santo Antônio (BHRSA), que fornece água para abastecimento de Iporá (GO), e do ribeirão Santa Marta (BHRSM), propícia a ser fonte complementar ao abastecimento da cidade. O objetivo foi analisar a influência da morfometria no comportamento hídrico das bacias. O estudo foi realizado com uso de modelagem matemática, produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Considerando os índices morfométricos obtidos, que foram analisados e comparados entre as duas bacias, percebe-se que a BHRSA é mais favorável à infiltração, e a BHRSM é mais favorável ao escoamento superficial. Isso evidencia que a última bacia possui um comportamento hidrológico mais ativo, ou seja, a água escoa com maior facilidade, sendo desfavorável para a recarga hídrica. Dessa forma, os dados indicam que a BHRSM pode ter sua vazão comprometida para atender o abastecimento hídrico de Iporá.

Palavras-chave: Análise morfométrica comparativa; Bacias hidrográficas; Geotecnologias; Recursos hídricos.

ABSTRACT

This paper makes a comparative morphometric analysis of the high watersheds of the Santo Antônio River (BHRSA), which supplies water to the city of Iporá - Goiás - Brazil, and the Santa Marta River (BHRSM), suitable to be a complementary source to supply the city. The objective was to analyze the influence of morphometry on the water behavior of the watersheds. The study was carried out using mathematical modeling, remote sensing products and geoprocessing techniques. Considering the morphometric indices obtained, which were analyzed and compared between the two watersheds, it can be seen that the BHRSA is more favorable to infiltration, and the BHRSM is more favorable to surface runoff. This shows that the last watershed has a more active hydrological behavior, that is, the water flows more easily, being unfavorable for water recharge. Thus, the data indicate that the BHRSM may have a compromised flow to meet the water supply of Iporá.

Keywords: Comparative morphometric analysis; Watersheds; Geotechnologies; Water resources.

RESUMEN

Este artículo hace un análisis morfométrico comparativo de las cuencas altas del río Santo Antônio (BHRSA), que abastece de agua a la ciudad de Iporá - Goiás - Brasil, y el río Santa Marta (BHRSM), apto para ser una fuente complementaria al abastecimiento la ciudad. El objetivo fue analizar la influencia de la morfometría en el comportamiento del agua de las cuencas. El estudio se llevó a cabo utilizando modelos matemáticos, productos de teledetección y técnicas de geoprocesamiento. Considerando los índices morfométricos obtenidos, que fueron analizados y comparados entre las dos cuencas, se puede observar que la BHRSA es más favorable a la infiltración, y la BHRSM es más favorable a la escorrentía superficial. Esto demuestra que la última cuenca tiene un comportamiento hidrológico más activo, es decir, el agua fluye con mayor facilidad, siendo desfavorable para la recarga hídrica. Así, los datos indican que la BHRSM puede tener un caudal comprometido para atender el abastecimiento de agua de Iporá.

Palavras-clave: Análisis morfométrico comparativo; cuencas hidrográficas; geotecnologías; Recursos hídricos.

Introdução

De acordo com Christofoletti (1980), a análise de bacias hidrográficas se tornou mais objetiva com a publicação do trabalho de Horton (1945), que apresentou um caráter quantitativo e estabeleceu leis de desenvolvimento dos rios e de suas bacias. Strahler (1952) deu continuidade nessa perspectiva, sendo fundamentada na Teoria dos Sistemas que, conforme Villela e Mattos (1975), possui grande importância no estudo, na avaliação e no monitoramento do comportamento hidrológico das unidades hidrográficas.

Segundo Hack (1960), a rede hidrográfica e as formas de relevo possuem propriedades geométricas que podem ser descritas quantitativamente. Seguindo esse pressuposto, a morfometria é a "propriedade" que caracteriza quantitativamente o relevo. Valeriano e Rossetti (2017) reforçam que a análise morfométrica refere-se à avaliação quantitativa das características da superfície da Terra e de qualquer unidade de relevo.

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas se baseia na análise das formas métricas do relevo e da dinâmica hidrológica da bacia (SOFIA, 2020). A análise de parâmetros morfométricos tem grande importância nos estudos de bacias hidrográficas, por retratar o comportamento hidrológico, no sentido de indicar a capacidade de infiltração da água no solo e/ou de escoamento superficial (MOURA et al., 2018; ALVES, 2019).

De acordo com Christofoletti (1980), os cursos hídricos constituem um processo morfogenético ativo na esculturação da paisagem terrestre. Para o autor, a análise da rede hidrográfica pode levar a compreensão e elucidação de diversas questões geomorfológicas, principalmente no que tange ao comportamento hidrológico e sua relação com o relevo.

O volume de água que atinge o ponto exutório de uma bacia depende do tamanho da área da bacia, da quantidade, intensidade e frequência das chuvas e das perdas de água representadas pela evapotranspiração e infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980). Da mesma forma, a velocidade que a água atravessa a bacia hidrográfica também é influenciada pela morfometria da bacia. Assim, a análise morfométrica comparativa de bacias hidrográficas auxilia no fornecimento de informações importantes sobre o comportamento das águas no contexto das bacias, provendo a avaliação da capacidade de infiltração/escoamento superficial entres as mesmas (NUNES, RIBEIRO e FIORI, 2006).

Os aspectos morfométricos destacam-se por oferecer um conjunto de parâmetros quantitativos que além de explicar melhor os processos geomorfológicos, servem de base para o planejamento do espaço, tendo as geoformas como indicadores (ROSS, 1992; 1994; GUIMARÃES et al., 2017).

A análise morfométrica comparativa visa confrontar os índices morfométricos entre as bacias hidrográficas, a fim de caracterizá-las como homogêneas ou não (CHEREM, 2008), em termos de dinâ-

mica hidrológica (ALMEIDA, BAYER e FERREIRA JÚNIOR, 2016).

Christofoletti (1980) afirma que o estudo hidrológico e das características físicas de uma bacia hidrográfica tem aplicação em diversas áreas, mas principalmente na geomorfologia, que busca compreender as formas do relevo e sua relação com o comportamento hidrológico.

A utilização de ferramentas geotecnológicas contribui para a análise morfométrica de bacias hidrográficas, uma vez que proporciona maior praticidade na obtenção dos dados de parâmetros morfométricos, que podem ser extraídos de forma semi-automática a partir de derivações do Modelo Digital de Elevação (MDE), conforme frisado por Moura *et al*. (2018). Nesse sentido, o uso das imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) tem se tornado cada vez mais frequente em estudos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, dentre outros, em particular, para análises quantitativas do relevo e de seus agentes modificadores (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004; CARVALHO E BAYER, 2008).

Sob o aporte de geotecnologias e modelos matemáticos propostos por Horton (1945), Strahler (1952), Müller (1953), Schumm (1956), Melton (1957), Schumm (1963), Villela e Mattos (1975), é possível realizar a análise morfométrica de bacias hidrográficas com rapidez e representatividade (Alves, 2019; Bahrami, Capolongo e Mofrad, 2020).

Para auxiliar no planejamento, na gestão e na exploração (sustentável) dos recursos hídricos, especialmente para o abastecimento público, pode-se utilizar a análise morfométrica das bacias hidrográficas. Moura et al. (2018) apontam que esse tipo de análise é um importante insumo para um maior entendimento da dinâmica dos recursos hídricos e melhor avaliação da disponibilidade hídrica, sobretudo, sob o aporte das geotecnologias.

Desse contexto, chamamos a atenção para a cidade de Iporá, situada no oeste do estado de Goiás, cujo problema de escassez dos recursos hídricos para abastecimento da cidade vem se manifestando com frequência, devido ao aumento da demanda hídrica e à redução da oferta, por conta de degradações ambientais na alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio (BHRSA), que é fonte fornecedora de água para o abastecimento público de Iporá (MOURA, 2017). Por tal motivo, a alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Marta (BHRSM) tem sido avaliada como uma futura fonte fornecedora de água para complementar o abastecimento da cidade de Iporá.

Assim, o objetivo central deste estudo é o de realizar uma análise morfométrica comparativa nas altas Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Santo Antônio e Santa Marta, no intuito de avaliar o comportamento hídrico dessas unidades, visto que no trabalho de Moura et al. (2018), foi encontrada menor vazão de estiagem na BHRSM, sendo essa 116% maior que a BHRSA. Dessa forma, a justificativa principal deste estudo é a de fornecer subsídios aos gestores públicos para que assegurem o abastecimento hídrico da cidade de Iporá em cenários futuros.

Materiais e métodos

No presente tópico, inicialmente, são situadas e caracterizadas as áreas em estudo, isto é, as altas bacias hidrográficas do ribeirão Santo Antônio (BHRSA) e Santa Marta (BHRSM). Na sequência são descritos os procedimentos metodológicos empenhados no estudo.

Caracterização das áreas de estudo

A BHRSA tem sua área totalmente inserida no município de Iporá, enquanto a BHRSM tem grande parte de sua área drenada no município de Amorinópolis (Figura 1). A BHRSA integra a bacia hidrográfica do Rio Caiapó e a BHRSM é um afluente do Rio Claro, sendo que ambas deságuam na bacia hidrográfica do Rio Araguaia/Tocantins.

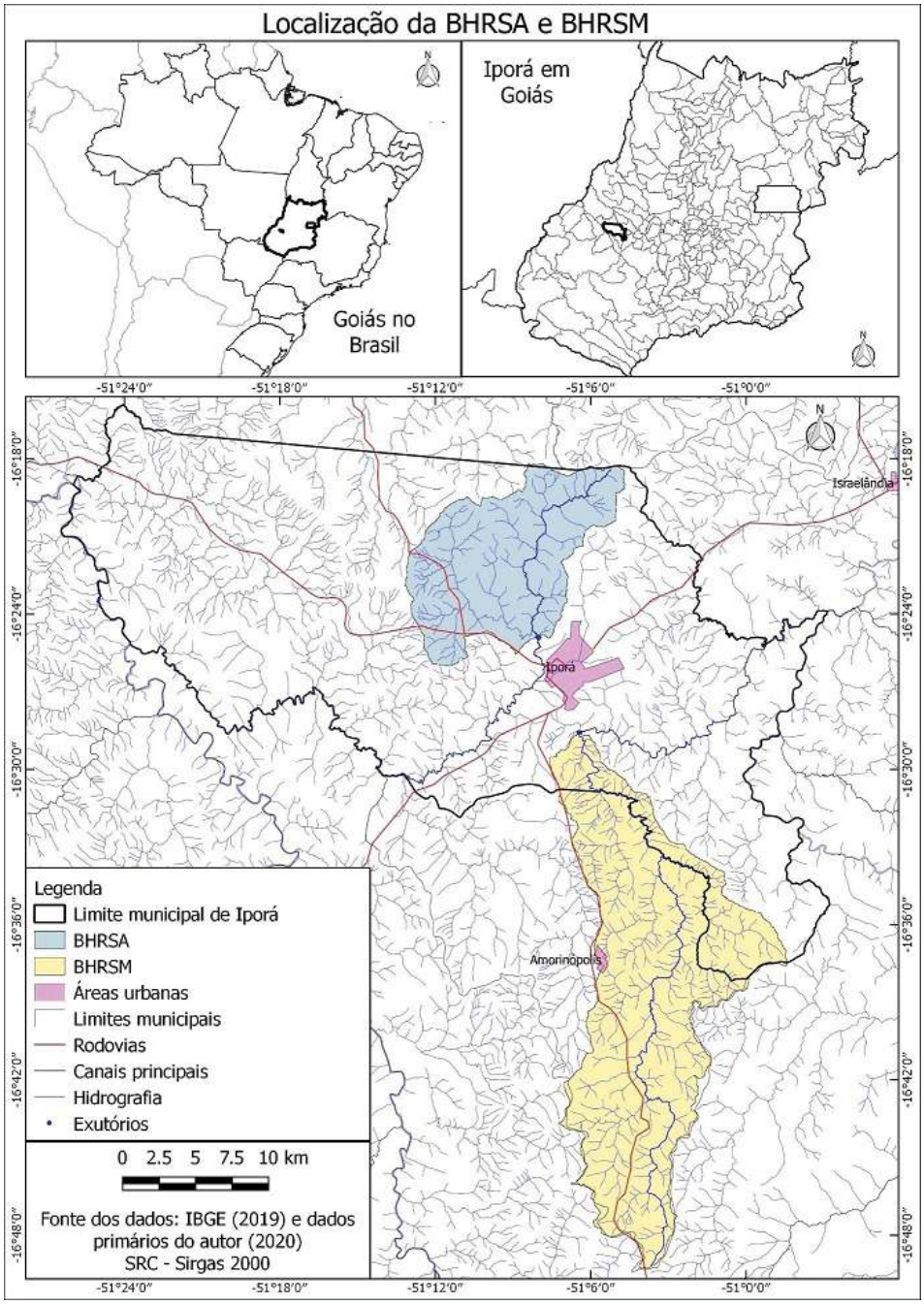


Figura 1 - Localização das bacias. Fonte: IBGE, (2017; 2019) e mapa organizado pelos autores (2022).

A alta BHRSA compreende a área de contribuição à montante do ponto de captação de água (exutório), que é realizada pela empresa de Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO), estando situada a noroeste do perímetro urbano de Iporá (GO). No caso da alta BHRSM, o exutório foi estabelecido no ponto da possível captação, onde o manancial passa mais próximo à cidade.

O município de Iporá faz parte da região de planejamento denominada Oeste Goiano, e possui área territorial de 1.026,3km². A cidade se encontra a uma distância de 216 km de Goiânia, capital do estado de Goiás, tendo como vias de acesso as rodovias GO-060, GO-174, GO-221 e GO-320. De acordo com a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a população do município corresponde a 31.471 habitantes.

As áreas em estudo estão localizadas na região climática definida, segundo a classificação de Köppen-Geiger (1961), como sendo do tipo Aw, caracterizado por ser de clima tropical, com chuva de verão, mês mais frio com temperatura média superior a 18ºC e existência de duas estações bem definidas: uma seca, de maio a setembro, e outra úmida, de outubro a abril. Nimer (1979) indica para a área em apreço o predomínio do clima Tropical Brasil Central quente e semiúmido, com média maior que 18°C em todos os meses e ocorrência de 4 a 5 meses secos.

A precipitação média anual, segundo dados da série histórica do posto pluviométrico 1651001 da Agência Nacional de Águas (ANA), instalado em Iporá, referentes ao período de 1974 a 2018, é de 1.589 mm. O período chuvoso concentra-se em sete meses (outubro a abril) e o período seco em cinco (maio a setembro). De acordo com os dados da série histórica, o período chuvoso concentra um volume de 1495,7mm, perfazendo 94,12% da média anual de precipitação, ao passo que o período seco representa pouco mais de 5% da precipitação anual.

No contexto geológico, a BHRSA está situada na porção sudoeste da província Tocantins (ALMEIDA et al., 1977), inserida predominantemente no compartimento geotectônico caracterizado como Arco Magmático de Goiás (PIMENTEL e FUCK, 1992), contendo formações residuais da bacia sedimentar do Paraná, uma vez que está localizada na borda setentrional desse compartimento de coberturas fanerozóicas. Na bacia estão expostos ortognaisses (granitóides deformados), rochas da sequência vulcanosedimentar de Iporá, intrusões gabro-dioríticas e graníticas, rochas da suíte alcalina de Iporá, além de formações residuais fanerozóicas da bacia sedimentar do Paraná e coberturas detrito lateríticas ferruginossas (LACERDA FILHO *et al*., 2018).

Por sua vez, a BHRSM está inserida predominantemente na Bacia Sedimentar do Paraná, no contato com o Arco Magmático de Goiás e com a sequência metavulcanossedimentar (PIMENTEL e FUCK, 1992; MOREIRA et al., 2008), contendo rochas sedimentares, coberturas detrito lateríticas cenozóicas e também granitóides, metavulcanossedimentares e rochas intrusivas máfica-ultramáficas. As litologias das bacias abrangem os grupos de rochas com idades que datam do Período Criogeniano ao Quaternário (LACERDA FILHO et al., 2018).

No contexto hidrogeológico, a BHRSA está inserida na província hidrogeológica do escudo central, que corresponde predominantemente ao domínio hidrogeológico cristalino, enquanto a BHRSM está situada predominantemente na borda da província hidrogeológica do Paraná, sendo um domínio hidrogeológico de bacia sedimentar, correspondente à bacia sedimentar do Paraná (FEITOSA et al., 2008).

Procedimentos metodológicos

Os dados empregados no estudo foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) (VALERIANO, 2005; VALERIANO, ROSSETTI e ALBUQUERQUE 2009), derivado do processamento de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e refinamento da sua resolução original de 90m para 30m.

O processamento dos dados e a elaboração dos produtos cartográficos se deram mediante o uso do *software* QGIS (v. 3.4.5). Foi utilizado o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22 S.

A partir do MDE, foi realizada a delimitação automática das bacias hidrográficas e a extração e classificação das drenagens, por meio da extensão *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM), contida no QGIS.

Todo esse processo se deu de forma automática, ficando a cargo do operador apenas a escolha dos pontos definidos como os exutórios das bacias, que correspondem aos pontos de maior acúmulo de fluxo de água de ambas bacias. Para o posicionamento dos exutórios de forma mais precisa, as locações foram feitas inicialmente levando-se em conta a observação de imagens de alta resolução, disponíveis no programa *Google Earth Pro*, com posterior validação em campo com a coleta das coordenadas planas, com uso de aparelho receptor GNSS, modelo Monterra, da Garmin.

A etapa seguinte consistiu no levantamento de variáveis secundárias do MDE, compreendendo os seguintes índices: área (A), perímetro (P), número dos cursos hídricos (N), comprimento axial (La), ponto mais alto (PI), ponto mais baixo (PII), altitude, declividade da bacia, comprimento do canal principal (Lp), comprimento total dos canais (Lt), relação de bifurcação média (Rb), perfil longitudinal do canal principal, curva hipsométrica e ordem hierárquica dos canais. No Quadro 1 a seguir é apresentada uma síntese da descrição, da equação e dos autores de referência para cada índice morfométrico.

Índices	Descrição	Fórmulas	Autores
Coeficiente de compacidade (Kc)	Corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia hidrográfica.	Onde: P, o perímetro da bacia, em km; e A, a área em km2.	(VILLELA e MATTOS, 1975)
Fator de forma (Kf)	Relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz até o ponto mais distante do espigão).	Onde: A, a área da bacia, em km²; e La, o comprimento axial da bacia, em km.	(VILLELA e MATTOS, 1975)
Índice de circularidade	É a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.	Onde: A, a área da bacia, em km²; e P, o perímetro da bacia, em km.	(MÜLLER, 1953)
Densidade hidrográfica	É a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia, também conhecida como frequência de drenagem.	Onde: Ncpo, o número dos canais de primeira ordem; e A, a área da bacia, em km².	(HORTON, 1945)
Amplitude altimétrica máxima	É a diferença entre a cota máxima e mínima.	Onde: Hm é a amplitude altimétrica máxima da bacia, em m; PI, a altitude máxima do divisor topográfico, em m; e PII, a altitude da foz, em m.	(STRAHLER, 1952)
Índice de rugosidade	Corresponde ao produto entre a amplitude altimétrica máxima e a densidade de drenagem da bacia.	Onde: Ir é o índice de rugosidade, adimensional; Hm, a amplitude altimétrica máxima, em m; e Dd, a densidade de drenagem, em km.km-2.	(MELTON, 1957)
Declividade do canal principal	É a declividade média entre pontos extremos do canal principal, que é obtida através da diferença entre as cotas máximas na cabeceira e mínima, na foz.	Onde: S1 é a declividade do canal principal, em %; Hm, a amplitude altimétrica máxima, ou seja, a variação da cota entre os dois pontos extremos em m; e Lp, o comprimento em nível do curso de água principal, medido da foz à nascente principal, em m.	(VILLELA e MATTOS, 1975)

Índice de sinuosidade do curso de água principal	Relaciona o comprimento verdadeiro do canal (em projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal.	Onde: Is é o índice de sinuosidade, em km.km-1; Lp, o comprimento do curso hídrico principal, em km; e Ev, o equivalente vetorial médio em linha reta, em km.	(SCHUMM, 1963)
Razão de relevo	Relaciona a amplitude altimétrica máxima da bacia e sua maior extensão medida paralelamente à principal linha de drenagem.	Onde: Rr é a razão de relevo, em m/km; Hm, a amplitude topográfica máxima, em m; e La, o comprimento axial da bacia hidrográfica, em km.	(SCHUMM, 1956)
Densidade de drenagem	Reflete a distância espacial entre os canais de uma determinada área através da análise da relação entre o comprimento total dos canais de uma bacia com sua área.	Onde: Dd é a densidade de drenagem, em km/km²; Lt, o comprimento total dos canais, em km; e A, a área da bacia, em km².	(HORTON, 1945)
Coeficiente de manutenção	Indica a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.	Onde: Cm é o coeficiente de manutenção, em m².m-1; Dd, a densidade de drenagem, em km/km².	(SCHUMM, 1956)
Extensão do percurso superficial	Corresponde à distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um curso de água permanente.	Onde: Eps é a extensão do percurso superficial, em km; e Dd, a densidade de drenagem, em km/km².	(HORTON, 1945)
Índice de Dissecação do Relevo	Integra as variáveis grau de entalhamento do vale e dimensão interfluvial média, sendo diretamente proporcional à primeira variável e inversamente proporcional à segunda.	Automatizada via geoprocessamento conforme matriz apresentada por Ross (1994) e proposta alternativa 3 de Guimarães et al. (2017).	(ROSS, 1994; GUIMARÃES et al., 2017).
HAND (Height Above the Nearest Drainage)	Representa a distância vertical à drenagem mais próxima.	Automatizada via geoprocessamento conforme proposta de Rennó et al. (2008), utilizando um limiar de 200 que melhor reproduziu a rede de drenagem.	(RENNÓ et al., 2008).

Quadro 1 – Índices morfométricos e suas respectivas descrições, fórmulas e autores. Fonte: organizado pelos autores (2022)

Destaca-se que, dentre os diversos índices morfométricos presentes na literatura, foram selecionados os que melhor retratam a infiltração e o escoamento superficial da água das chuvas, a serem

abordados no presente trabalho, haja vista a intenção de analisar e comparar uma bacia atualmente utilizada para captação de água para abastecimento hídrico com outra bacia vizinha que poderá ser fonte complementar para abastecimento público.

Resultados e discussão

Para a análise comparativa das características morfométricas das altas bacias hidrográficas dos ribeirões Santo Antônio (BHRSA) e Santa Marta (BHRSM) são apresentadas, nos tópicos que seguem, a análise areal das bacias, dos elementos do relevo e da rede de drenagem das áreas em apreço.

Análise areal das bacias

Segundo Strahler (1952), a área da bacia é a superfície projetada sobre um plano horizontal, que representa a capacidade de captação e armazenamento de água disponível e, portanto, quanto maior a área, maior poderá ser o volume de precipitação entrando no sistema da bacia hidrográfica. Schumm (1956) afirma que a área da bacia cresce exponencialmente com a ordem dos canais. Além disso, quanto maior a área da bacia, maior o número de canais de 1ª ordem, e maior o perímetro da bacia. O perímetro da bacia é a projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas (SOUZA, 2005).

Conforme indicado pela Tabela 1, a área e o perímetro da BHRSA correspondem a 127,06 km² e 74,24 km, respectivamente. No caso da BHRSM, esses dados correspondem a 274,32 km² e 140,08 km. Ou seja, a área da BHRSM representa mais que o dobro da BHRSA. É certo que a área disponível para captação da água da chuva é maior na BHRSM, sendo que esse parâmetro repercute um possível maior volume de água no sistema da bacia. Contudo, não significa que esse volume de água permanecerá por maior período de tempo na bacia, ou seja, o tempo de concentração da água na bacia será determinado pelos aspectos morfométricos e outros aspectos físicos e antrópicos.

Variável	Símbolo	Unidade	Resultado	
			BHRSA	BHRSM
Área	A	km²	127,06	274,32
Perímetro	P	km	74,24	140,08
Comprimento axial da bacia	La	km	13,38	38,31
Distância vetorial do canal principal	Dv	km	12,91	38,31

Coeficiente de compacidade	Kc	ad	1,84	2,36
Fator de forma	Kf	ad	0,37	0,18
Índice de circularidade	Ic	ad	0,29	0,17
Densidade hidrográfica	Dh	canais/km²	1,40	1,56

Tabela 1 - Caracterização areal das bacias. Obs.: ad: adimensional. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

Segundo Horton (1945), a distância vetorial do canal principal (Dv) é a distância, em linha reta, entre a nascente e a foz (ou exutório) do canal principal. Esse parâmetro tem relação diretamente proporcional com a área e o perímetro da bacia. O Dv da BHRSA é de 12,91 km e o da BHRSM é de 38,31 km. O Dv é uma variável que influencia no cálculo do índice de sinuosidade do canal principal, demonstrando as formas do canal, o tempo de concentração da água e a velocidade do escoamento, pois quanto mais retilíneo for um canal, mais rapidamente a água poderá escoar por ele.

O comprimento axial da bacia (La) é utilizado no cálculo do fator de forma (Kf), pois quanto maior for o La, menor poderá ser o Kf e mais alongada será a bacia. O La da BHRSA é 13,38 km e da BHRSM é 38,31 km, indicando a última bacia com formato mais alongado, ou seja, mais favorável ao escoamento superficial e com menor tempo de concentração das águas.

Conforme Vilela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (Kc) pode ser interpretado como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual à bacia. Quanto mais alongada for a bacia, maior será o Kc, o que representará maior tendência de uma bacia hidrográfica ao escoamento superficial e menor tempo de concentração das águas, desfavorecendo a infiltração e recarga dos aquíferos.

De acordo com Spanghero, Meliani e Mendes (2015), caso a bacia hidrográfica tenha a forma de um círculo perfeito, o Kc será 1, que é o valor mínimo. Ou seja, quanto mais próximo de 1 mais circular é a bacia hidrográfica, e ao contrário, quanto maior o Kc, mais próximo da forma alongada.

Na BHRSA o Kc é de 1,84, representando que a bacia, de maneira geral, possui capacidade de escoamento superficial mediana, sendo pouco propensa a cheias. Na BHRSM o Kc é de 2,36, indicando que a bacia possui formato alongado e maior facilidade de escoamento superficial das águas, resultando em um menor tempo de concentração, quando comparado com a BRHSA.

Spanghero, Meliani e Mendes (2015) destacam que uma bacia hidrográfica alongada apresenta baixa probabilidade de ter toda sua área atingida por chuvas intensas ao mesmo tempo. Menezes et al. (2014) também afirmam que em uma bacia hidrográfica estreita e longa, com Kf baixo, há menor possibilidade de ser atingida por chuvas intensas cobrindo, simultaneamente, toda sua extensão. Soares et al. (2016) destacam que quanto mais próximo de 1 for o valor obtido para o Kf no estudo de bacia hidrográfica, maior probabilidade de ocorrência de enchente, e quanto menor o valor de Kf maior facilidade de escoamento superficial. O valor de Kf da BHRSA (0,37) é maior que o da BHRSM (0,18), demonstran-

do que essa última bacia possui um formato mais alongado, com tempo de concentração menor, menos propensa a enchentes e mais sujeita ao escoamento superficial.

De acordo com Christofoletti (1974), o índice de circularidade (Ic) foi proposto com o objetivo de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia. Para o cálculo do Ic é necessário obter o valor da área do círculo de perímetro igual ao da bacia em questão. O Ic apresenta valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia, contribuindo no aumento do tempo de concentração e sendo também mais propensa ao desenvolvimento de cheias.

Schumm (1956) afirma que valores baixos de Ic, sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento, e valores próximos a 1, indicam que tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação/tempo de concentração das águas. A BHRSM apresenta Ic (0,17) que demonstra ser uma bacia mais alongada, menos propensa a ocorrência de enchentes e mais favorável ao escoamento superficial que a BHRSA, cujo Ic é mais alto (0,29).

Soares et al., (2016) ressaltam que é importante que as variáveis Kc, Kf e Ic sejam analisadas em conjunto para a indicação da capacidade do escoamento superficial em bacias hidrográficas. A análise desses índices para as bacias evidencia maior capacidade de escoamento superficial na BHRSM e um maior tempo de concentração das águas na BHRSA.

Segundo Horton (1945), a densidade hidrográfica (Dh) constitui a relação existente entre o número de canais e a área da bacia hidrográfica. Destina-se a comparação da frequência de cursos de água existentes em uma área. O autor classifica as bacias com baixa densidade hidrográfica como sendo as que possuem valores abaixo de 0,5 canais/km²; mediana com valores de 0,5 a 1,5 canais/km²; boa com valores entre 1,5 e 2,5 canais/km²; muito boa entre 2,5 e 3,5 canais/km²; e excepcionais maiores que 3,5 canais/km².

De acordo com Christofoletti (1980), a Dh representa o comportamento hidrográfico de uma área na sua capacidade de gerar novos cursos d'água, em função das características dos solos, rochas e climáticas da área, o que pode servir de inferências qualitativas quanto à permeabilidade da área, ao nível do lençol freático e à distribuição da precipitação sobre a bacia hidrográfica (ALMEIDA et al., 2013).

A Dh é de 1,40 canais/km² para a BHRSA, sendo menor que a BHRSM, que é de 1,56 canais/km², ou seja, para cada km² nas bacias hidrográficas existem 1,40 e 1,56 canais, respectivamente, o que caracteriza a BHRSM com alta capacidade de gerar novos canais, facilitando a água precipitada na superfície do solo a encontrar rapidamente um canal para escoar, dificultando a infiltração. Isso reforça que a BHRSM possui maior capacidade de escoamento superficial que a BHRSA.

Elementos do relevo

Os resultados dos elementos do relevo são apresentados na Tabela 2.

Variável	Símbolo	Unidade	Resultado	
			BHRSA	BHRSM
Ponto mais alto da bacia	PI	m	888	960
Ponto mais baixo da bacia	PII	m	557	466
Altitude média	Am	m	646,2	640,3
Amplitude altimétrica máxima	Hm	m	331	494
Índice de rugosidade	Ir	ad	420,70	637,26
Altitude máxima do canal principal	PIcp	m	767	850
Altitude mínima do canal principal	PIIcp	m	557	466
Amplitude Altimétrica do canal principal	Hmcp	m	210	384
Declividade média do canal principal	Dcp	%	1,14	0,71
Índice de sinuosidade do canal principal	Is	Km/km	1,42	1,40
Razão de relevo	Rr	m/km	24,73	12,89
Declividade mínima da bacia	Dmin	%	0	0,02
Declividade máxima da bacia	Dmax	%	53	63
Declividade média da bacia	Dmed	%	8,42	9,81

Tabela 2 - Elementos do relevo das bacias. Legenda: ad: adimensional. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

O maior valor da amplitude altimétrica encontrado na BHRSM revela grande diferencial de altitude entre partes altas da bacia e o exutório, aumentando a velocidade média do escoamento na calha do rio, que associada à baixa sinuosidade do mesmo, influencia em menor tempo de concentração (MENEZES et al., 2014).

O índice de rugosidade relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, expresso pela declividade média. Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Trata-se de um índice adimensional que

corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia, o que indica o desnível médio da bacia hidrográfica (MELTON, 1957; MOURA et al., 2018; ALVES, 2019).

De acordo com Sousa e Rodrigues (2012), bacias hidrográficas com Ir de 551 a 950 são classificadas como de rugosidade forte (Quadro 2). Estes autores destacam, ainda, que elevados valores de rugosidade indicam acentuado escoamento superficial e também ocorrências erosivas.

Ir (ad)	Denominação
0 - 150	Fraca
151 – 550	Média
551 – 950	Forte
> 950	Muito forte

Quadro 2 - Classificação do índice de rugosidade de bacias hidrográficas. Legenda: Ir; índice de rugosidade; ad: adimensional. Fonte: Sousa e Rodrigues (2012).

O valor do Ir (637,26) encontrado na BHRSM classifica a rugosidade como forte (Quadro 2), ou seja, com forte ocorrência de escoamento superficial e processos erosivos. Já na BHRSA o valor do Ir encontrado foi 420,70, sendo mais baixo que na BHRSM, indicando uma capacidade média de escoamento superficial.

Na BHRSA o Ir indica maior propensão para infiltração das águas do que ao escoamento superficial. Já na BHRSM o valor mais alto do Ir, demonstra um relevo acidentado e bem dissecado, mais propenso ao escoamento superficial.

Hack (1965 apud CASSETI, 2005) verificou que a declividade dos canais fluviais diminui com o comprimento do rio e varia em função do material que está sendo escavado. A declividade média do canal principal (S1) é de 0,71% para a BHRSM, que é menor que na BHRSA (1,14%), devido ao canal principal da BHRSM ser bem mais extenso.

O índice de sinuosidade (Is) do canal principal foi apresentado inicialmente por Horton (1945) e descrito por Alves e Castro (2003) como sendo uma das formas de representar a influência da carga sedimentar e a compartimentação litológica e estrutural. Valores próximos a 1 indicam elevado controle estrutural ou alta energia, e valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo os valores intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandrantes.

Lana, Alves e Castro (2001) destacam que Is próximo a 1 indica que o canal tende a ser retilíneo; valores superiores a 2 sugerem canais tortuosos; valores intermediários indicam formas transicionais,

regulares e irregulares; e a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais. Conforme Spanghero, Meliani e Mendes (2015), a sinuosidade de um canal fluvial é um dos fatores controladores da velocidade do escoamento, pois quanto mais retilíneo for um canal, mais rapidamente a água poderá escoar por ele.

O índice de sinuosidade do canal principal da BHRSM é de 1,40, pouco menor que o da BHRSA (1,42), indicando equivalência no poder de escoamento superficial das águas e carreamento de sedimentos. Ambas as bacias estão em situações relativamente intermediárias, entre a condição retilínea e sinuosa.

Conforme destaca Schumm (1956), quanto maior o valor de razão de relevo (Rr), maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, como consequência, maior será a declividade média da bacia hidrográfica. Além disso, Menezes et al. (2014) afirmam que a Rr determina a maior ou menor velocidade de água a escoar na bacia hidrográfica, sendo que a menor velocidade de escoamento superficial possibilita maior infiltração de água no solo.

O valor da Rr obtido para a BHRSA foi de 24,73m/km e o da BHRSM foi de 12,89m/km, o que não foi representativo para a declividade média das bacias, devido ao comprimento axial da BHRSM ser maior que da BHRSA. A aplicação da amplitude altimétrica relacionada com o comprimento axial das bacias forneceu um resultado que mascarou a real declividade representada pela razão do relevo, devido as elevadas altitudes representarem somente uma pequena porção na BHRSA.

Os valores de Hm, Ir, Hmcp, PIIcp, Dmin, Dmáx e Dmed da BHRSM são mais elevados que os da BHRSA, o que indica uma bacia mais favorável ao escoamento superficial. O mapa hipsométrico (Figura 2) e a Tabela 2 ilustram as classes altimétricas das bacias.

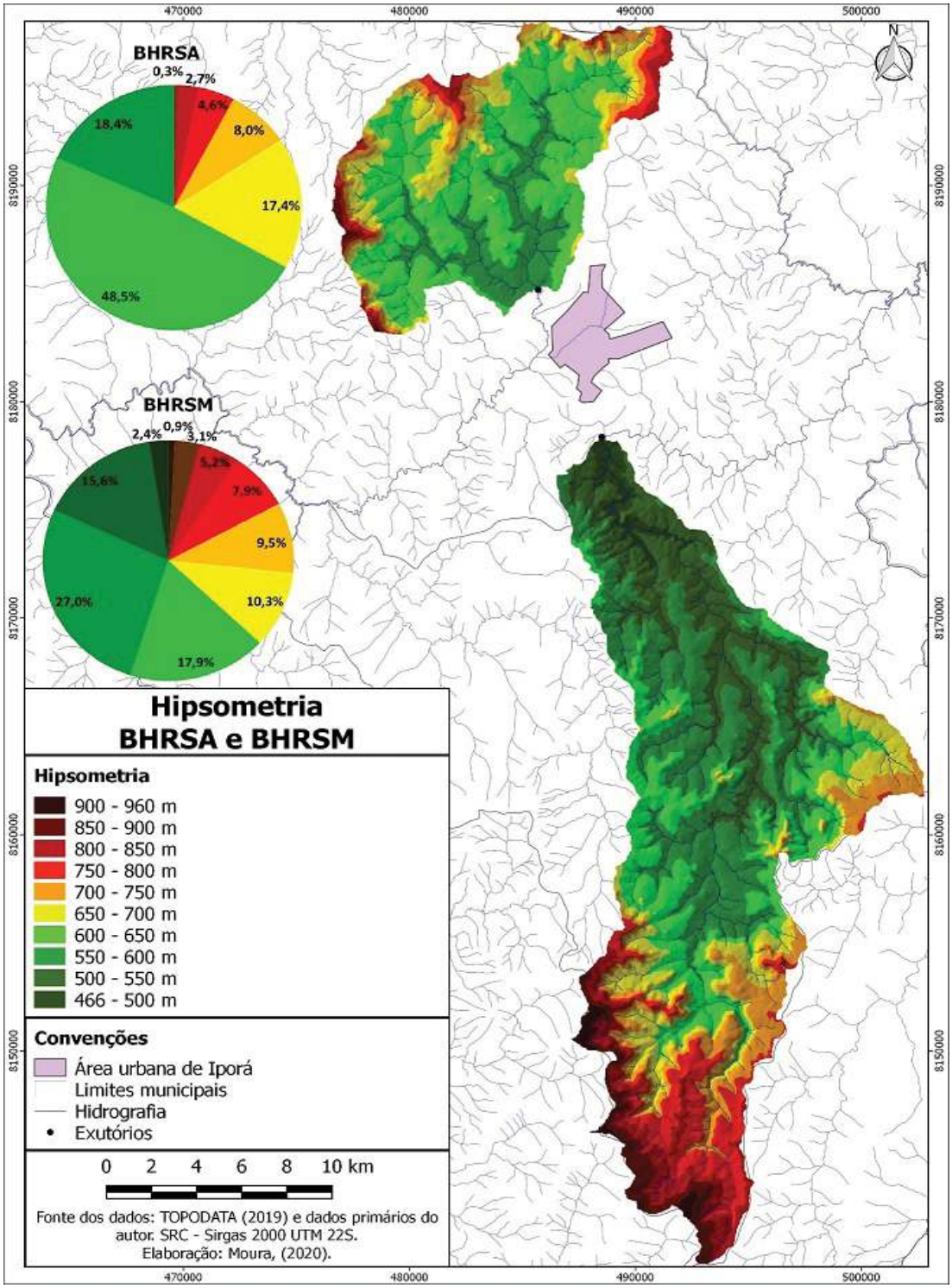


Figura 2 - Classes de altimetria das BHRSA e BHRSM. Fonte: Mapa elaborado pelos autores (2022).

Classes (m)	BHRSA		BHRSM	
	Área		Área	
	Km²	%	Km²	%
900 - 960	-	-	2,38	0,9
850 - 900	0,42	0,3	8,74	3,1
800 - 850	3,48	2,7	14,56	5,2
750 - 800	5,8	4,6	21,98	7,9
700 - 750	10,16	8,0	26,36	9,5
650 - 700	22,12	17,4	28,72	10,3
600 - 650	61,66	48,5	49,6	17,9
550 - 600	23,32	18,4	75,08	27,0
500 - 550	-	-	43,4	15,6
466 - 500	-	-	6,79	2,4
Total	127,06	100	274,32	100

Tabela 2 - Classes de altimetria das bacias. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

Quase metade (48,5%) da área da BHRSA possui cotas altimétricas entre 600 e 650m, sendo que 84,3% da bacia é representada pelas três classes com menor elevação (550-700m), o que configura uma bacia geomorfologicamente mais senil e evoluída. Por sua vez, a BHRSM possui maior diversidade altimétrica, assinalando uma bacia mais jovem, em que são comuns processos erosivos ativos. Bacias muito evoluídas, ou seja, muito denudadas, possuem maior parte da sua área em cotas altimétricas baixas. Bacias com cotas altimétricas bem distribuídas e com boa parte em cotas elevadas são mais jovens, pouco denudadas, com processos erosivos muito ativos (STRAHLER, 1952; SCHUMM, 1956; CHENG et al., 2018).

De acordo com Strahler (1952), a curva hipsométrica é uma forma simplificada de representar o ciclo geomorfológico Davisiano, caracterizando o relevo numa fase jovem, quando há maiores elevações, até uma fase madura, quando o relevo possui baixas elevações, ou seja, em estado de equilíbrio.

A curva hipsométrica da BHRSA possui perfil côncavo, que indica ser uma bacia com relevo muito evoluído, onde houve grande denudação do relevo, estando agora em maior estágio de equilíbrio (SANTOS, LADEIRA e BATEZELLI, 2019). A BHRSM possui curva hipsométrica mais convexa, indicando uma bacia com características de relevo mais jovem, que sofre acentuadamente as ações dos processos erosivos. As curvas hipsométricas das bacias é ilustrada na Figura 3, a seguir.

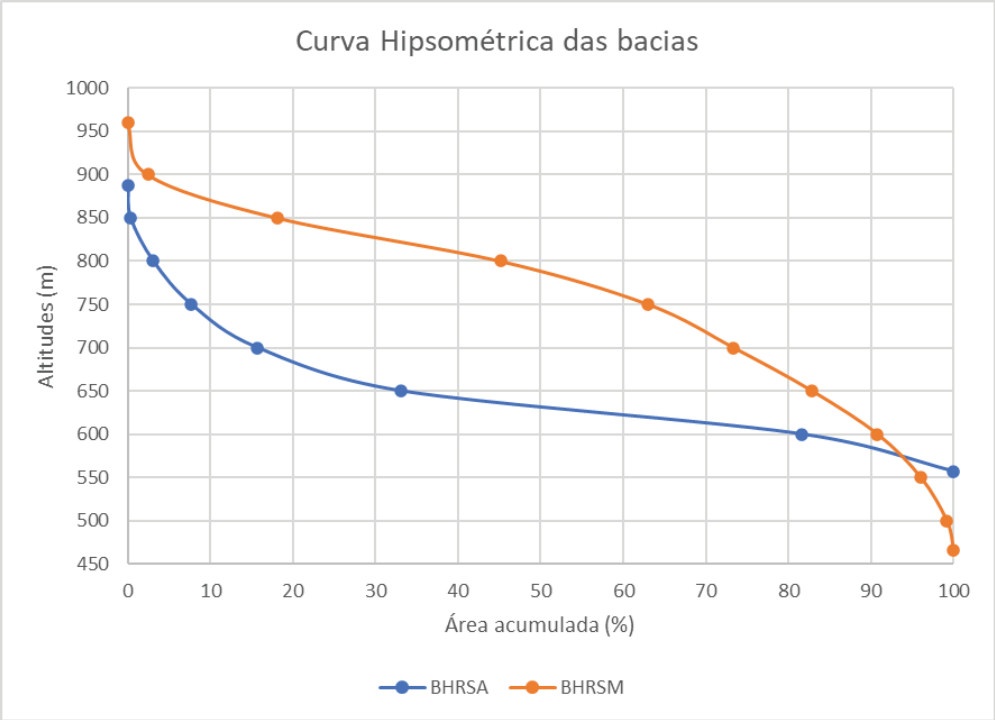


Figura 3 – Curvas hipsométricas das bacias. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

A curva hipsométrica mostra-se como um importante indicador para análise de tipo de processo de denudação dominante nas bacias. Conforme Christofoletti (1980), a curva hipsométrica tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo. Quando a curva tiver tendência convexa no canto superior direito, representa ambientes mais jovens. Curvas que tendem a côncava e se concentram na parte inferior esquerda caracterizam ambientes mais maduros, com geologia específica, onde relevos residuais formam transições abruptas de altitude.

Segundo Grohmann e Ricomini (2012), as curvas com concavidade para cima representam paisagens antigas e dissecadas, já as curvas com concavidade para baixo são típicas de paisagens jovens. Curvas convexas revelam estágio de desequilíbrio jovem, ao passo que curvas com início sigmoide e côncavas indicam bacias mais maduras, em maior equilíbrio (SCHUMM, 1956).

O percurso que o canal principal descreve ao longo de sua extensão (perfil longitudinal) possibilita obter informações de seu gradiente, desde a nascente ao exutório (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004). O perfil longitudinal de um canal representa um elemento muito importante para o estudo da geomorfologia, pois auxilia no entendimento da configuração do sistema fluvial, retratando a interação entre a incisão fluvial, a litologia e as trocas no nível de base (LARUE, 2008). O perfil longitudinal reflete

as influências geológicas, tectônicas e de mudanças de nível de base, além de influenciar nos processos fluviais de erosão e deposição (RICHARDS, 1982; FUJITA et al., 2011).

O perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água, para as diversas localidades situadas entre a nascente e a foz. Para muitos rios, a curva representativa dessa relação tem perfil côncavo para o céu, com declividades maiores a montante e menores a jusante (CHRISTOFOLETTI, 1981). Cursos d'água que apresentam tal morfologia são considerados em equilíbrio, isto é, quando há relação de igualdade entre a atuação da erosão, do transporte e da deposição (CUNHA, 2007).

Os perfis longitudinais do Ribeirão Santo Antônio (RSA) e Ribeirão Santa Marta (RSM) são ilustrados na Figura 4, na mesma escala.

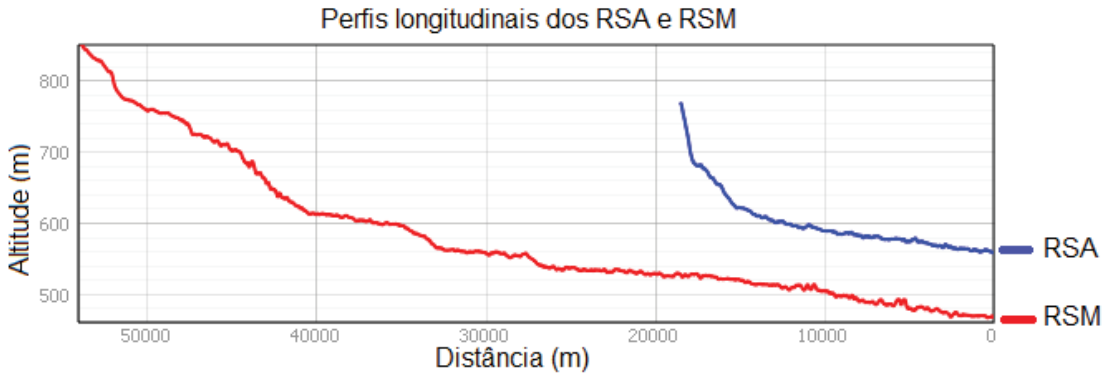


Figura 4 - Os perfis longitudinais dos RSA e RSM. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

O perfil longitudinal do RSA tem concavidade para cima, com declividades maiores a montante e menores a jusante, em maior estágio de equilíbrio quando comparado com o RSM. O que significa maior ação dos processos erosivos no RSM.

Na classificação clinográfica implementada seguindo a proposta da Embrapa (2013), foram obtidas cinco classes de declividades, desde plano até montanhoso, com declividade máxima de 53% e média de 8,42% para a BHRSA, e máxima de 63% e média de 9,81% para a BHRSM (Tabela 6 e Figura 5).

Classes (%)	Relevo	BHRSA		BHRSM	
		Área		Área	
		Km²	%	Km²	%
0 – 3	Plano	10,4	8,23	15,55	5,66
3 – 8	Suave-ondulado	63,8	50,18	113,78	41,48
8 – 20	Ondulado	44	34,58	121,29	44,22
20 – 45	Forte-ondulado	8,8	6,97	22,38	8,15
45 – 75	Montanhoso	0,06	0,05	1,32	0,48
Total	-	127,06	100	274,32	100

Tabela 6 - Classes de declividade das bacias. Fonte: Elaborada pelos autores (2022) conforme a classificação da Embrapa (2013).

Na BHRSA a declividade varia de 0 a 53% e apresenta 50,58% da área total com declividade entre 3 a 8% (suave-ondulado); seguida de 34,74% com declividade entre 8 a 20% (ondulado); 7,99% com declividade entre 0 a 3% (plano); 6,62% com declividade entre 20 a 45% (forte-ondulado); 0,04% com declividade entre 45 a 53% (montanhoso) e não apresenta áreas com a categorias de relevo forte-montanhoso.

Na BHRSM a declividade varia de 0,02 a 63%, tendo assim uma maior amplitude clinográfica que a BHRSA. A BHRSM apresenta: 44,22% com declividade entre 8 a 20% (ondulado) seguida de 41,48% da área total com declividade entre 3 a 8% (suave-ondulado); 8,15% com declividade entre 20 a 45% (forte-ondulado); 5,66% com declividade entre 0 a 3% (plano); 0,48% com declividade entre 45 a 63% (montanhoso) e também não apresenta áreas com a categorias de relevo forte-montanhoso.

Quando somadas as áreas mais acidentadas (relevos ondulado, forte-ondulado e montanhoso), estas representam 41,4% da BHRSA e 52,85% da BHRSM, sugerindo a essa última bacia um relevo predominantemente movimentado, mais desfavorável a infiltração da água e, por conseguinte, mais favorável a morfogênese.

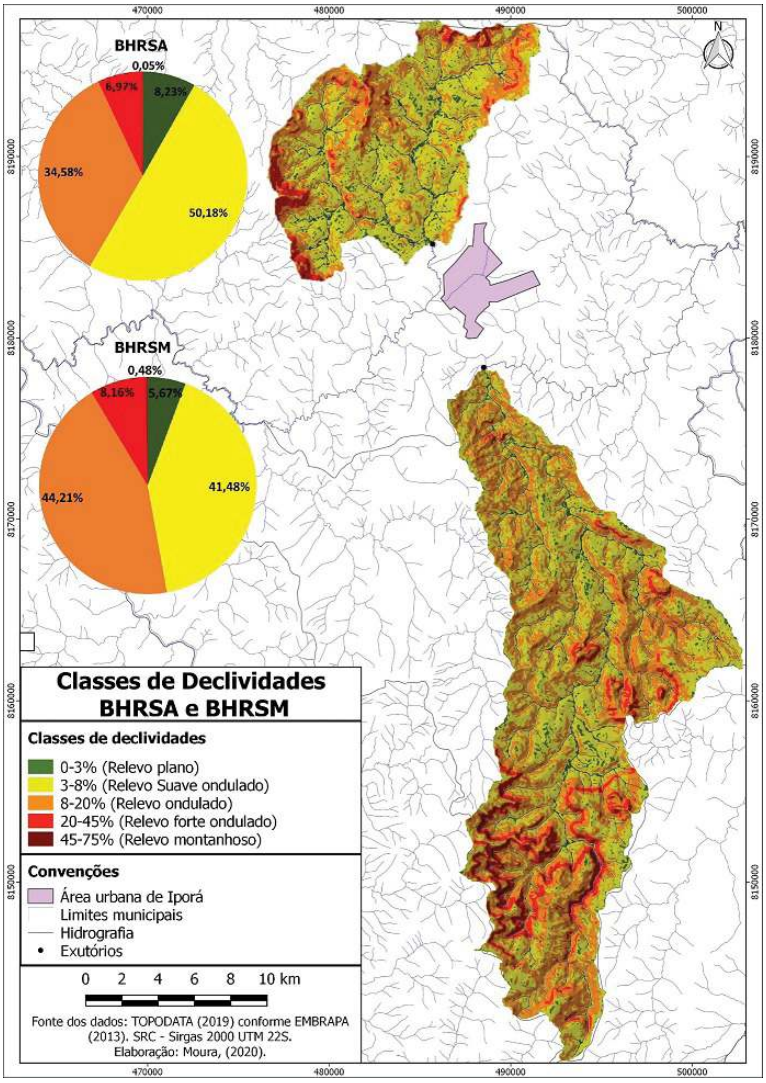


Figura 5 - Declividade das bacias. Fonte: Mapa elaborado pelos autores (2022).

A declividade da bacia e do curso d'água principal são características que afetam diretamente o tempo de escoamento da água ao longo do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1981). O tempo de concentração da água na bacia diminui com o aumento da declividade (TUCCI, 1998). De acordo com Casseti (1991), quanto maior a declividade, mais o componente paralelo (escoamento superficial) se intensifica, o que corresponde ao enfraquecimento do componente perpendicular (infiltração).

Conforme Guadagnin, Trentin e Alves (2015), a declividade corresponde a um dos mais importantes parâmetros na análise das vertentes, pois representa sua inclinação. Soares et al. (2016), relatam que a compreensão do gradiente de declividade em determinada bacia hidrográfica é fundamental no processo de planejamento ambiental, pois subsidia o entendimento da interação entre os eventos de pre-

cipitação e o deflúvio (precisão de enchentes).

Guerra (1993) define relevo dissecado como a parte da crosta terrestre sulcada pela rede hidrográfica ou paisagens trabalhadas pelos agentes erosivos. A dissecação do relevo se apresenta de forma heterogênea ao longo de toda a superfície terrestre, pois, os agentes erosivos se distribuem de forma irregular no tempo e no espaço, colaborando na formação de diversos tipos de paisagens (LIMA, 2018). Dessa forma, o índice de dissecação do relevo (IDR) fornece informações sobre áreas com maior ou menor energia potencial (potencial erosivo).

As classes do IDR conforme matriz apresentada por Ross (1994) e proposta alternativa 3 descrita em Guimarães et al. (2017) encontradas para as bacias foram: fraca (2), moderada (3), forte (4) e muito forte (5), e não obteve a classe muito fraca (1). As quantidades das classes foram semelhantes em ambas bacias.

IDR	BHRSA		BHRSM	
	Área		Área	
	Km²	%	Km²	%
Muito Fraco	-	-	-	-
Fraco	61,24	48,20	131,48	47,93
Moderada	13	10,23	21,82	7,95
Forte	16,16	12,72	40,83	14,88
Muito Forte	36,66	28,85	80,19	29,23
Total	127,06	100	274,32	100

Tabela 7 - Classes de IDR das bacias. Fonte: Elaborada pelos autores (2022) conforme a matriz de Ross (1994) e proposta alternativa 3 de Guimarães et al. (2017).

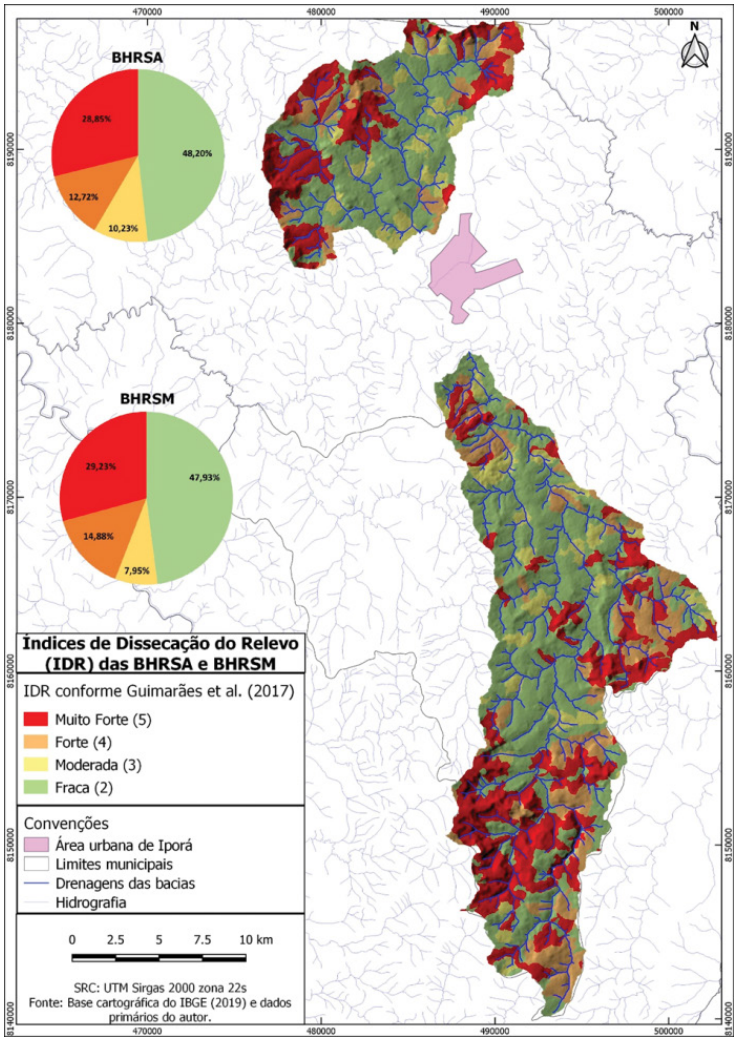


Figura 6 – IDR das bacias. Fonte: Mapa elaborado pelos autores (2022).

De acordo com Guimarães et al. (2017), a dissecação do relevo é maior em áreas onde predominam vales encaixados e profundos, em forma de "V" e com dimensão interfluvial pequena, caracterizados por apresentarem altas declividades e menor em áreas planas normalmente com baixa densidade de drenagem.

Na BHRSA, a classe de dissecação fraca (48,2%) e moderada (10,23%) concentram-se nas partes centro-norte e centro noroeste, nas proximidades dos cursos hídricos com maior hierarquia fluvial, possuindo vales abertos onde o relevo é mais aplainado. Nas bordas dos morros e escarpas, onde a densidade de drenagem é maior e os cursos d´água são mais encaixados com vales em "V" profundos e estreitos, predominam as classes de dissecação forte (12,72%) e muito forte (28,85%).

Na BHRSM a classe fraca (47,93%) e moderada (7,95%), concentram-se nas partes centro-nor-

te-oeste, nas proximidades do nível de base local, onde possuem vales mais abertos e relevo mais plano. As classes de dissecação forte (34,88%) e muito forte (29,23%), concentram-se na porção sul-sudoeste-leste, nas bordas cuestiformes e de morros, com maior densidade de drenagem e vales encaixados.

As classes de dissecação forte e muito forte representam áreas com maiores declividades, alto grau de entalhamento e pequenas dimensões interfluviais. Essas áreas são mais favoráveis ao escoamento superficial, sendo prejudicial para a infiltração e recarga dos aquíferos. As classes com dissecação moderada e baixa, representam áreas com menores declividades, menores graus de entalhamento dos vales e maiores dimensões de interflúvios. Essas áreas são mais favoráveis à infiltração da água, contribuindo melhor para a recarga subterrânea das bacias. Verificou uma pequena diferença no IDR entre as bacias, contendo a BHRSA uma área um pouco maior com classes de IDR fraca e moderada, o que evidencia ser um pouco menos dissecada que a BHRSM e contribuindo mais com a recarga dos aquíferos.

A distância vertical de cada ponto em relação à drenagem mais próxima (HAND) reflete o desnível altimétrico determinado a partir do caminho preferencial da água no terreno até a drenagem mais próxima (RENNÓ et al., 2008).

Os dados do HAND estão relacionados indiretamente com a profundidade do lençol freático que, por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos a zero) indicam regiões cujo lençol está próximo à superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação (zonas exutórias ou nascentes). Valores altos de distância vertical e com baixas declividades identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas, que favorecem muito para a recarga de água subterrânea (RENNÓ et al. 2008; PIRES e BORMA, 2013).

Na classificação do HAND, altitudes de até 5 metros representam ambientes onde o lençol freático está mais próximo à superfície do solo, onde geralmente situam as zonas exutórias (nascentes), sendo denominados baixios. Estes locais favorecem muito pouco a recarga hídrica subterrânea, devido ao solo permanecer predominante saturado com água advinda das partes mais elevadas, ou seja, são consideradas áreas de descarga hídrica. Locais com altitudes entre 5 e 15 metros representam ambientes de transição, com lençol freático raso e zona vadosa pouco espessa, denominadas ecótono. Essas áreas pouco favorecem a recarga hídrica dos aquíferos. Altitudes superiores a 16 metros com declividades superiores a 8% representam ambientes cujo lençol freático é suficientemente profundo, porém pouco favoráveis a recarga, denominados como encosta. Por sua vez, as áreas com altitudes superiores a 16 metros com declividades inferiores a 8% são denominadas platô, onde o lençol freático é bastante profundo e a zona vadosa muito espessa, favorecendo a recarga hídrica dos aquíferos.

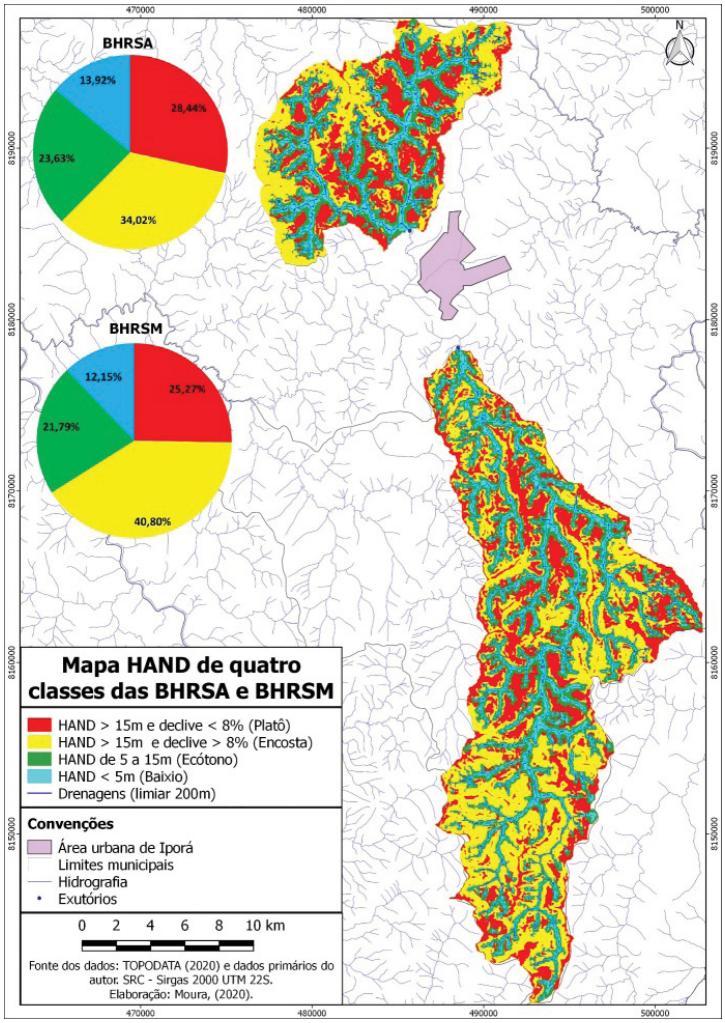


Figura 7 – Mapa HAND de quatro classes das bacias. Fonte: Mapa elaborado pelos autores (2022).

HAND	Declividade	Relevo	BHRSA		BHRSM	
			Área		Área	
			Km²	%	Km²	%
>15m	<8%	Platô	36,13	28,44	69,31	25,27
>15m	>8%	Encos-ta	43,22	34,02	111,91	40,80
5 a 15m	-	Ecóto-no	30,02	23,06	59,77	21,79
< 5m	-	Baixio	17,69	13,92	33,33	12,15
Total	-	-	127,06	100	274,32	100

Tabela 6 - Classes HAND das bacias. Fonte: Adaptado pelos autores (2022) conforme Rennó (2008).

A BHRSA possui relativo maior percentual de áreas de platô (28,44%) que a BHRSM (25,27%), o que indica que a BHRSA é relativamente pouco mais favorável a recarga hídrica dos aquíferos. Na BHRSA as áreas de platô estão concentradas nos interflúvios com dissecação fraca e moderada, na porção centro-norte e centro noroeste, onde o relevo é mais aplainado. Na BHRSM as áreas de platô se concentram nas partes centro-norte-oeste, onde possuem interflúvios com menor dissecação e relevo mais plano.

Os resultados dos elementos do relevo corroboram para um entendimento que a BHRSM possui maior facilidade ao escoamento superficial das águas.

Análise linear da rede hidrográfica

As drenagens das bacias em estudo são classificadas como dendríticas ou arborescentes, devido seus desenvolvimentos se assemelharem com a configuração de uma árvore (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Considerando a linha geral do escoamento dos cursos hídricos em relação a inclinação das camadas geológicas das bacias hidrográficas, conforme proposto por Davis apud Christofoletti (1980), as drenagens da BHRSA se classificam predominantemente como insequente, pois se estabeleceu sem nenhuma razão aparente para seguir uma orientação, sem nenhum controle aparente da estrutura geológica. De acordo com Christofoletti (1980), são comuns em áreas com homogeneidade litológica como nas graníticas, conforme constatado na BHRSA. Já na BHRSM há predominância de drenagens classificadas como obsequentes, pois ocorrem em sentido inverso a inclinação das camadas, descendo escarpas.

Os resultados sobre a rede de drenagem são apresentados na Tabela 6, e a ordem dos canais, na Figura 8.

Variável	Símbolo	Unidade	Resultado	
			BHRSA	BHRSM
Número de canais	Nc	ad	238	430
Ordem do curso hídrico principal	Ocp	ordinal	5	5
Comprimento do canal principal	Ccp	km	18,4	53,8
Gradiente do canal principal	Gcp	m/km	11,41	7,13
Comprimento total dos canais	Ctc	km	161,49	354,27
Densidade de drenagem	Dd	km/km²	1,27	1,29

Extensão do percurso superficial	Eps	m	393	387
Coeficiente de manutenção	Cm	m^2/m	786	775
Número de canais de 1ª ordem	Nc1	ad	178	343
Número de canais de 2ª ordem	Nc2	ad	43	65
Número de canais de 3ª ordem	Nc3	ad	13	16
Número de canais de 4ª ordem	Nc4	ad	3	5
Número de canais de 5ª ordem	Nc5	ad	1	1
Frequência de canais de 1ª ordem	Fc1	%	74,78	79,76
Frequência de canais de 2ª ordem	Fc2	%	18,06	15,11
Frequência de canais de 3ª ordem	Fc3	%	5,46	3,72
Frequência de canais de 4ª ordem	Fc4	%	1,26	1,16
Frequência de canais de 5ª ordem	Fc5	%	0,42	0,23
Razão de bifurcação de canais de 2ª ordem	Rb2	ad	4,13	5,27
Razão de bifurcação de canais de 3ª ordem	Rb3	ad	3,30	4,06
Razão de bifurcação de canais de 4ª ordem	Rb4	ad	4,33	3,2
Razão de bifurcação de canais de 5ª ordem	Rb5	ad	3	5
Razão de bifurcação média	Rb	ad	3,69	4,38

Tabela 6 - Caracterização da rede de drenagem das bacias. Legenda: ad: adimensional. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

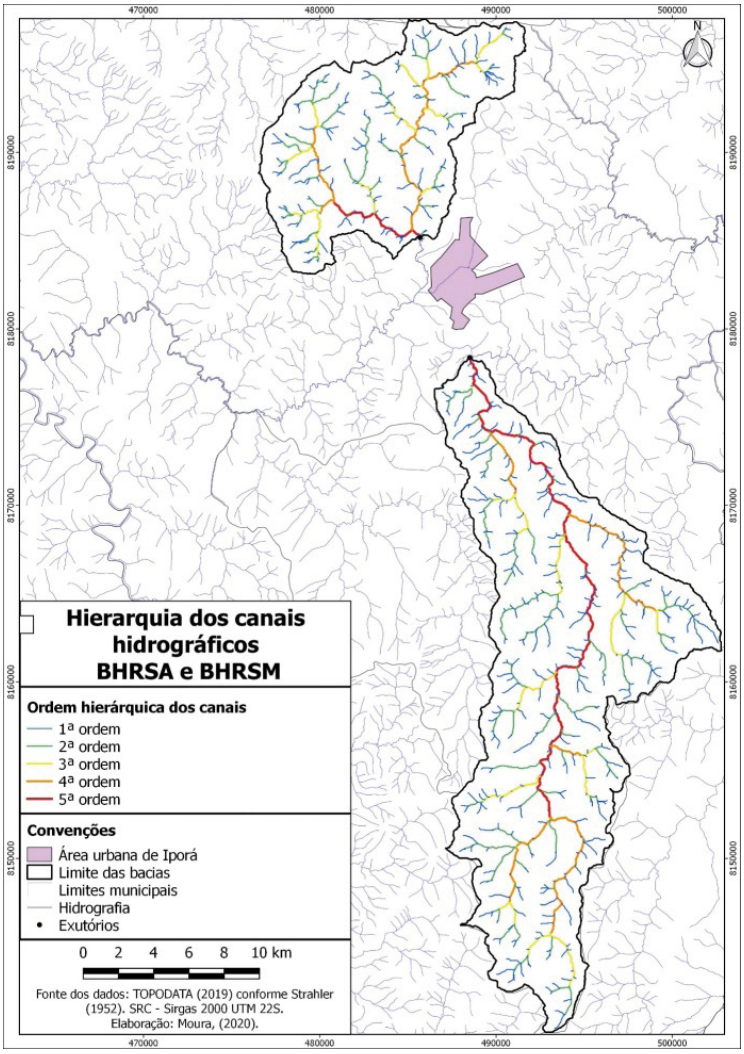


Figura 6 - Ordem dos canais das bacias. Fonte: Mapa elaborado pelos autores (2022).

Segundo Strahler (1957), a rede hidrográfica se divide em segmentos individuais de rio, estando cada segmento situado entre duas confluências. O ordenamento dos rios é realizado a partir da atribuição da ordem 1 aos rios que não possuem tributários, ou seja, são nascentes; a ordem 2 é atribuída ao rio formado pelo encontro de dois rios de primeira ordem; esse rio, por sua vez, só se torna de terceira ordem ao encontrar outro segmento de segunda ordem. A confluência de rios de ordens diferentes não altera o grau de ordenamento. A hierarquia fluvial indica o grau de ramificação da bacia, sendo importante na determinação da velocidade com que a água escoa até o exutório. Assim, a descarga aumenta em relação exponencial com o aumento da ordem hierárquica do canal (SOUZA, 2005).

Conforme Santiago et al. (2015), a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia hidrográfica. A BHRSA possui uma hierarquia fluvial de 5ª ordem, sendo um número alto em

relação com a área da bacia, por se tratar de uma bacia relativamente pequena, isso mostra que a bacia é bem ramificada e bem drenada, possuindo grande velocidade de escoamento da água até o exutório. A BHRSM também possui hierarquia fluvial de 5ª ordem, sendo que a área dessa bacia é mais que o dobro do tamanho da outra, o que demostra que as ramificações da drenagem possuem um padrão predominantemente linear, devido a forma alongada da bacia.

O número de canais de 1ª ordem representa a quantidade e delimitação das áreas de nascentes e estão associadas a áreas de maior elevação do relevo (MOURA et al., 2018). A frequência de canais de cada ordem refere-se à frequência relativa de canais de cada ordem pelo número de canais totais. Um número elevado de canais de 1ª ordem está relacionado com o tempo decorrido entre a precipitação máxima e a descarga máxima no canal principal (SOUZA, 2005; MOURA et al., 2018).

Os dados evidenciam maior frequência de canais de 1ª ordem na BHRSM (79,76%), quando comparada com a BHRSA (74,78%), em consequência um menor tempo entre a precipitação e a descarga no canal principal, demonstrando maior velocidade do fluxo de água na BHRSM.

O comprimento do canal principal (Ccp) está relacionado ao tempo de escoamento da água ao longo de toda a bacia. Por sua vez, o tempo de escoamento da gota de água da chuva que atinge a região mais remota da bacia até o momento em que atinge o exutório é chamado de tempo de concentração da bacia (TUCCI, 2002).

O Ccp da BHRSM (53,8km) é mais que o dobro da BHRSA (18,4km). O comprimento vetorial do RSA (12,91km) possui uma diferença de 5,48km (42%) em relação ao Ccp. E o comprimento vetorial do RSM (38,31km) possui uma diferença de 15,49km (40%) em relação ao Ccp. Isso indica que a BHRSM possui formato mais alongado, com um canal principal mais retilíneo, demonstrando maior entalhamento e dissecação no relevo, consecutivamente maior facilidade no escoamento superficial das águas.

O gradiente do canal principal (Gcp) é a relação entre sua amplitude altimétrica e o seu comprimento. Está relacionado com energia potencial do rio e, consequentemente, seu poder erosivo (SANTOS, 2006). É um bom indicador da capacidade de transporte de sedimentos de um rio. Quanto maior for o Gcp maior será a capacidade de transporte de um rio, pois maior é a sua declividade. Essa é uma média do desnível do canal principal desde sua nascente até o ponto exutório.

Na BHRSA, o Gcp é de 11,40m/km, demonstrando que a média de desnível no canal principal a cada quilômetro percorrido tem uma variação de 11,4m. Na BHRSM, o Gcp é de 7,13m/km. O valor é mais baixo que a BHRSA devido a maior extensão do canal principal da BHRSM. Significa que a média de desnível no canal principal a cada quilômetro percorrido tem uma variação de 7,13m.

A densidade de drenagem (Dd) é reconhecida como uma das variáveis mais importantes para a análise morfométrica das bacias de drenagem, representando o grau de dissecação topográfica em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, a quantidade de canais disponíveis para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas. A Dd relaciona o comprimento total dos rios com a área da bacia

hidrográfica e representa o grau de dissecação do relevo da bacia (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1979, 1980 e 1981; ROSS, 1990).

Horton (1945) destacou dois importantes fatores que determinariam a Dd, além do regime de chuvas e do relevo, que seriam a capacidade de infiltração do solo e a resistência inicial do terreno à erosão (HIRUMA e PONÇANO, 1994). Este parâmetro expressa a quantidade de canais disponíveis para o transporte, de forma que quanto mais canais presentes na bacia, mais rápida a água precipitada atinge o exutório (CHRISTOFOLETTI, 1980). É dependente de fatores como precipitação, declividade das vertentes, tipo de solo, geologia, e cobertura vegetal, sendo a resposta ao ajuste entre a precipitação e os outros fatores. Além disso, a Dd tem influência sobre o escoamento e o transporte de sedimentos dentro da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Beltrame (1994) considera a classificação da Dd de uma bacia hidrográfica como baixa para valores menores que 0,50km/km², mediana entre 0,50 e 2,00km/km², alta entre 2,01 e 3,50km/km² e muito alta para valores acima de 3,50km/km². A Dd da BHRSA é de 1,27km/km² representando uma densidade mediana. A Dd da BHRSM é de 1,29km/km², um pouco maior que a da BHRSA, representando também uma densidade mediana.

Caso a taxa de escoamento superficial do sistema fluvial se eleve, a Dd se ampliará proporcionalmente. Portanto, a Dd relaciona-se com o clima e outros fatores físicos da bacia hidrográfica, quais sejam cobertura vegetal, morfologia, solos e litologia, permitindo avaliar as condições de estabilidade morfogenética do sistema (SAMPAIO, CORDEIRO e BASTOS, 2016). Bacias hidrográficas sob as mesmas condições climáticas sofrem variações de Dd pelas diferenças de condutividade hidráulica do seu substrato (CHRISTOFOLETTI, 1980). Isso significa maior facilidade de infiltração na BHRSA, que possui menor densidade de drenagem.

Segundo Schumm (1956), o coeficiente de manutenção (Cm) representa a área mínima necessária para manutenção de um metro de escoamento. Esse parâmetro corresponde à área necessária para formação de um canal com fluxo perene (FONSECA e AUGUSTIN, 2014).

Machado et al. (2011) afirmam que o Cm evidencia áreas de recarga, podendo ser associado a impermeabilização do solo e do substrato rochoso, permitindo avaliar o potencial hidrológico das bacias hidrográficas. Na BHRSA, o Cm é 786,77m²/m, ou seja, são necessários 786m² para formar um metro de canal com fluxo perene. Na BHRSM, o Cm é 775,77m²/m. O valor do Cm da BHRSM é um pouco mais baixo que o da BHRSA, indicando teoricamente menor área necessária para formação de um metro de canal hidrográfico com fluxo perene na BHRSM. Esse parâmetro também indica maior dissecação do relevo e facilidade ao escoamento superficial na BHRSM.

Quando associados à declividade, o Cm e a Extensão do percurso superficial (Eps) definem o caminho da água no solo, tendo em vista que grandes extensões de áreas com pequenos ângulos de declividade favorecem a infiltração enquanto pequenas extensões de áreas com ângulos de declividade acentuados proporcionam maior escoamento superficial (SAMPAIO, CORDEIRO e BASTOS, 2016).

A Eps representa o caminho percorrido pela enxurrada do interflúvio até o canal fluvial, sendo que o valor para essa variável pode refletir na maior ou menor infiltração da água no solo, uma vez que, quanto maior o percurso entre os canais de escoamento, maior o contato direto da água com o solo, dependendo da declividade, ficando sujeita a infiltração ou escoamento (SAMPAIO, CORDEIRO e BASTOS, 2016).

O valor de Eps obtido para a BHRSA (393m) é um pouco maior que o valor obtido para a BHRSM (387m), o que indica uma distância maior para o escoamento superficial, propiciando maior tempo de concentração da água, sendo mais favorável à infiltração que na BHRSM.

Segundo Zancopé e Bayer (2012), bacias hidrográficas que apresentam valores elevados de Dh e Dd, e reduzidos de Eps tendem a ter elevado potencial de transferência de sedimentos. Ao serem comparados os valores de Dh, Dd e Eps para as bacias, a BHRSM demonstra maior potencial de transferência de sedimentos que a BHRSA, reforçando o entendimento que essa bacia é mais favorável ao escoamento superficial.

Segundo Horton (1945), a razão de bifurcação (Rb) representa a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total de segmentos (canais, rios) de ordem imediatamente superior. A Rb varia entre 2 para bacias planas a suave onduladas, a 3 ou 4 para bacias montanhosas ou altamente dissecadas.

A razão de bifurcação média encontrada nas bacias indica que a BHRSM possui Rb (4,38) maior que a BHRSA (3,69), mostrando que a BHRSM possui dissecação maior, favorecendo o escoamento superficial das águas.

Conforme os resultados dos índices morfométricos, que foram analisados em conjunto e comparados entre as bacias, percebe-se que a BHRSA é mais propensa à infiltração e a BHRSM é mais favorável ao escoamento superficial.

Considerações finais

A análise areal das bacias encontrou índices com valores maiores de área, perímetro, comprimento axial e distância vetorial do canal principal na BHRSM, que sugere maior disponibilidade hídrica nessa bacia, porém os valores dos índices coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e densidade hidrográfica, apontaram como uma bacia mais propensa ao escoamento superficial, proporcionando vazões elevadas em períodos de chuva e reduzidas em períodos de estiagem.

Os elementos do relevo mostraram que os valores dos índices amplitude altimétrica máxima, índice de rugosidade, amplitude altimétrica do canal principal, índice de sinuosidade do canal principal,

declividade média da bacia, também indicam que a BHRSM é mais favorável ao escoamento superficial. Os índices declividade média do canal principal e razão de relevo, não foram bons indicadores devido sua fórmula utilizar valores médios para o cálculo, mascarando o resultado real, ao passo que a curva hipsométrica e o perfil longitudinal expressaram melhor as características de relevo, demonstrando um estágio mais jovem na BHRSM, significando maior ação dos processos erosivos.

A análise linear das bacias obteve índices com valores maiores nos números de canais, comprimento do canal principal, gradiente do canal principal e comprimento total dos canais na BHRSM, que sugestiona maior disponibilidade hídrica nessa bacia, entretanto a hierarquia fluvial em ambas bacias é de 5ª ordem, com uma maior frequência de canais de 1ª ordem na BHRSM, significando maior velocidade do fluxo de água, e os valores dos índices densidade de drenagem, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, número de canais de 1ª ordem e razão de bifurcação média, indicam como sendo uma bacia mais propensa ao escoamento superficial, proporcionando uma amplitude alta entre as vazões de cheia e seca, ou seja, com uma curva de permanência com tendência para vazões reduzidas.

A análise morfométrica comparativa entre as bacias demonstrou que apesar da BHRSM ser mais que o dobro do tamanho da BHRSA, possui características morfométricas que indica ser uma bacia mais favorável ao escoamento superficial, assinalando torrentes caudalosas em períodos de chuva e vazões reduzidas em períodos de estiagem, evidenciando que a bacia possui um comportamento hidrológico mais ativo, ou seja, a água se movimenta com maior velocidade atravessando a bacia, sendo esvaziada mais rapidamente, corroborando com a menor vazão de estiagem encontrada na BHRSM, conforme Moura et al. (2018). Isso significa uma menor propensão a infiltração d'água, sendo desfavorável para a recarga hídrica, podendo ter a vazão comprometida para atender um futuro abastecimento público de Iporá.

Referências

ALMEIDA, L. D.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A. P.; CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiás, Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. Série Geologia e Mineração, n. 1, p. 132, 2006.

ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio à análise de fragilidade ambiental. **Mercator**, Fortaleza, v.15, n.4, p. 83-94, out./dez. 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4215/rm2016.1504.0006. Acesso em: 10 jun.2018.

ALMEIDA, W. S., SOUZA, N. M., JUNIOR, D. S. R., CARVALHO, J. C., 2013. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia [online]** 14, 135-149. Disponível: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v14i2.251. Acesso: 18 abr. 2020

ALVES, W. S. **Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil**. 2019. 212p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.

BAHRAMI, S.; CAPOLONGO, D.; MOFRAD, M. R. MORPHOMETRY OF DRAINAGE BASINS AND STREAM NETWORKS AS AN INDICATOR OF ACTIVE FOLD GROWTH (GORM ANTICLINE, FARS PROVINCE, IRAN), **GEOMORPHOLOGY**, VOLUME 355, 2020, 107086, ISSN 0169-555X, HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.GEOMORPH.2020.107086.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, 2004.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASSETI, V. **Geomorfologia.** Fundação de Apoio a Pesquisa–FUNAPE/UFG, 2005.

CHENG, Y.; HE, C.; RAO, G.; YAN, B.; LIN, A.; HU, J.; YU, Y.; YAO, Q. Geomorphological and structural characterization of the southern Weihe Graben, central China: Implications for fault segmentation. **Tectonophysics,** v. 722, p. 11-24, 2018.

CHEREM, L. F. **Análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas-MG.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Ambientais. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais-IGC/UFMG, 111 p. Belo Horizonte. 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**, GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Org.), Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 472p, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa produção de informação, 2013.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. CPRM, 2008.

FUJITA, R. H., GON, P. P., STEVAUX, J. C., SANTOS, M. L. D., & ETCHEBEHERE, M. L. PERFIL LONGITUDINAL E A APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE GRADIENTE (RDE) NO RIO DOS PATOS, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ, PR. **BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY**, V. 41, N. 4, P. 597-603, 2011.

GUIMARÃES, F. S., CORDEIRO, C. M., BUENO, G. T., CARVALHO, V. L. M., NERO, M. A. UMA PROPOSTA PARA AUTOMATIZAÇÃO DO ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA**, V. 18, N. 1, 2017.

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R.; ALVES, F. S. Relação entre as variáveis geomorfométricas e a vegetação florestal na bacia hidrográfica do Arroio Caverá- Oeste do RS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 29, p. 246-261, jun. 2015. Disponível em: https://doi.org/10.11606/

rdg.v29i0.102131. Acesso em: 10 de jun.2018.

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, n. 1-2, p. 49-57, 1994.

HORTON, R. E. Erosinal development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 56, n. 3, p. 275, mar. 1945. Disponível em: https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2. Acesso em: 19 jul. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Brasil. População 2019** (estimativa). 2019. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama. Acesso em: 15 dez. 2019.

LACERDA FILHO, J. V. D., SANTOS, D. R. V. D., MENEGHINI, P. F. V. B., MARTINS, F. R., SOUZA, J. O., CARNEIRO, J. D. S. M., GOLLMANN, K. **Projeto oeste de Goiás:** mapa geológico-geofísico integrado. 2018.

LANA, C. E.; ALVES, G. M. P. CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque (MG), Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. p. 121-126, apr./jun. 2001. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008. Acesso em: 26. jun. 2018.

LARUE, J. P. Effects of tectonics and lithology on long profiles of 16 rivers of the southern Central Massif border between the Aude and the Orb (France). **Geomorphology**, v. 93, n. 3-4, p. 343-367, 2008.

MACHADO, R. A. S et al. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p.1441-1448.

MARTINI, L. C. P. Características morfométricas de microbacias hidrográficas rurais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 13, n. 1, p. 65-72, jan./mar. 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i1.343. Acesso em: 17 mar. 2018.

MELTON, M. A. **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology**. New York (Estados Unidos da América): Columbia University, 1957.

MENEZES, J. P. C et al. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 15, n. 4, p. 659-672, out./dez. 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i4.597. Acesso em: 16 jun. 2018.

MOREIRA, M. L. O., MORETON, L. C., ARAÚJO, V. A. D., LACERDA FILHO, J. V. D., COSTA, H. F. D. **Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal.** Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008.

MOURA, D. M. B. **Avaliação ambiental e fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, com vistas ao abastecimento hídrico da cidade de Iporá (GO).** 2017. 107p. Dissertação.

Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017.

MOURA, D. M. B.; OLIVEIRA, R. M., OLIVEIRA, I. J., NASCIMENTO, D. T. F., ALVES, W. S. O uso de geotecnologias na análise morfométrica da alta bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, no município de Iporá-Goiás, Brasil. **GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, n. 21, p. 19-37, 2018.

MÜLLER, V. C**. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennesse**. New York (Estados Unidos da América): Columbia University; 1953.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**,** 6., 2006, Goiânia. Artigos... Goiânia: UFG, 2006.

OLIVEIRA, E. D et al. Uso das terras e aspectos fisiográficos da bacia de drenagem do Arroio do Butka, Guarapuava (PR). **Ateliê Geográfico**, Goiânia**,** v. 7, n. 1, p.215-236, abr. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.5216/ag.v7i1.15779. Acesso em: 25 jul. 2018.

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o estado de Goiás. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.28, n.1, p.22-33, jan./mar. 2008. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000100003. Acesso em: 06 mar. 2018.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Características geoquímicas e isotópicas de unidades metavulcânicas e ortognáissicas neoproterozóicas do oeste de Goiás. **Boletim da Sociedade. Brasileira de Geologia**. – Núcleo Centro-Oeste, n.15, p.1-22, 1992.

PIRES, E. G.; BORMA, L. S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de Cerrado. **Anais do 16º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5568-5575, 2013.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L.A; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, A NEW TERRAIN DESCRIPTOR USING SRTM-DEM: MAPPING TERRA-FIRME RAINFOREST ENVIRONMENTS IN AMAZÔNIA. **REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT**, V.112, PP. 3469- 3481, 2008.

RICHARDS K. S. **RIVERS FORM AND PROCESS IN ALLUVIAL CHANNELS.** LONDON, TAYLOR E FRANCIS, 1982, 358 P.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO. A. M. N.; BASTOS, F. H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física,** Recife, v. 9, n. 1, p. 125-143, 26 jan. 2016. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233612. Acesso em: 05 jul.2018.

SANTIAGO, C. M. C et al. A. Arranjo espacial da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a partir da análise morfométrica e dos aspectos ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 2, p. 402-421, 21 maio 2015. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233250. Acesso em: 20 mar.2018.

SANTOS, A. M et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, dez. 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945. Acesso em: 26 jun.2018.

SANTOS, M.; LADEIRA, F. S. B.; BATEZELLI, A. Indicadores geomórficos aplicados a investigação de deformação tectônica: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 2019.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 67, n. 5, p. 597- 646, may 1956. Disponível em: 10.1130/0016-7606(1956)67[597: EODSAS]2.0.CO;2. Acesso em: 18 jun.2018.

SCHUMM, S. A. **A tentative classification of alluvial river channels**., Washington: United States Geological Survey, 1963.

SOARES, L. S et al. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 31, p. 82-100, 24 jun. 2016. Disponível em: https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.107715. Acesso em: 17 mar.2018.

SOFIA, Giulia. Combining geomorphometry, feature extraction techniques and Earth-surface processes research: The way forward. **Geomorphology**, p. 107055, 2020.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Latossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 23 maio 2019.

SOUSA, F. A. Identificação das zonas de recarga e caracterização dos sistemas freáticos de Iporá-GO. **Geoambiente On-Line,** (33), 23. 2019. https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i33.52073.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4215/rm.v11i25.699. Acesso em: 15 mar.2018.

SPANGHERO, P. E. S. F.; MELIANI, P. F.; MENDES, J. S. Mapeamento hidrográfico de detalhe e análise morfométrica comparativa das bacias dos rios Tijuípe e Tijuipinho, Litoral Sul da Bahia. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 53, p. 101-117, mar. 2015. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/27861. Acesso em: 14 mar.2018.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 63, n. 11, p.1117-1142, nov. 1852. Disponível em: https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2. Acesso em: 17 jun. 2018.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8.

VALERIANO, M. M.; Rossetti, D. F.; Albuquerque, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira

versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal, RN. Anais..., São José dos Campos, SP: INPE, 2009. v. CD--ROM. p. 1-8.

VALERIANO, M. M; ROSSETTI, D. F. Regionalization of local geomorphometric derivations for geological mapping in the sedimentary domain of central Amazônia. **Computers & Geosciences**, v. 100, p. 46-56, 2017.

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

ZANCOPÉ, M. H. C.; BAYER, M. Proposta metodológica para avaliar o potencial de transferência de sedimentos de bacias hidrográficas a partir de índices morfométricos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9, Rio de Janeiro, 2012, Anais. Rio de Janeiro: UFRJ/UGB, 2012. p. 1-3.