Revista Brasileira de Geografia Física

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

Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil

Wellmo S. Alves¹, Alécio P. Martins², Wilker A. Moraes³, Évelyn M. Pôssa⁴, Derick M. B. Moura⁵, Leonardo N. S. Santos⁶, Raina S. Ferreira⁷, Nivalda C. Nunes⁸, Maria A. B. Pereira⁹, Eder P. Moreira¹⁰

¹Dr. em Geografia (UFG), wellmoagro2@gmail.com; ²Prof. Dr. (UFG), alecioperini@ufg.br; ^{3,6}Prof. Dr. (IFGoiano), wilker.alves.moraes@gmail.com, leonardo.santos@ifgoiano.edu.br; ⁴Dr. em Geografia (UFMG), evelynpossa@yahoo.com; ⁵Doutorando em Geografia (UFG), derickmartins@hotmail.com; ⁷Me em Geografia (UNB), rainasanfer@gmail.com; ⁸Doutoranda em Física Ambiental (UFMT), nivaldacosta222@gmail.com; ⁹Graduanda em Engenharia Ambiental (IFGoiano), mariaantonia099@live.com; ¹⁰Dr. em Sensoriamento Remoto (INPE), edericm@hotmail.com.

Artigo recebido em xx/xx/xx e aceito em xx/xx/xx

RESUMO

Tendo em vista a importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento econômico e social de uma nação, tornam-se necessários dados representativos sobre a geometria, o relevo e a drenagem de bacias hidrográficas para subsidiar a implementação de ações e políticas públicas voltadas para o planejamento e a gestão desse recurso de forma efetiva e eficiente. Assim, o objetivo central deste estudo foi analisar a morfometria da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, que possui uma área de 154.430,19 ha. Essa unidade hidrográfica é importante fonte de água para o desenvolvimento econômico e social do município de Rio Verde, Sudoeste de Goiás. O estudo foi realizado com uso de modelos matemáticos, produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. A área de estudo apresenta variáveis morfométricas, que associadas às formações geológicas, aos solos e à precipitação pluviométrica, são predominantemente favoráveis à conservação e à recarga de água desse sistema. Porém, a forma alongada e possíveis ocorrências de chuvas intensas na cabeceira sujeitam essa unidade hidrográfica às torrentes eventuais, podendo causar prejuízos ambientais, econômicos e outros no trecho médio e baixo da bacia; a amplitude altimétrica máxima, as maiores declividades, a densidade hidrográfica, densidade de drenagem, a presença, em menor percentual, de Argissolo Vermelho, Neossolo Litólico e Nitossolo Vermelho são favoráveis à perda de solos. Os resultados indicam que as ações antrópicas na área de estudo devem contemplar manejo e práticas conservacionistas do solo. Esses resultados subsidiarão o planejamento e a gestão ambiental desse recurso, além de servir de base para outros trabalhos em âmbito local e de outras regiões, contribuindo para a conservação da água em quantidade e qualidade adequadas para os diferentes usos.

Palavras-chave: Geotecnologias; Modelos Matemáticos; Recursos Hídricos.

Morphometry of the Watershed of Verdinho River, Southwest of Goiás, Brazil

ABSTRACT

Considering the importance of water resources to the economical and social development of a nation, representative data about the geometry, the relief and watershed drainage have become necessary to subsidize the implementation of actions and public policies regarding planning and management of this resource in an effective and efficient way. Therefore, the main objective of this study was to analyze the morphometry of the watershed of Verdinho River of x hectares. This water unit is an important water source for the economical and social development of the municipality of Rio Verde, Southwest of Goiás. The study was accomplished with the use of mathematical models, products of remote sensing and geoprocessing techniques. The study area presents morphometric variables which, associated to geological formations, to soils and rainfall, are predominantly favorable to the water conservation and recharge of this system. However, the elongated shape and possible occurrence of intense rainfall in the river head subject this watershed to eventual torrents, being able to cause environmental and economic damages and others in the mid and lower watershed positions; the maximum altimetric amplitude, the biggest slopes, water density, drainage density, the presence, in a lowest percentage, of Red Argisol, Litholic Neosol and Red Nitosol are favorable to soil loss. The results indicate that the anthropic actions in the study area must contemplate management and conservationist practices of the soil. These results will subsidize the

planning and environmental management of this water resource, besides serving as a base to other operations locally and in other regions, contributing to the preservation of the water in quantity and proper quality for different uses.

Keywords: Geotechnologies; Mathematical Models; Water Resources.

Introdução

A análise de bacias hidrográficas ou unidade hidrográfica começou a apresentar caráter quantitativo a partir de 1945, com a publicação do trabalho do engenheiro hidráulico Robert E. Horton, que estabeleceu as leis do desenvolvimento dos rios e de suas bacias. O uso e expansão dessa nova perspectiva foi influenciada por Arthur N. Strahler e seus colaboradores da Universidade de Colúmbia (Christofolletti, 1980).

O planejamento e a gestão ambiental de bacia hidrográfica podem ser subsidiados por meio de análise morfométrica, pautada na Teoria dos Sistemas (Christofolletti, 1980; Alves et al., 2016; Alves et al., 2017; Alves et al., 2018; Alves et al., 2019; Bahrami, Capolongo e Mofrad, 2020). As características morfométricas são importantes condicionantes do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas (Villela e Mattos, 1975; Swarnkar, Sinha e Tripathi, 2020). Assim, por meio da análise morfométrica, é possível compreender, através de um conjunto de variáveis, as quais relacionam um rol de características geográficas, a dinâmica da bacia hidrográfica como um todo, inclusive seus diferentes compartimentos e a sua fragilidade natural (Almeida, Bayer, Ferreira Júnior, 2016). Além disso, a análise morfométrica é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial no âmbito geomorfológico, pois os cursos de água constituem elemento morfogenético dos mais ativos na escultura da paisagem terrestre (Christofolletti, 1980; Soni, 2017).

A caracterização da morfometria de bacia hidrográfica envolve estudos quantitativos do relevo (Horton 1945; Alves et al., 2016; Valeriano e Rossetti, 2017; Sofia, 2020), os quais apresentam várias aplicações, com destaque para: compartimentação do relevo, subsídios a estudos de paisagem, suscetibilidade e potencialidade à erosão e suscetibilidade à inundação (Deodoro e Fonseca, 2016). O estudo da morfometria é necessário para a determinação das potencialidades e limitações quanto ao uso e cobertura da terra, auxiliando o planejamento das atividades a serem desenvolvidas em uma bacia hidrográfica (Fraga et al., 2014).

Abordagens que integrem informações obtidas nos cálculos dos índices morfométricos são essenciais no processo de planejamento dos

recursos hídricos. A utilização das informações geradas pode subsidiar a delimitação de estratégias de planejamento e gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas, uma vez que apresentam diversas possibilidades de integração com a dinâmica de uso e cobertura da terra, qualidade de água, potencial erosivo, exploração de recursos ambientais e dinâmica socioeconômica de determinada área (Soares et al., 2016).

A delimitação e caracterização física de bacia hidrográfica constitui etapa básica nos estudos relacionados à dinâmica da água superficial e subterrânea, seja do ponto de vista quantitativo ou de qualidade da água (Martini, 2012). Além da análise morfométrica, é importante caracterizar a geologia, os solos, a precipitação pluviométrica, entre outros, permitindo análise dos aspectos da paisagem em bacias hidrográficas de forma holística, seguindo os princípios da abordagem sistêmica.

Com uso de geotecnologias e modelos matemáticos, como os propostos por Horton (1945), Strahler (1952), Müller (1953), Schumm (1956), Melton (1957), Schumm (1963), Villela e Mattos (1975), é possível realizar a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas com rapidez e representatividade. São observados diversos trabalhos na literatura que retratam o uso dessas tecnologias para subsidiar o planejamento e gestão ambiental dos recursos hídricos, como os estudos: contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves, Santa Catarina (Franco e Santo, 2015); análise morfométrica e multicriterial da bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara, Nordeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais (Deodoro e Fonseca, 2016); análise morfométrica da bacia do Ribeirão das Abóboras, município de Rio Verde, Goiás (Alves et al., 2016); análise morfométrica dos afluentes principais da bacia hidrográfica do rio Uruguai e sua influência nas inundações na cidade de Itaquí, Rio Grande do Sul (Ogassawara e Gass, 2018); caracterização morfométrica de seis bacias do Município de Dourados, Mato Grosso do Sul, para previsão de enchentes e inundações (Santos, Ribeiro e Diodato, 2019); zoneamento da susceptibilidade às cheias no território da Eslováquia, na Europa Central (Vojtek e Vojteková, 2019) e outros.

Assim, o objetivo central deste estudo foi analisar a morfometria da bacia hidrográfica (BH)

do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás (Brasil), no intuito de melhor entender essa unidade hidrográfica e disponibilizar informações para o planejamento e a gestão ambiental desse recurso e outros estudos. A escolha da BH do Rio Verdinho se justifica pela importância dessa unidade hidrográfica para o município de Rio Verde, principalmente para abastecimento público, devido a existência de um projeto em fase de implementação para captação de água ($\approx 794,40 \text{ L.s}^{-1}$), tendo em vista atender a demanda hídrica urbana, sendo que a população total do município é estimada em 235.647 pessoas, conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). O Consumo médio per capita de água por dia, de acordo com Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2018), é de 127,52 L. Além disso, esse recurso é importante para irrigação, criação de gado, granjas de criação de aves e suínos, agroindústrias, dessedentação de animais silvestres e outros usos.

Material e métodos

Os procedimentos metodológicos para obtenção dos dados foram divididos em três etapas: (1) obtenção das bases de dados geográficos; (2) elaboração de mapas dos aspectos geológicos, pedológicos e morfométricos; e (3) cálculo de doze índices morfométricos com uso de equações matemáticas específicas.

Área de estudo

A BH do Rio Verdinho apresenta uma área de 154.430,19 ha, sendo que a área de contribuição a montante do ponto de captação de água corresponde a 59.010,93 ha. Localiza-se na microrregião Sudoeste de Goiás, Brasil, nos municípios de Rio Verde (GO) e Santo Antônio da Barra (Figura 1).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica (BH) do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil

Organizado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.

Fonte: Bases de dados geográficos disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017); e mapa organizado pelo autor (2019).

A área de estudo fica entre as coordenadas geográficas 17°29'53,33"S/50°31'34,73"O e 17°33'57,20"S/51°29'14,36"O, em uma região no domínio dos chapadões centrais recobertos por cerrados, cerradões e formações campestres, com remanescentes localizados principalmente entre os vales fluviais na forma de matas de galeria e ciliar.

O principal curso hídrico da BH do Rio Verdinho nasce no local com as Coordenadas geográficas 17°34'1,2"S/51°28'12"O, no município de Rio Verde (GO), e deságua na margem direita do curso hídrico Rio Verde, no município de Santo Antônio da Barra (GO), nas coordenadas geográficas 17°29'45,6"S/50°31'30"O, sendo o seu principal afluente o Ribeirão Boa Vista, o qual tem sua nascente principal no local com as coordenadas geográficas 17°43'0,96"S/50°55'36,34"O, e foz, nas coordenadas geográficas 17°28'41,69"S/50°36'20,65"O.

Bases de dados

Para melhor entender a área de estudo e analisar a morfometria, foram obtidos dados de geologia, solos e precipitação pluviométrica a partir das seguintes bases:

a) Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal, na escala 1:500.000, formato shapefile (shp), geração 13 de abril de 2009, pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC), disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017);

b) Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, formato shp, geração 01 de março de 2005, gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (Rural Minas, 2005); modelagem, alimentação do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e edição das cartas pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC) (SIEG, 2017); e

c) Dados de precipitação pluviométrica da estação nº 01750008 Fazenda Paraíso, localizada dentro da área de estudo, compilados do banco de dados na

página HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018).

As bases de dados geográficos usadas no estudo da morfometria foram obtidas nas páginas dos órgãos governamentais *United States Geological Survey* (USGS) e Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG), sendo elas:

a) Imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 m, gerada pela cooperação entre NASA e a National Imagery and Mapping Agency (NIMA), do DoD (Department of Defense) dos Estados Unidos da América e das agências espaciais da Alemanha e da Itália, disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS, 2017); e

b) Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, na escala 1:100.000, gerada pela ANA (2006), geração de 22 de julho de 2006; revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da carta pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC) e disponibilizada pelo SIEG (2017).

Mapas geológicos, pedológicos, morfométricos e variáveis secundárias

A organização e elaboração dos produtos cartográficos e obtenção das doze variáveis morfométricas secundárias da bacia hidrográfica foram por meio do software ArcGIS 10.6.1® (ESRI, 2019) licenciado para o laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Goiás/Regional de Jataí. Os mapas foram elaborados no Sistema de Coordenadas Planas: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (Sirgas) 2000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22S, na escala 1:150.000.

A partir da base SRTM foi possível extrair as curvas de nível com equidistância de 10 m e, ainda, delimitar a BH de forma automática, em formato shp. A delimitação foi utilizada para:

a) extrair das bases de dados geográficos do estado de Goiás os dados de geologia e solos;

b) realizar o recorte das curvas de nível para gerar o mapa hipsométrico;

c) recortar o SRTM da bacia a partir da base SRTM de menor escala para gerar o mapa de declividade conforme a classificação da declividade proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013); e

d) recorte da hidrografia da área de estudo, a partir da hidrografia de Goiás, para gerar o mapa de hidrografia e mapa de hierarquia dos cursos d'água ou ordem dos canais.

As 12 variáveis secundárias calculadas por meio do software SIG supracitado e dos mapas elaborados foram: 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), equivalente vetorial médio em linha reta (Ev) e ordem dos canais.

A ordem dos canais foi gerada conforme ordenação de Horton (1945), modificada por Strahler (1952), com aplicação do algoritmo strahler. Na proposta de Horton (1945) modificada por Strahler (1952), os rios são classificados assim: são considerados de 1ª ordem os pequenos canais que não tenham tributários; quando dois canais de 1ª ordem se unem é formado o de 2ª ordem; e quando ocorre o encontro de dois rios de 2ª ordem, forma-se o de 3ª ordem, e assim sucessivamente (Christofletti, 1980).

Cálculos dos índices morfométricos

Esses índices foram obtidos por meio de cálculos usando os índices secundários em modelos matemáticos específicos, os quais são apresentados em seguida:

a) Coeficiente de compacidade

Segundo Oliveira et al. (2013), Fraga et al. (2014) e Cochev et al. (2015), o coeficiente de compacidade corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia hidrográfica. Esta variável foi obtida com o uso da Equação 1 (E1) (Villela e Mattos, 1975):

$$Kc = 0,282 * P/\sqrt{A} \quad (E1)$$

Na qual: Kc é o coeficiente de compacidade, adimensional; P, o perímetro da bacia, em km; e A, a área em km².

b) Fator de forma

Conforme destacam Santos et al. (2012), Oliveira et al. (2013) e Cochev et al. (2015), o fator de forma 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). Esta variável foi obtida com o uso da Equação 2 (E2) (Villela e Mattos, 1975):

$$Kf = A/La^2 \quad (E2)$$

Na qual: Kf é o fator forma, adimensional; A, a área da bacia, em km²; e La, o comprimento axial da bacia, em km.

c) Índice de circularidade

O índice de circularidade é obtido a partir da relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia (Almeida et al., 2013; Alves et al., 2016). Obteve-se conforme Equação 3 (E3) (Müller, 1953):

$$Ic = 12,57 * A/P^2 \quad (E3)$$

Na qual: Ic é o índice de circularidade, adimensional; A, a área da bacia, em km²; e P, o perímetro da bacia, em km.

d) Densidade hidrográfica

Conforme destacam Almeida et al. (2013) e Alves et al. (2016), a densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia, também conhecida como frequência de drenagem. Christofletti (1980) afirma que o cálculo da densidade hidrográfica é importante por representar o comportamento hidrográfico da área em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos hídricos. Esta variável foi calculada usando a Equação 4 (E4) (Horton, 1945):

$$Dh = Nc_{po}/A \quad (E4)$$

Na qual: Dh é a densidade hidrográfica em número de canais de primeira ordem por km²; Nc_{po}, o número dos canais de primeira ordem; e A, a área da bacia, em km².

No Quadro 1 é apresentada a classificação da Dh em faixas de valores proposta por Lollo (1995).

Quadro 1. Classificação da densidade hidrográfica de bacias hidrográficas

Densidade hidrográfica (Dh) (canais.km ⁻²)	Denominação
< 3	Baixa
3 – 7	Média
7 – 15	Alta
> 15	Muito alta

Fonte: Lollo (1995).

e) Amplitude altimétrica máxima

A amplitude altimétrica máxima é a diferença entre a cota máxima e mínima (Strahler, 1952; Alves et al., 2016). Esta variável foi obtida conforme Equação 5 (E5) (Strahler, 1952):

$$Hm = PI - PII \quad (E5)$$

Na qual: 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.

f) Índice de rugosidade

O coeficiente de rugosidade corresponde ao produto entre a amplitude altimétrica máxima e a densidade de drenagem da bacia (Almeida et al., 2013; Fraga et al., 2014; Spanghero, Meliani e Mendes, 2015; Sampaio, Cordeiro e Bastos, 2016). Este índice foi obtido com uso da Equação 6 (E6) (Melton, 1957):

$$Ir = Hm * Dd \quad (E6)$$

Na qual: Ir é o índice de rugosidade, adimensional; Hm, a amplitude altimétrica máxima, em m; e Dd, a densidade de drenagem, em km.km⁻².

No Quadro 2 é apresentada uma proposta de classificação em faixas de valores do Ir (Sousa e Rodrigues, 2012).

Quadro 2. Classificação do índice de rugosidade de bacias hidrográficas

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

Legenda: Ir; índice de rugosidade; ad: adimensional.

Fonte: Sousa e Rodrigues (2012).

g) Declividade do canal principal

Conforme Lorenzon et al. (2014), uma das principais variáveis morfométricas para análise da propensão à ocorrência de enchentes é a declividade do canal principal. Obteve-se aplicando a Equação 7 (E7) (Villela e Mattos, 1975):

$$S1 = 100 * Hm / Lp \quad (E7)$$

Na qual: S1 é a declividade do canal principal, em %; Hm, a amplitude altimétrica máxima (m), obtida através da diferença entre as cotas máximas na cabeceira e mínima na foz (Alves et al., 2016); e Lp, o comprimento em nível do curso de água principal, medido da foz à nascente principal, em m. Foi considerada como nascente principal, aquela que nasce no local com maior distância em relação a foz e com maior altitude.

h) Índice de sinuosidade do curso de água principal

Conforme Nardini et al. (2013), Almeida et al. (2013) e Spanghero, Meliani e Mendes (2015), o índice de sinuosidade relaciona o comprimento verdadeiro do canal (em projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal. Este índice foi obtido com o uso da Equação 8 (E8) (Schumm, 1963):

$$Is = Lp / Ev \quad (E8)$$

Na qual: 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.

i) Razão de relevo

Rocha et al. (2014) destaca que a razão de relevo relaciona a amplitude altimétrica máxima da bacia e sua maior extensão medida paralelamente à principal linha de drenagem. Esta variável foi obtida conforme Equação 9 (E9) (Schumm, 1956):

$$Rr = Hm / La \quad (E9)$$

Na qual: Rr é a razão de relevo, em m.km⁻¹; Hm, a amplitude topográfica máxima, em m; e La, o comprimento axial da bacia hidrográfica, em km.

j) Densidade de drenagem

A densidade de drenagem, definida por Horton (1945), 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 (Fonseca e Augustin, 2014), sendo que o cálculo do comprimento total dos canais deve considerar os rios perenes e os temporários. Esta variável foi obtida conforme Equação 10 (E10) (Horton, 1945):

$$Dd = Lt/A \quad (E10)$$

Na qual: Dd é a densidade de drenagem, em km.km^{-2} ; Lt, o comprimento total dos canais, em km; e A, a área da bacia, em km^2 .

Pode ser observada no Quadro 3 uma classificação em faixas de valores da Dd (Beltrame, 1994).

Quadro 3. Classificação da densidade de drenagem de bacias hidrográficas

Dd (km.km^{-2})	Denominação
< 0,50	Baixa
0,50 – 2,00	Mediana
2,01 – 3,50	Alta
> 3,50	Muito Alta

Legenda: Dd: densidade de drenagem.

Fonte: Beltrame (1994).

l) Coeficiente de manutenção

Conforme Schumm (1956), o coeficiente de manutenção é calculado pela relação inversa da densidade de drenagem e fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Esta variável foi obtida conforme Equação 11 (E11) (Schumm, 1956):

$$Cm = 1/Dd * 1000 \quad (E11)$$

Na qual: Cm é o coeficiente de manutenção, em $\text{m}^2.\text{m}^{-1}$; Dd, a densidade de drenagem, em km.km^{-2} .

m) Extensão do percurso superficial

Horton (1945) e Alves et al. (2016) afirmam que a extensão do percurso superficial da água de enxurrada corresponde à distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um curso de água permanente. Obtida conforme a Equação 12 (E12) (Horton, 1945):

$$Eps = 1/(2 * Dd) \quad (E12)$$

Na qual: Eps é a extensão do percurso superficial, em km; e Dd, a densidade de drenagem, em km.km^{-2} .

Resultados e discussão

Primeiramente são apresentados os dados sobre a caracterização da área de estudo considerando a geologia, solos e precipitação pluviométrica para melhor discutir os resultados da morfometria. Em seguida, são apresentadas e analisadas as variáveis morfométricas, agrupadas conforme as características da geometria, do relevo e da rede de drenagem.

Caracterização da Área de Estudo

Formações geológicas

O embasamento geológico da BH do Rio Verdinho é representado por rochas formadas entre o Cretáceo e o Neogeno, com maior percentual representado pelo Grupo Bauru (Formação Vale do Rio do Peixe) e pelas Coberturas Detríticas Indiferenciadas, ambos sedimentares (Tabela 1 e Figura 2).

Ao analisar a Tabela 1 e Figura 2, observa-se que na BH do Rio Verdinho predomina a Formação Vale do Rio do Peixe (46,23%), seguida de coberturas detríticas indiferenciadas (33,55%), Santo Antônio da Barra (12,57%) e outras em menor percentual (7,65%) (Tabela 1).

É importante ressaltar que na Formação Vale do Rio do Peixe predomina material consolidado, arenoso. Apresenta solos geralmente com textura média. A capacidade de armazenamento de água no solo é menor, além de ser mais susceptível à erosão que áreas de solos mais argilosos como, por exemplo, da Formação Serra Geral.

Solos

Na Tabela 2 e Figura 3 são apresentadas as classes de solos da BH do Rio Verdinho. Como produto do processo de formação dos solos, os Latossolos são predominantes na área de estudo, com destaque para a classe de Latossolos Vermelhos Distróficos, a qual corresponde a 79,46% da área total da bacia hidrográfica em questão.

Tabela 1. Classes geológicas da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Unidade	Litotipo	ha	%
Vale do Rio do Peixe	Arenito, argilito arenoso	71394,14	46,23
Coberturas detríticas indiferenciadas	Depósitos de areia, depósitos de cascalho, depósitos de argila	51805,88	33,55
Santo Antônio da Barra	*	19418,95	12,57
Depósito aluvionares	Depósitos de areia, depósitos de cascalho	5711,49	3,70
Cobertura detrito-lateríticas ferruginosas	Aglomerado, Laterita, Argilita, Areia	3000,23	1,94
Formação Serra Geral	Basalto, basalto-andesito	2461,97	1,59
Formação Verdinho	Conglomerado, Arenito lítico	637,53	0,41
Total		154.430,19	100

*No Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal não foi observado litotipo para a formação Santo Antônio da Barra.

Fonte: Organizada pelo autor (2019) a partir de dados gerados pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC, 2009), disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

Figura 2. Geologia da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás.

Elaborado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.

Fonte: Mapa organizado pelo autor (2019) a partir de dados gerados pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC, 2009), disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

Os Latossolos normalmente estão situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%; são profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis, mesmo quando muito argilosos são friáveis e de fácil preparo (Sousa e Lobato, 2000).

É importante ressaltar que apesar do alto potencial que os Latossolos apresentam para agropecuária, parte de sua área deve ser mantida

com reserva de vegetação natural para proteção da biodiversidade desses ambientes (Sousa e Lobato, 2000).

Os Latossolos Vermelho de textura média e argilosa, apesar de serem estáveis, são suscetíveis à erosão em sulcos devido ao manejo inadequado, assim como nas bordas, vertentes de até 12% de declive, são áreas de risco ao desenvolvimento de voçorocas, conforme observado em Maranhão et

al. (2017) e Lense et al. (2019). Ou seja, mesmo com características favoráveis à produção agropecuária, o manejo inadequado nos Latossolos, como uso intensivo de mecanização agrícola, monocultura, sobrepastoreio etc., torna estes solos mais suscetíveis à erosão e outros impactos ambientais negativos (Alves, Martins e

Scopel, 2018). Aplicando o Método de Erosão Potencial, o estudo de Lense et al. (2019) apontou que áreas que combinam solo exposto e altas declividades apresentaram as maiores taxas de perda de solo.

Tabela 2. Classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Símbolo	Classes	Em ha	Em %
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico, textura média ou argilosa ou muito argilosa	122.712,44	79,46
NVd	Nitossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa	13.688,81	8,87
CXd	Cambissolo Háplico Distrófico, textura média ou média cascalhenta	6.768,09	4,38
GXd	Gleissolo Háplico Distrófico, textura argilosa	5.858,21	3,79
PVd	Argissolo Vermelho Distrófico, textura média	4.283,32	2,77
RLd	Neossolo Litólico Distrófico, textura média	1.119,32	0,73
Total	-	154.430,19	100,00

Fonte: Atualizada e organizada pelos autores (2019) conforme Embrapa (2013) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (RURAL MINAS, 2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

Figura 3. Solos da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás.

CXd: Cambissolo Háplico Distrófico; GXd: Gleissolo Háplico Distrófico; LVd: Latossolo Vermelho Distrófico, textura média ou argilosa ou muito argilosa; NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico; PVd: Argissolo Vermelho Distrófico; RLD: Neossolo Litólico Distrófico.

Elaborado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.

Fonte: Mapa atualizado e organizado pelos autores (2019) conforme Embrapa (2013) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba, gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (RURAL MINAS, 2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

Na BH do Rio Verdinho, 8,87% da área total corresponde a classe de Nitossolo Vermelho Eutrófico. Os Nitossolos apresentam alto risco de erosão devido aos relevos acidentados a que estes solos estão associados (Santos e Zaroni, 2019), o que exige adoção de práticas de conservação do solo para prevenção contra erosão, assoreamento de cursos hídricos, etc.

Os Cambissolos apresentam pequena profundidade e a ocorrência de rochas, cascalhos, etc. na massa do solo, que são as principais limitações para uso (Santos, Zaroni e Almeida, 2019a). No caso da BH do Rio Verdinho, tendo proximidade com os cursos d'água, essa classe de solos é indicada para preservação da mata ciliar e de galeria (Santos e Zaroni, 2019), que são importantes para a ecologia das paisagens, sobretudo em ambientes agrícolas, pois podem funcionar como filtro para o escoamento proveniente das vertentes, conservar a morfologia fluvial por meio da estabilização das margens e fornecer matéria orgânica alóctone, como folhas e sementes, tendo como dispersor o próprio canal fluvial (Lovell e Sullivan, 2016; Effert-Fanta et al. 2019).

Os Argissolos tendem a ser mais suscetíveis aos processos erosivos devido à relação textural presente nestes solos (textura média), que implica em diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais (Zaroni e Santos, 2019).

O Neossolo Litólico está presente em área com maior declividade. As limitações ao uso desses solos são relacionadas à pouca profundidade, presença de rocha e aos declives acentuados associados às áreas de ocorrência destes solos. Estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão. São solos normalmente indicados para preservação da flora e fauna (Santos, Zaroni e Almeida, 2019b).

Precipitação pluviométrica

Na Figura 4 e Figura 5 são apresentados os dados de precipitação pluviométrica na área de estudo.

Figura 4. Precipitação mensal mínima, máxima e média (mm) para a área de estudo, no período de 1997 a 2017, dados compilados da estação pluviométrica nº 01750008 Fazenda Paraíso.

Fonte: Dos autores (2019).

Observa-se que as precipitações pluviométricas não apresentaram muita variação em relação à média, com exceção do ano 2000 que

apresentou baixo volume de chuva, considerado atípico (Figura 5).

Figura 5. Precipitação total e média anual (mm) para a área de estudo, no período de 1997 a 2017, dados compilados da estação pluviométrica nº 01750008 Fazenda Paraíso.

Fonte: Dos autores (2019).

A altura pluviométrica de chuva intensa no município de Rio Verde (GO), padrão de 60 minutos de duração, dois anos de período de retorno, é de 40 a 60 mm; e a precipitação pluvial de um dia de duração para um período de retorno de dois anos é de 70 a 90 mm (Oliveira, Antonini e Griebeler, 2008).

A classificação climática no estado de Goiás, considerando os elementos precipitação pluviométrica e a temperatura do ar, utilizando a metodologia de proposta por Köppen-Geiger em 1900 e adaptada por Setzer (1966), é enquadrada no tipo AW-Clima tropical com estação seca no inverno (Cardoso, Marcuzzo e Barros, 2014).

Geometria

Na Tabela 3 são apresentados os dados da geometria da BH do Rio Verdinho. A área e o perímetro da bacia hidrográfica correspondem a

154.430,19 ha e 398.099,99 m, respectivamente. Conforme Vilella e Mattos (1975), a área de drenagem de uma bacia hidrográfica é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos, sendo um elemento fundamental para o cálculo das demais características físicas.

Considerando o comprimento da foz até o ponto mais distante do espigão, ou seja, o comprimento axial (L_a) da BH do Rio Verdinho, o valor obtido é de 121.720,00 m. A BH apresenta valor de 2,86 para o coeficiente de compacidade (K_c), 0,10 para o fator de forma (K_f), 0,12 para o índice de circularidade (I_c), sendo considerada alongada e, quando associada aos fatores geológicos, pedológicos (porosos, bem drenados e bem permeáveis) e precipitação pluviométrica, é pouco propensa a ocorrência de grandes enchentes. O formato alongado também pode ser observado na (Figura 1).

Tabela 3. Caracterização geométrica da bacia hidrográficas do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Variável	Resultado
Área (ha)	154.430,19
Perímetro (m)	398.099,99
Comprimento axial (m)	121.720,00
Coeficiente de compacidade (ad)	2,86
Fator de forma (ad)	0,10
Índice de circularidade (ad)	0,12
Densidade hidrográfica (canais.km ⁻²)	0,18

Legenda: ad: adimensional.

Fonte: Dos autores (2019).

Uma bacia hidrográfica com a forma alongada apresenta baixa probabilidade de ocorrência de chuvas intensas simultâneas ao longo

de toda a superfície da mesma. Contudo, em evento de chuva intensa em sua cabeceira, pode apresentar um tempo bastante reduzido de concentração das

águas precipitadas e, assim, estar sujeita a episódios de rápido crescimento do deflúvio nas áreas a jusante (Spanghero, Meliani e Mendes, 2015), podendo causar prejuízos ambientais (desbarrancamento das margens de cursos d'água, assoreamento, entre outros), econômicos (perda da camada fértil do solo, desvalorização de propriedades rurais e outros).

Conforme afirmam Menezes et al. (2014), em uma bacia hidrográfica estreita e longa, com Kf baixo, há menor possibilidade de ocorrência de 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.

Segundo Spanghero, Meliani e Mendes (2015), o valor mínimo a ser obtido no cálculo do Kc é 1 (caso a bacia hidrográfica tenha a forma de um círculo perfeito), sendo, portanto, quanto mais próximo de 1 mais circular é a bacia hidrográfica, ao contrário, quanto maior o Kc, mais próximo da forma alongada.

O valor de Ic próximo à unidade indica que a unidade hidrográfica estudada tenderá à forma circular (Almeida et al., 2013; Menezes et al., 2014). O Ic 0,12 tende para 1 à medida que a bacia hidrográfica se aproxima da forma circular e diminui conforme se torna mais alongada (Dias, Vieira e Gramani, 2016). O Ic com valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento; e valores maiores que 0,51 indicam que tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas), destaca Schumm (1956).

É importante ressaltar que as variáveis Kc, Kf e Ic sejam analisadas em conjunto para a indicação precisa da probabilidade de ocorrência de enchentes em bacias hidrográficas, além da tipologia de solos, dos padrões de uso da terra e cobertura vegetal, do regime das precipitações pluviométricas e do gradiente topográfico (Soares et al., 2016).

Em estudo realizado sobre a morfometria da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde, Sudoeste de Goiás, Alves et al. (2016) obtiveram valores de 1,55, 0,23 e 0,41, para

o Kc, Kf e Ic, respectivamente, confirmando que a área de estudo é mais alongada que circular e, conseguinte, pouco suscetível a grandes enchentes, corroborando com o presente estudo.

No estudo realizado por Guerra et al. (2015), os autores também observaram resultados semelhantes na caracterização morfométrica da BH de Bitá, em Ipojuca (PE), onde obtiveram Kc de 1,46, Kf de 0,18 e Ic de 0,46, indicando a forma alongada e evidenciando menor risco de cheias.

A Dh é de 0,18 canais.km⁻² para a BH do Rio Verdinho, ou seja, para cada 5,56 km² na bacia hidrográfica existe 1 canal, sendo caracterizada como de baixa densidade hídrica e baixa capacidade de gerar novos canais, o que dificulta a água precipitada na superfície do solo encontrar rapidamente um canal para poder escoar, o que favorece a infiltração. Por outro lado, caso o solo esteja descoberto, pode ocorrer a intensificação dos processos erosivos, uma vez que a água percorre uma superfície maior até encontrar um canal para escoar. Conforme descrito por Lollo (1995), bacia hidrográfica com Dh <3 canais.km⁻² é denominada de baixa densidade hidrográfica (Quadro 1). Ressalta-se que a baixa Dh pode ser em decorrência da Formação Vale do Rio do Peixe e do relevo plano.

Em estudo da Dh da BH do Ribeirão das Abóboras, foi observado valor equivalente a 0,28 canais por km², ou seja, em cada porção de 3,57 km² da bacia há um canal, sendo maior que o valor observado na BH do Rio Verdinho. A Dh expressa o comportamento da rede hidrográfica em sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área, o que pode prestar-se a inferências qualitativas quanto à permeabilidade da área de estudo, ao nível do lençol freático e à distribuição da precipitação sobre a bacia hidrográfica (Christofolletti, 1980).

Elementos do relevo

Os resultados da caracterização do relevo são apresentados na Tabela 4, sendo que a hipsometria é espacializada na Figura 6, e a declividade, na Figura 7.

Tabela 4. Caracterização do relevo da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Variável	Resultado
Ponto mais alto da bacia (m)	940,00
Ponto mais baixo da bacia (m)	522,00
Altitude média (m)	772,93
Amplitude altimétrica máxima (m)	418,00
Índice de rugosidade (ad)	263,34
Declividade do canal principal (%)	0,21
Índice de sinuosidade do curso de água principal (km.km ⁻¹)	2,01
Razão de relevo (m.km ⁻¹)	3,43
Declividade mínima da bacia (%)	0,00
Declividade máxima da bacia (%)	69,00
Declividade média da bacia (%)	5,77
Desvio padrão do cálculo da declividade (%)	4,65

Legenda: ad: adimensional.

Fonte: Dos autores (2019).

A BH do Rio Verdinho apresenta valor de 940 m para o ponto mais alto (PI), e 522 m, para o ponto mais baixo (PII), com altitude média de 772,93 m, amplitude altimétrica (Hm) de 418 m e índice de rugosidade (Ir) de 263,34. O valor de Hm obtido é considerado alto, o que é desfavorável a conservação da bacia hidrográfica em questão.

Alves et al. (2016), no estudo da morfometria da BH do Ribeirão das Abóboras, que

também é fonte de água para abastecimento público de Rio Verde (GO), obtiveram altitude média de 777,88 m e Hm de 235 m, sendo esta, ao contrário do resultado obtido para a BH do Rio Verdinho, considerada baixa, conferindo à essa unidade de planejamento e gestão um relevo favorável à sua conservação.

Figura 6. Hipsometria da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Elaborado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.

Fonte: Dos autores (2019).

No estudo da morfometria da BH do Ribeirão Vermelho, em Lavras (MG), foi obtido valor da Hm de 312 m (menor que o obtido para a BH do Rio Verdinho), sendo o menor valor altimétrico encontrado de 772 m, e o maior, de

1084 m. O alto valor altimétrico encontrado implica em grande diferencial entre a altitude nas partes altas da bacia e no exutório, aumentando a velocidade média do escoamento na calha do rio, associada à baixa sinuosidade do mesmo,

implicando em menor tempo de concentração (Menezes et al., 2014).

O valor de Ir (263,34) encontrado na BH do Rio Verdinho classifica a rugosidade como média (Tabela 4), ou seja, com média suscetibilidade a ocorrência de processos erosivos. Conforme Alves et al. (2016), quanto maior for o Ir, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Santos e Sousa (2013) ressaltam que o Ir é importante para avaliar a rugosidade do relevo da bacia hidrográfica, pois a rugosidade tende a desfavorecer o escoamento superficial, gerando maior possibilidade de enchentes.

Sousa e Rodrigues (2012) destacam que bacia hidrográfica com Ir de 151 a 550 é classificada como de rugosidade média (Quadro 2). Estes autores destacam, ainda, que elevados valores de rugosidade indicam acentuado escoamento superficial e também ocorrências erosivas.

A declividade do canal principal (S1) é de 0,21% para a BH do Rio Verdinho (Tabela 4), considerada baixa, o que é favorável a proteção da rede de drenagem. Índice superior foi obtido por Alves et al. (2016) para a declividade do Ribeirão das Abóboras, de 0,81%, favorável a proteção deste curso hídrico quanto ao assoreamento. Lorenzon et al. (2014) afirmam que uma das características morfométricas muito importantes para fins de análise da propensão à ocorrência de enchentes e inundação é a S1.

O índice de sinuosidade do curso de água principal (Is) obtido é de 2,01 km.km⁻¹, caracterizando o Rio Verdinho como tortuoso. Conforme Stipp, Campos e Caviglione (2010), Is acima de 2,0 km.km⁻¹ caracteriza-se por redes de drenagem sinuosas, podendo haver acúmulos de sedimentos, o que pode ser agravado pela ação antrópica. Moura (2013) 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.

Alves et al. (2016) verificaram que o Ribeirão das Abóboras apresenta Is de 1,57 km.km⁻¹, inferindo que os canais são transicionais, regulares e irregulares, diferente do observado na BH do Rio Verdinho.

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. O valor da Rr obtido é de 3,43 m.km⁻¹ (0,00343 m.m⁻¹), indicando que a velocidade de escoamento dos cursos hídricos é baixa. Classificação semelhante a esta foi obtida por Alves et al. (2016) na BH do Ribeirão das Abóboras (0,01 m.m⁻¹), Sudoeste de Goiás, ou seja, esse parâmetro apresenta velocidade baixa de escoamento, contribui para maior infiltração da água, baixa susceptibilidade a erosão e redução de risco de assoreamento.

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.

Foram obtidas declividades mínimas de 0-3%, máxima de 45-69% (Tabela 5 e Figura 7), média de 5,77% e desvio padrão de 4,65.

Tabela 5. Classes de declividade (S) em %, área correspondente em ha e em % da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

S (%)	Relevo	Área	
		ha	%
0 – 3	Plano	43.573,20	28,22
3 – 8	Suave-ondulado	76.290,84	49,40
8 – 20	Ondulado	31.902,39	20,66
20 – 45	Forte-ondulado	2.602,87	1,69
45 – 75	Montanhoso	60,89	0,04
> 75	Forte-montanhoso	-	-
Total	-	154.430,19	100

Fonte: Dos autores (2019).

Figura 7. Declividade da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás
Elaborado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.
Fonte: Dos autores (2019).

Conforme a proposta da Embrapa (2013) para a classificação da declividade, a BH do Rio Verdinho apresenta: 49,40% da área total com declividade entre 3 a 8% (suave-ondulado); seguida de 28,22% com declividade entre 0 a 3% (plano); 20,66% com declividade entre 8 a 20% (ondulado); 1,69% com declividade entre 20 a 45% (forte-ondulado); 0,04% com declividade entre 45 a 69% (montanhoso) e não apresenta áreas com a categorias de relevo forte-montanhoso.

Ou seja, predominam áreas com relevo plano e suave-ondulado (77,62% da área total), favorável a infiltração da água, e, conseguinte, a pedogênese e a conservação dessa unidade hidrográfica. Segundo Soares et al. (2016), declividade inferior a 3% é fator preponderante para o baixo escoamento fluvial e pouco entalhamento de novas drenagens. Essa baixa declividade predominante reflete na média densidade de drenagem (Dd), que será tratada mais à frente.

Mesmo que as áreas com maiores declividades (com relevo ondulado, forte-ondulado e montanhoso) correspondam a um percentual menor em relação às categorias predominantes da área total de estudo, são associadas aos solos mais favoráveis aos processos erosivos (CXd, PVd e RLd), no trecho médio e baixo da bacia hidrográfica, sendo importante considerar o manejo conservacionista nessas áreas.

As áreas com declividade maiores que 20% são condicionadas teoricamente como vulneráveis a processos geomorfológicos de encosta, intensificando os processos de movimentos de massa e erosivos, conforme afirmam Oliveira et al. (2013). Calderano Filho et al. (2014) destacam que o grau de declive do terreno exerce influência direta sobre a quantidade de perda de solo por erosão, pois, quanto maior seu gradiente, maior a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade.

Conforme Guadagnin, Trentin e Alves (2015), a declividade corresponde a um dos mais importantes parâmetros na análise das vertentes, pois representa sua inclinação. Oliveira et al. (2013) destacam que a declividade juntamente com a densidade da cobertura vegetal, tipo de solo, intensidade das chuvas e os processos antrópicos podem influenciar nos processos erosivos e deposicionais. 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 precipitação e o deflúvio (precisão de enchentes), a delimitação das áreas de preservação permanente, do potencial erosivo e de aptidão do solo. Alves et al. (2016) destacam que o mapa de altimetria e declividade das vertentes contribuem para o entendimento da modelagem e prevenção de

movimentos de massa, uma vez que esse processo é influenciado fortemente pela gravidade.

Ao relacionar os dados de declividade com a potencialidade à mecanização, conforme observado em Lima, Oliveira e Aquino (2002), 98,28% da área de estudo poderia ser utilizado para práticas agrícolas, enquanto 1,72% não.

É preciso ressaltar que, mesmo nas áreas favoráveis à mecanização agrícola e com declividade de 20 a 75 %, se o uso e o manejo do solo não forem com base em planejamento e gestão tendo em vista a sustentabilidade do agroecossistema, podem ocorrer prejuízos: ao meio ambiente, como perda de solos e assoreamento de cursos d'água devido a processos erosivos; e econômicos, como baixa produtividade dos solos devido a perda da fertilidade e impedimentos físicos e desvalorização da propriedade. Propriedades rurais com áreas degradadas, baixa

produtividade e em desconformidade com a legislação ambiental vigente são desvalorizadas.

A declividade da BH do Ribeirão das Abóboras, conforme a classificação da Embrapa (2013), varia entre plano (0 – 3%) em área de 62,35 km², suave ondulado (3 – 8%) em área de 116,96 km², ondulado (8 – 20%) em área de 15,16 km² e fortemente ondulado (20 – 26%) em área de 0,05 km² (Alves et al., 2016), sendo que, ao contrário do observado na BH do Rio Verdinho, não apresenta a categoria de relevo montanhoso.

Rede de drenagem

Os resultados sobre a rede de drenagem são apresentados na Tabela 6, com espacialização da hidrografia na Figura 8, e ordem dos canais, na Figura 9.

Tabela 6. Caracterização da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Variável	Resultado
Número de canais (ad)	282
Ordem do curso hídrico principal (ordinal)	4
Comprimento do canal principal (m)	195.460,00
Comprimento total dos canais (m)	971.520,00
Equivalente vetorial médio em linha reta (m)	97.320,00
Densidade de drenagem (km.km ⁻²)	0,63
Coefficiente de manutenção (m ² .m ⁻¹)	1.587,30
Extensão do percurso superficial (m)	793,70

Legenda: ad: adimensional.

Fonte: Dos autores (2019).

Figura 8. Hidrografia da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Elaborado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.

Fonte: Dos autores (2019).

Figura 9. Ordem dos canais da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás

Elaborado no Sistema de Coordenadas Planas: Sirgas 2000, UTM, Zona 22S.

Fonte: Dos autores (2019).

De acordo com seu escoamento global, a área de estudo é classificada como de drenagem dendrítica, seu desenvolvimento assemelha a configuração de uma árvore, padrão tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estrutura sedimentar horizontal (Christofletti, 1980), resultado principalmente da predominância de formações sedimentares/areníticas na região.

A BH do Rio Verdinho apresenta 282 canais e podem ser destacados: Rio Verdinho, Ribeirão Boa Vista, Ribeirão Vauzinho, Córrego Indaiá, Córrego Grande, Córrego Cambuí, Córrego Bonito, Córrego do Mato e Córrego Paraíso (Figura 8).

A BH do Rio Verdinho apresenta 282 canais de 1ª ordem, 24 de 2ª ordem, 5 de 3ª ordem e 1 de 4ª ordem, sendo esta a ordem do rio principal (Figura 9). Conforme a classificação de Strahler (1952), o número de rios corresponde à quantidade de canais de primeira ordem. Conforme Santiago et al. (2015), a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da área de estudo.

A BH do Rio Verdinho apresenta 195.460,00 m para o comprimento do canal principal (Lp), 971.520,00 m para o comprimento total dos canais (Lt) e 97.320,00 m para o equivalente vetorial médio em linha reta (Ev), sendo os resultados para densidade de drenagem (Dd), coeficiente de manutenção (Cm) e extensão

do percurso superficial (Eps) de 0,63, 1.587,30 e 793,70 m, respectivamente.

A Dd é reconhecidamente 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, ou expressando a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas (Christofletti, 1980).

Beltrame (1994) considera a classificação da Dd de uma bacia hidrográfica da seguinte forma: $Dd < 0,50 \text{ km.km}^{-2}$, considerada baixa; entre $0,50 - 2,00 \text{ km.km}^{-2}$, considerada média; entre $2,01 - 3,50 \text{ km.km}^{-2}$, considerada alta; e $> 3,50 \text{ km.km}^{-2}$, considerada muito alta (Quadro 3). Assim, a BH do Rio Verdinho é considerada como de média densidade de drenagem (próxima do limite para a classe baixa) indicando que o substrato geológico e o material pedológico são porosos.

Conforme Fonseca e Augustin (2014), valores elevados da Dd são indicativos indiretos do grau mais elevado de dissecação do relevo, decorrente principalmente dos fatores declividade, presença de material subsuperficial pouco permeável, baixa densidade da cobertura vegetal, fatores climáticos, entre outros.

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, como cobertura vegetal, morfologia, solos e litologia, permitindo avaliar as condições de estabilidade morfogenética do sistema (Sampaio, Cordeiro e Bastos, 2016).

Na análise morfométrica da BH do Ribeirão das Abóboras, Alves et al. (2016) obtiveram Dd de $0,661 \text{ km.km}^{-2}$ (pouco maior que os valores obtidos para a BH do Rio Verdinho), sendo caracterizada pelos autores como de média drenagem. Bacias hidrográficas sob as mesmas condições climáticas sofrem variações de Dd pelas diferenças de condutividade hidráulica do seu substrato (Christofolletti, 1980).

Sangireddy et al. (2016) analisaram a correlação entre a Dd e vários parâmetros climáticos, topográficos, vegetacionais e geológicos em 101 sub-bacias em 13 estados nos EUA e verificaram correlação negativa fraca entre a Dd e ambientes áridos e semiáridos e forte correlação positiva em ambientes úmidos. A análise de Dd e cobertura vegetal mostra que a Dd aumenta com a diminuição da cobertura vegetal.

Alves et al. (2016) destacam que, na análise morfométrica da BH do Ribeirão das Abóboras, o Cm obtido foi de $1.513,72 \text{ m}^2.\text{m}^{-1}$, ou seja, há necessidade de uma área de drenagem de, no mínimo, $1.513,72 \text{ m}^2$ para a manutenção de 1 m de canal de escoamento perene. Assim, a BH do Rio Verdinho, quando comparada com a BH do Ribeirão das Abóboras, demanda maior área para manutenção de 1 m de canal de escoamento perene.

Fonseca e Augustin (2014) destacam que o Cm corresponde à área necessária para a formação de um canal com fluxo perene. 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. Quando associados à declividade, o Cm e a Eps definem o caminho da água no solo, tendo em vista que grandes extensões com pequenos ângulos de declividade favorecem à infiltração enquanto pequenas extensões 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, ficando sujeita a infiltração (Sampaio, Cordeiro e Bastos, 2016). Assim, o valor de Eps obtido indica que a bacia hidrográfica em análise possui distância longa para o escoamento da enxurrada, o que propicia maior tempo de concentração da água, favorável à infiltração e, conseqüente, recarga hídrica.

Conclusão

A análise morfométrica elucidou a compreensão da imposição dos aspectos físicos da bacia no comportamento hidrológico.

Considerando os aspectos geométricos (Kc, Kf e Ic), a BH do Rio Verdinho está sujeita à torrentes eventuais, caso ocorram chuvas intensas na sua cabeceira. A Dh é favorável à infiltração, mas a longa distância de escoamento d'água precipitada expõe os solos aos processos erosivos.

Como o ponto de captação de água (projeto em fase de implementação) para abastecimento da população urbana de Rio Verde (GO) fica localizado no trecho médio da bacia hidrográfica, as possíveis torrentes não comprometeriam a estrutura do sistema de captação de água, já que ocorreriam nas áreas a jusante. Mas podem causar grandes perdas de solos, desbarrancamentos das margens dos canais de escoamento hídrico e outros prejuízos ambientais e econômicos no trecho baixo da bacia hidrográfica.

Tratando-se dos aspectos do relevo, a área de estudo apresenta declividade do canal principal, índice de sinuosidade e declividade favoráveis à conservação ambiental, minimizando o risco de assoreamento dos canais hídricos. A razão de relevo é propícia à infiltração d'água, sendo importante para a recarga d'água na bacia hidrográfica e manter a vazão para atender o abastecimento público de Rio Verde (GO) e os demais usos múltiplos. Entretanto, ao considerar as variáveis amplitude altimétrica máxima e as maiores declividades, em conjunto com os solos Argissolo Vermelho, Neossolo Litólico, Nitossolo Vermelho e a predominância de agricultura intensiva, a bacia hidrográfica é, parcialmente, suscetível a perda considerável de solos, principalmente no caso de ocorrência de chuvas intensas.

Mesmo que ocorra a predominância de declividades baixas associadas aos solos menos suscetíveis aos processos erosivos (Latosolos), na área de contribuição do ponto de captação de água para o abastecimento público da população urbana de Rio Verde (GO), a presença de Argissolo, o uso

intensivo da terra e as possíveis precipitações pluviométricas intensas podem comprometer a qualidade da água para o consumo humano (por exemplo: elevação da turbidez, cor, matéria orgânica, carreamento para o sistema de captação de outros resíduos importantes, como os pesticidas).

Quanto à rede de drenagem, a média densidade de drenagem indica substrato geológico e material pedológico mediantemente porosos, e associada aos valores obtidos para o coeficiente de manutenção e a extensão do percurso superficial e, ainda, à declividade predominantemente de relevo plano a suave ondulado, são favoráveis à infiltração de água na bacia hidrográfica, contribuindo para a recarga hídrica, aspectos importantes para o abastecimento público e outros usos.

Os resultados desse estudo configuram-se como importantes subsídios ao planejamento e à gestão ambiental da BH do Rio Verdinho, além de servir de base para outros trabalhos locais e de outras regiões, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e, por conseguinte, para o abastecimento público e outros usos múltiplos.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás/Regional de Jataí e Instituto Federal Goiano/Campus Rio Verde pelo apoio decisivo.

Referências

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2006. Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, geração de 22 de julho de 2006.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018. HidroWeb. Série histórica de precipitação. Disponível: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso: 25 fev. 2018.
- Almeida, R. F. B., Bayer, M., Ferreira Júnior, L. G., 2016. Compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. *Mercator* [online] 15, 83-94. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4215/rm2016.1504.0006>. Acesso: 10 jun. 2018.
- Almeida, W. S., de 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: 15 mar. 2018.
- Alves, W. S., Scopel, I., Martins, A. P., Morais, W. A., 2016. Análise morfométrica da bacia do ribeirão das Abóboras – Rio Verde (GO). *Geociências* [online] 35, 652-667. Disponível: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9978>. Acesso: 26 mar. 2018.
- Alves, W. S., Morais, W. A., Saleh, B. B., Santos, L. N. S., 2017. Análise de aspectos físicos da bacia do córrego Bonsucesso, localizada em Jataí (GO), Brasil, apoiado em geotecnologias. *Revista Geográfica Acadêmica* [online] 11, 13-34. Disponível: <https://revista.ufrr.br/rga/issue/view/224>. Acesso: 31 jul. 2019.
- Alves, W. S., Martins, A. P., Scopel, I., Pereira, M. A. B., 2018. Análise morfométrica da bacia do ribeirão da Laje, no Sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Geografia, Ensino & Pesquisa* [online] 22, 01-22. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5902/2236499431129>. Acesso: 31 jul. 2019.
- Alves, W. S., Martins, A. P., Scopel, I., 2018. Fragilidade ambiental: subsídio ao planejamento e gestão da bacia do Ribeirão da Laje (GO), Brasil. *Geografia, Ensino & Pesquisa* [online] 22, 01-17. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5902/2236499431267>. Acesso: 31 jul. 2019.
- Alves, W.S., Martins, A.P., Aquino, D.S., Morais, W.A., Pereira, M.A.B., Saleh, B.B., 2019. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do ribeirão Douradinho, no Sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 12, 1093-1113. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1093-1113>. Acesso: 07 dez. 2019.
- Bahrami, S., Capolongo, D., Mofrad, M. R., 2020. Morphometry of drainage basins and stream networks as an indicator of active fold growth (Gorm anticline, Fars Province, Iran). *Geomorphology* [online] 355, 107086. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107086>. Acesso: 07 dez. 2019.

- Beltrame, A. V., 1994. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC.
- Calderano Filho, B., Bering, S. B., Calderano, S. B., GUERRA, A., 2014. Suscetibilidade dos solos à erosão na microbacia do córrego Fonseca, região Serrana do estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, Aracaju. Anais... Aracaju: GEONORDESTE, p. 571-576.
- Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., Barros, J. R., 2014. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. ACTA Geográfica [online] 8, 40-55. Disponível: [em:https://revista.ufrr.br/index.php/actageo/article/view/1384](https://revista.ufrr.br/index.php/actageo/article/view/1384). Acesso: 02 nov. 2019. DOI: 10.5654/actageo2014.0004.0016.
- Christofolletti, A., 1980. Geomorfologia. Edgard Blucher Ltda, São Paulo.
- Cochev, J. S., Neves, S. M. A. S., da Silva, E. P., Silva, A., Neves, R. J., 2015. Análise fisiográfica e do uso da terra em microbacias com produção olerícola no município de Alta Floresta (MT). ACTA Geográfica [online] 9, 55-71. Disponível:<http://dx.doi.org/10.5654/acta.v9i2.0.2002>. Acesso: 06 mar. 2018.
- Deodoro S. C., Fonseca, B. M., 2016. Análise morfométrica e multicriterial da bacia hidrográfica do Rio Santa Bárbara, Nordeste do Quadrilátero Ferrífero (MG). Revista Brasileira de Cartografia [online] 68, 1837-1852. Disponível: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/1785>. Acesso: 19 maio 2018.
- Dias, V. C.; Vieira, B. C.; Gramani, M. F., 2016. Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. Confins [online] 29. Disponível: URL: <http://journals.openedition.org/confins/11444>. Acesso: 11 fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.11444>
- Effert-Fanta, E. L., Fischer, R. U., Wahl, D. H., 2019. Effects of riparian forest buffers and agricultural land use on macroinvertebrate and fish community structure. Hydrobiologia 841, 45-64.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013 Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília.
- ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.6®. 2019. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Fonseca, B. M., Augustin, C. H. R. R., 2014. Análise morfométrica de bacias de drenagem e sua relação com a estrutura geológica, Serra do Espinhaço Meridional (MG). Revista Brasileira de Geomorfologia [online] 15, 153-172. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i2.296>. Acesso: 04 maio 2018.
- Fraga, M. S., Ferreira, R. G., Silva, F. B., Vieira, N. P. A., Silva, D. P., Barros, F. M., Martins, I. S. B., 2014. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. Nativa [online] 2, 214-218. Disponível: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v02n04a05>. Acesso: 15 mar. 2018.
- Franco, A. C. V., Santo, M. A. D., 2015. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. Mercator [online] 14, 151-167. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1984-22012015000300151&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso: jul. 2019.
- Guadagnin, P. M. A.; Trentin, R.; Alves, F. S., 2015. Relação entre as variáveis geomorfológicas e a vegetação florestal na bacia hidrográfica do Arroio Caverá- Oeste do RS. Revista do Departamento de Geografia – USP [online] 29, 246-261. Disponível: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102131>. Acesso: 10 de jun. 2018.
- Guerra, S. M. S., Silva, A. D., Araújo, S. P., Corrêa, M. M., Silva, V. D., Santos, B., 2015. Caracterização morfométrica e avaliação da qualidade da água da bacia Hidrográfica de Bita, Ipojuca (PE). Revista Brasileira de Geografia Física [online] 8, 759-775. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.3.p759-775>. Acesso: 15 jul. 2018.
- Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin [online] 56, 275. Disponível: [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). Acesso: 19 jul. 2018.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019. População 2019 (estimativa). Brasil.

- Disponível:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama>. Acesso: 15 dez. 2019.
- Lense, G.H.E., Parreiras, T.C., Moreira, R.S., Avanzi, J.C., Mincato, R.L., 2019. Estimates of soil losses by the erosion potential method in tropical latosols. *Ciência e Agrotecnologia* [online] 43. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943012719>. Acesso: 28 abr. 2020.
- Lima, A. A. C.; Oliveira, F. N. S.; Aquino, A. R. L., 2002. Classificação e aptidão agrícola dos solos do campo experimental de Pacajus, Ceará, para a Agricultura. Fortaleza.
- Lollo, J. A., 1995. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Lorenzon, A. S., Fraga, M. D. S., Moreira, A. R., Uliana, E. M., Silva, D. D. D., Ribeiro, C. A. A. S., Borges, A. C., 2014. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. *Revista Ambiente & Água* [online] 10, 195-2006. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1475>. Acesso: 28 mar. 2018.
- Lovell, S. T.; Sullivan, W. C., 2006. Environmental benefits of conservation buffers in the United States: evidence, promise, and open questions. *Agriculture, ecosystems & environment* 112, 249-260.
- Machado, R. A. S., Lobão, J. S. B., Vale, R. D., Souza, A. P. M. J., 2011. 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.
- Maranhão, D.D.C., Aguado, O.I.O., Pereira, M.G., Araújo, A.P., Castro, S.S., Ferreira Júnior, L.G.F., 2017. Analysis of Potential for Linear Erosion in the Cerrado Biome Using Morphopedology. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] 41. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20160427>. Acesso: 27 abr. 2020.
- Martini, L. C. P. Características morfométricas de microbacias hidrográficas rurais de Santa Catarina., 2012. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [online] 13, 65-72. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i1.343>. Acesso: 17 mar. 2018.
- Melton, M. A., 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. Columbia University. New York.
- Menezes, J. P. C., Franco, C. S., de Oliveira, L. F. C., Bittencourt, R. P., de Sá Farias, M., Fia, R., 2014. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [online] 15, 659-672. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i4.597>. Acesso: 16 jun. 2018.
- Moura, C. A., 2013. Avaliação de tendência a enchentes das bacias Hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). *Revista de Geografia* [online] 30, 123-138. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/229012/23414>. Acesso: 11 de fev. 2020.
- Müller, V. C., 1953. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Columbia University. New York.
- Nardini, R. C., Pollo, R. A., Campos, S., de Barros, Z. X., Cardoso, L. G., Gomes, L. N., 2013. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma micobacia hidrográfica. *Irriga* [online] 18, 687-699. Disponível: <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n4p687>. Acesso: 17 jul. 2018.
- Ogassawara, J. F.; Gass, S. L. B., 2018. Análise morfométrica dos afluentes principais da bacia hidrográfica do rio Uruguai e sua influência nas inundações na cidade de Itaqui, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista brasileira de Geomática* [online], 222-240. Disponível: <https://doi.org/10.3895/rbgeo.v6n3.7615>. Acesso: 25 jul. 2019.
- Oliveira, E. D., Fernandes, F., Bertotti, L., & Vestena, L., 2013. Uso das terras e aspectos fisiográficos da bacia de drenagem do Arroio do Butka, Guarapuava (PR). *Ateliê Geográfico* [online] 7, 215-236. Disponível: <https://doi.org/10.5216/ag.v7i1.15779>. Acesso: 25 jul. 2018.
- Oliveira, L. F. C.; Antonini, J. C. A.; Griebeler, N. P., 2008. Estimativas de chuvas intensas para o estado de Goiás. *Engenharia Agrícola* [online] 28, 22-33. Disponível: 3656

- <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000100003>. Acesso: 06 mar. 2018.
- Rocha, R. M., Lucas, A. A. T., Almeida, C. A. P. D., Neto, M., Leal, E., Netto, A. D. O. A., 2014. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água* [online] 9, 276-287. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1289>. Acesso: 23 jun. 2018.
- RURAL MINAS. FUNDAÇÃO RURAL MINAS., 2005. Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.
- Sampaio, A. C. P.; Cordeiro, A. M. N.; Bastos, F. H., 2016. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 9, 125-143. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p125-143>. Acesso: 05 jul.2018.
- Sangireddy, H., Carothers, R.A., Stark, C.P., Passalacqua, P., 2016. Controls of climate, topography, vegetation, and lithology on drainage density extracted from high resolution topography data. *Journal of Hydrology* [online] 537. Disponível:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.051>. Acesso: 30 mai. 2020.
- Santiago, C. M. C., Gomes, L. C. F., Sales, M. C. L., PAULA, J., 2015. Arranjo espacial da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a partir da análise morfométrica e dos aspectos ambientais. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 8, 402-421. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.2.p402-421>. Acesso: 20 mar.2018.
- Santos, A. M.; Targa, M. D. S., Batista, G. T., & Dias, N. W., 2012. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. *Revista Ambiente & Água* [online] 7, 195-211. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>. Acesso: 26 jun.2018.
- Santos, E. F.; Sousa, F. A., 2013. Aspectos morfométricos da bacia do córrego Tamanduá em Iporá – GO. *ACTA Geográfica* [online] 7,191-199. Disponível:<http://dx.doi.org/10.5654/acta.v7i1.5.968>. Acesso: 13 mar. 2018.
- Santos, H. G.; Zaroni, M. J. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Nitossolos. Disponível: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_17_2212200611543.html. Acesso: 23 maio 2019.
- Santos, H. G.; Zaroni, M. J.; Almeida, E. P. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cambissolos Háplicos. Disponível:http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html. Acesso: 23 maio 2019a.
- Santos, H. G.; Zaroni, M. J.; Almeida, E. P. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Neossolos Litólicos. Disponível: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html. Acesso: 23 maio 2019b.
- Santos L. L.; Ribeiro V. O.; Diodato J. O., 2019. Morfometria das bacias hidrográficas inseridas na zona urbana de Dourados/MS. *Revista RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise* 46, 75 – 87.
- Schumm, S. A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin* [online] 67, 597- 646. Disponível: 10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2. Acesso: 18 jun.2018.
- Schumm, S. A., 1963. A tentative classification of alluvial river channels. United States Geological Survey, Washington (Estados Unidos da América), circular n. 477.
- Setzer, J., 1966. Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí.
- SIEG. SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO DE GOIÁS. Downloads/SIG – Shapefiles. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 3 fev. 2017.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2018. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos.
- Soares, L. S., Lopes, W. G. R., Castro, A. C. L., de Araujo, G. M. C., 2016. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. *Revista do Departamento de Geografia* [online] 31, 82-100. Disponível: <https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.107715>. Acesso: 17 mar. 2018.
- Sofia, G., 2020. Combining geomorphometry, feature extraction techniques and Earth-surface processes research: The way forward,

- Geomorphology [online] 355, 107055. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107055>. Acesso: 23 maio 2019.
- Soni, S., 2017. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique Applied Water Science 7, 2089-2102.
- Sousa, D. M. G.; Lobato, E. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Latossolos. Maio de 2000. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 23 maio 2019.
- Sousa, F. A.; Rodrigues, S. C., 2012. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. Mercator [online] 11, 141-151. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4215/rm.v11i25.699>. Acesso: 15 mar.2018.
- Spanghero, P. E. S. F.; Meliani, P. F.; Mendes, J. S., 2015. Mapeamento hidrográfico de detalhe e análise morfométrica comparativa das bacias dos rios Tijuípe e Tijuipinho, Litoral Sul da Bahia. Caminhos de Geografia [online] 16, 101-117. Disponível: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/27861>. Acesso: 14 mar.2018.
- Stipp, N. A. F.; Campos, R. A.; Caviglione, J. H., 2010. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. Portal da Cartografia [online] 3, 105-124. Disponível: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/8929>. Acesso: 06 jun.2018.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. Geological Society of America Bulletin [online] 63, 1117-1142. Disponível: [https://doi.org/10.1130/00167606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2). Acesso: 17 jun. 2018.
- Swarnkar, S.; Sinha, R.; Tripathi, S., 2020. Morphometric diversity of supply-limited and transport-limited river systems in the Himalayan foreland, Geomorphology [online] 348, 106882. ISSN 0169-555X. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106882>. Acesso: 12 maio 2019.
- Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F., 2017. Regionalization of local geomorphometric derivations for geological mapping in the sedimentary domain of central Amazônia. Computers & Geosciences [online] 100, 46-56. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.12.002>. Acesso: 20 abril 2019.
- USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY –EarthExplorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 fev. 2017.
- UFV. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. 2005. Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.
- Villela, S. M; Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo.
- Vojtek, M.; Vojteková, J., 2019. Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process. Water [online] 11, 01-17. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w11020364>. Acesso: 10 jul. 2019.
- Zaroni, M. J.; Santos, H. G. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Argissolos. Disponível: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html. Acesso: 23 maio 2019.