

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SANTA MARTA, IBITIRAMA-ES

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE RIBEIRÃO SANTA MARTA MICROBAIN, IBITIRAMA-ES

¹Laiene de Jesus Carvalho*

²Flávio Costa de Cerqueira

³Luana Lavagnoli Moreira

⁴Benvindo Sirtoli Gardiman Junior

¹IFES - Campus Ibatiba. E-mail: laiene1999@gmail.com*

²IFES - Campus Ibatiba. E-mail: flavioc@ifes.edu.br

³IFES - Campus Ibatiba. E-mail: luana.moreira@ifes.edu.br

⁴ IFES - Campus Ibatiba. E-mail: benvindo.gardiman@ifes.edu.br

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 22/07/2022, aceito em 15/06/2023 e publicado em 21/06/2023.

Resumo: A caracterização morfométrica permite conhecer e entender as dinâmicas hidrológicas e ambientais de um local de estudo, porque determina e permite avaliar algumas características que indicam o comportamento hidrológico e litológico, o armazenamento, e a suscetibilidade a enchentes, inundações e processos erosivos. O presente trabalho tem como objetivo caracterizar morfometricamente a microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta (BHRSM), situada no município de Ibitirama, no sul do estado do Espírito Santo, obtendo os parâmetros morfométricos com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os parâmetros avaliados contemplam as características geométricas, de rede de drenagem e de relevo. A BHRSM apresenta uma forma mais alongada, estreita e irregular, fato confirmado pelo alto valor do coeficiente de compacidade (K_c) e os baixos valores do fator de forma (K_f) e do índice de circularidade (I_c). De acordo com as características da rede de drenagem a microbacia é de 4ª ordem e apresenta um sistema de drenagem bom, que reduz os riscos de inundações e enchentes. As características do relevo indicam que a bacia possui um escoamento superficial mais rápido, um tempo de concentração menor e uma certa suscetibilidade a enchentes e processos erosivos. Mais, o formato e o estado de conservação desta microbacia, tem lhe conferido uma baixa vulnerabilidade a enchentes e processos erosivos em condições normais de precipitação.

Palavras-chave: morfometria; bacia hidrográfica; SIG.

Abstract: The morphometric characterization allows to know and understand the hydrological and environmental dynamics of a study site, because it determines and allows to evaluate some characteristics that indicate the hydrological and lithological behavior, the storage, and the susceptibility to floods, inundations and erosive processes. The present work aims to morphometrically characterize the Santa Marta stream watershed (BHRSM), located in the municipality of Ibitirama, in the south of the state of Espírito Santo, obtaining the morphometric parameters with the aid of the Geographic Information System (GIS). The evaluated parameters

include geometric, drainage network and relief characteristics. The BHRSM has a more elongated, narrow and irregular shape, a fact confirmed by the high value of the compactness coefficient (K_c) and the low values of the shape factor (K_f) and the circularity index (I_c). According to the characteristics of the drainage network, the microbasin is of 4th order and has a good drainage system, which reduces the risks of flooding and inundation. The relief characteristics indicate that the basin has a faster surface runoff, a shorter concentration time and a certain susceptibility to floods and erosive processes. Furthermore, the shape and conservation status of this watershed has given it a low vulnerability to flooding and erosion under normal precipitation conditions.

Keywords: morphometry; hydrographic basin; GIS.

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica, também conhecida como unidade hidrográfica, corresponde ao local de captação natural da precipitação, que é delimitada de acordo com a topografia da região e é responsável pelo direcionamento do fluxo escoado para um único ponto, o exutório (PORTO; PORTO, 2008). De acordo com a Lei nº 9433 de 1997, a bacia hidrográfica é caracterizada como “a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

Com relação ao termo bacia hidrográfica, há outras definições de acordo com sua categorização hierárquica, podendo ser chamada de sub-bacia ou microbacia, de acordo com os aspectos hidrológicos e espaciais do local de análise (GOMES; BIANCHI; OLIVEIRA, 2021). No entanto, não há um consenso conceitual dessas terminologias na literatura (TEODORO *et al.*, 2007).

Por tal motivo, foi necessária a escolha de uma definição para classificar a bacia em análise. Neste caso, optou-se pela definição de sub-bacia como um “fragmento multidimensional do sistema fluvial composto essencialmente por outras sub-bacias e/ou microbacias hidrográficas, que apresentam padrões de drenagem endorreica e são tributárias de uma bacia hidrográfica mais complexa” (GOMES; BIANCHI; OLIVEIRA, 2021, p. 9).

Para a microbacia, o conceito de referência foi o de Gomes, Bianchi e Oliveira (2021), o qual considera esta área como a menor classe hierárquica de uma bacia hidrográfica, que possui, normalmente, drenagens de primeira e segunda ordem, confluindo para uma bacia hidrográfica mais complexa do sistema fluvial.

A bacia hidrográfica se torna a unidade territorial mais adequada para o desenvolvimento de estudos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos e do fluxo de sedimentos de uma determinada região (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002). Sendo assim, dos estudos que podem ser desenvolvidos em uma bacia hidrográfica, pode-se destacar a caracterização morfométrica, que permite conhecer e entender as dinâmicas hidrológicas e ambientais do local de estudo (SILVA *et al.*, 2017).

A caracterização morfométrica pode ser dividida em características de rede de drenagem, geométricas e de relevo, sendo que em cada uma são avaliados parâmetros específicos, como a ordem dos cursos hídricos, o formato e a declividade, respectivamente, dentre outros (TEODORO *et al.*, 2007).

A realização deste tipo de estudo é fundamental para a análise do comportamento hidrológico da unidade hidrográfica, permitindo assim avaliar as interferências antrópicas, como o uso e ocupação do solo da área, e planejar estratégias mais adequadas de manejo do solo e gestão dos recursos hídricos

(CARVALHO; CASTRO; PENA, 2014). Além disso, tal estudo indica o grau de vulnerabilidade da bacia a eventos extremos, como enchentes e inundações, e a processos erosivos (RIBEIRO, 2018).

As ferramentas de geoprocessamento associadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) são as peças fundamentais para a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica, permitindo determinar e analisar informações espaciais da área de interesse de forma confiável, rápida e precisa (LOPES *et al.*, 2018).

A área de estudo é a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta, situada no município de Ibitirama, no sul do estado do Espírito Santo. Esta região apresenta grande importância ambiental por encontrar-se inserida no bioma Mata Atlântica, com o início de sua área de captação inserida na Unidade de Conservação do Parque Nacional do Caparaó (HERCOLANO, 2019).

Mediante as definições hierárquicas consideradas, a área de estudo do presente trabalho se classifica com uma microbacia, tendo em vista que é uma das menores categorias hierárquicas da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

A escolha dessa microbacia se justifica por sua relevante contribuição para a sub-bacia do rio Braço Norte Direito, um dos principais tributários da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, que abastece boa parte do sul do estado (HERCOLANO, 2019). Além disso, na região hidrográfica se localiza o distrito de Santa Marta, comunidade que apresenta contínua expansão urbana.

Mediante o exposto, é pertinente o desenvolvimento de um estudo morfométrico dessa microbacia para a compreensão das dinâmicas hidrológicas, ambientais e da vulnerabilidade da unidade hidrográfica, a eventos extremos e a processos erosivos, com o intuito de fornecer subsídios para um crescimento

urbano aliado a um planejamento e gerenciamento adequados dos recursos naturais. Portanto o presente trabalho tem por objetivo caracterizar morfométricamente a microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta (BHRSM).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Na literatura, o termo bacia hidrográfica recebe diversas definições, que podem versar sobre o seu aspecto hidrológico, social e político, a depender do objeto de pesquisa em questão. Neste contexto, Porto e Porto (2008) a definem como uma área delimitada pela topografia, responsável pela captação natural da precipitação e o seu direcionamento para o exutório. Este conceito se atém ao âmbito hidrológico, deixando de lado os processos interativos da bacia.

Por outro lado, na legislação, a bacia hidrográfica é conceituada como “a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997). Esta definição, por considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos, inclui em seu conceito aspectos políticos e sociais.

A bacia hidrográfica pode ser classificada hierarquicamente em sub-bacia e microbacia, conforme seus aspectos hidrológicos e espaciais (GOMES; BIANCHI; OLIVEIRA, 2021).

Nota-se, portanto, que a bacia hidrográfica se torna a porção mais adequada para o desenvolvimento de estudos quantitativos e qualitativos a fim de compreender as interações hidrológicas e ambientais de uma determinada região (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

2.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

As dinâmicas hidrológicas e ambientais de uma bacia hidrográfica podem ser entendidas com a caracterização morfométrica, que permite definir os parâmetros hidrológicos e físicos da unidade de estudo. De acordo com Teodoro *et al.* (2007), essa caracterização se subdivide em características geométricas, de rede de drenagem e de relevo.

2.2.1 Características geométricas

As características geométricas incluem a definição da área total (A), do perímetro total (P), do coeficiente de compactidade (Kc), do fator de forma (Kf) e do índice de circularidade (Ic) (LOPES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017; TEODORO *et al.*, 2007; TONELLO, 2005). Estas características físicas indicam o comportamento hidrológico da bacia, dando uma noção do escoamento e do armazenamento da água na unidade hidrográfica (GOMES, 2016).

Neste aspecto, a área total (A) e o perímetro total (P) são os elementos básicos para o cálculo de outros parâmetros morfométricos. A primeira corresponde à área projetada em plano horizontal de toda área drenada pelo sistema, contida entre os divisores topográficos da bacia (TONELLO, 2005). O segundo refere-se à dimensão de comprimento da linha traçada no decurso do divisor de águas que delimita a bacia (CALÇAVARA, 2012).

O Kc relaciona o perímetro da bacia à circunferência de área. Sendo assim, quanto mais próximo de um for o coeficiente, mais circular será a bacia, logo mais suscetível a enchentes, tendo em vista que o escoamento superficial conflui para um único ponto, promovendo assim o acúmulo do volume escoado (GUARIZ, 2008; GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Por outro lado, valores de Kc maiores que um indicam uma bacia mais

alongada com baixa tendência a enchentes, pois esta apresenta um escoamento superficial mais distribuído ao longo do seu espaço geográfico (GUARIZ, 2008; GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

De acordo com BARGOS (2019), uma bacia hidrográfica apresenta alta propensão a grandes enchentes, quando possui um Kc maior ou igual a 1,00 e inferior a 1,25; possui uma tendência mediana a grandes enchentes, quando o valor do Kc for maior ou igual a 1,25 e inferior a 1,50; e não é sujeita a grandes enchentes, quando o Kc for superior ou igual a 1,50.

O fator de forma (Kf), de acordo com Villela e Mattos (1975), relaciona a área ao comprimento axial da bacia hidrográfica. Este fator indica a tendência para enchentes em uma bacia. Desta forma, quanto menor for o Kf, menor será a suscetibilidade da bacia a enchentes, indicando que a unidade hidrográfica é mais estreita e alongada, com um escoamento superficial mais distribuído ao longo do seu curso hídrico principal (GOMES, 2016).

Portanto, valores de Kf inferiores a 0,50 indicam uma baixa tendência a enchentes; resultados entre 0,50 e 0,75 indicam uma tendência média a enchentes; e, por fim, números entre 0,75 a 1,00 indicam alta tendência a enchentes (BARGOS, 2019).

O índice de circularidade (Ic) faz a relação da forma da bacia à área de um círculo (TONELLO, 2005). Este índice é semelhante ao Kf, sendo assim, tende ao valor 1,00, conforme a bacia se assemelha a um círculo, o que propicia os processos de inundação na bacia (BORSATO, 2005).

De acordo com Guariz (2008), o valor de Ic equivalente a 0,51 não contribui para a concentração de águas que possibilitem cheias rápidas, pois é considerado um nível moderado de escoamento. Em contrapartida, os valores superiores a 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os

processos de inundação, o que é inverso para valores inferiores a 0,51. Ou seja, quanto mais próximo a 1,00, mais circular será a bacia.

2.2.2 Características da rede de drenagem

As características da rede de drenagem refletem o comportamento hidrológico e litológico da bacia, sendo, frequentemente, compostas pelo comprimento do curso hídrico principal (L); o comprimento total dos cursos d'água (Lt); a densidade de drenagem (Dd); e a ordem dos cursos hídricos (SILVA *et al.*, 2017; TEODORO *et al.*, 2007).

Neste sentido, a Dd relaciona o comprimento total dos cursos hídricos da bacia à sua área de drenagem, sendo um indicativo do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem e de sua eficiência (GARCEZ; ALVAREZ, 1988; TONELLO, 2005).

Guariz (2008) destaca ainda que densidades altas são esperadas em bacias com solos facilmente erodíveis ou relativamente impermeáveis, declividades altas ou com coberturas vegetais ralas. Em contrapartida, as drenagens baixas são verificadas, geralmente, em solos mais resistentes à erosão ou muito permeáveis, e onde o relevo é suave.

A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação dos cursos hídricos, em que os rios são ordenados de acordo com seus afluentes (SANTOS, 2001). Nessa perspectiva, a ordem dos cursos hídricos de uma bacia é definida pelo método de Strahler da seguinte forma: os cursos sem tributários são definidos como de primeira ordem; a união de dois cursos de mesma ordem dá origem a um curso de ordem maior; e na união de cursos de ordens diferentes prevalece a ordem maior (TUCCI *et al.*, 2012).

2.2.3 Características de relevo

Em relação às características de relevo, estas compreendem a declividade, a altitude e amplitude altimétrica, que indicam o comportamento do fluxo escoado e a suscetibilidade da bacia a processos erosivos (LOPES *et al.*, 2018; TONELLO, 2005).

A declividade influencia diretamente no tempo que a água da chuva leva para atingir o curso hídrico, sendo um dos fatores principais que regulam a velocidade do escoamento superficial. Desse modo, quanto mais declivoso o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, menor será o tempo de concentração e maiores os picos de enchentes (BORSATO, 2005).

De acordo com a Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (EMBRAPA), a declividade é classificada em seis classes de relevo, que são: plano, com declividade entre 0 a 3%; suavemente ondulado, com valores de declividade entre 3 a 8%; ondulado, que apresenta declividade entre 8 a 20%; fortemente ondulado, com declividades entre 20 a 45%; montanhoso, com valores de declividade que variam de 45 a 75%; e escarpado, que apresenta declividade superior a 75% (EMBRAPA, 2006).

Para Teodoro (2007), a variação de altitude influencia a precipitação, a evaporação e a transpiração, e conseqüentemente o deflúvio médio da bacia hidrográfica. Porém mais significativas são variações de precipitação anual com a elevação.

A amplitude altimétrica corresponde a variação entre a cota mais alta e a cota mais baixa da bacia. Esta variável interfere na energia potencial máxima que a água pode ter na bacia, por esse motivo, está relacionada com taxas de erosão e a velocidade de escoamento da bacia (COOLLICHONN; DORNELLES, 2015).

2.2.4 Aplicações da caracterização morfométrica

Dentre os diversos estudos morfométricos presentes na literatura, pode-se destacar Domingues *et al.* (2020), que realizou a análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pardo, calculando os parâmetros geométricos, de rede de drenagem e de relevo. A conclusão foi de que a bacia apresenta um formato ovalado, menor tempo de concentração, baixa susceptibilidade à erosão, uma drenagem boa e bem ramificada.

Outrossim, Carvalho, Castro e Pena (2014) caracterizaram a bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria, em Ibatiba-ES, concluindo que a bacia apresenta um formato irregular, pouca susceptibilidade a enchentes nas condições normais de precipitação e uma baixa capacidade de drenagem, o que pode ocasionar enchentes em episódios hidrológicos adversos.

Além disso, verificou-se que a bacia do Córrego Santa Maria é de quarta ordem, sendo assim muito ramificada. Ademais, por ter um relevo forte ondulado e com declividade média de 29,90%, há a necessidade de conservar a cobertura vegetal das vertentes para evitar a degradação dos recursos naturais (CARVALHO; CASTRO; PENA, 2014).

Além desses autores, Coutinho *et al.* (2011) realizaram a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, em Castelo-ES, calculando as características geométricas, de hidrografia e de relevo. Com isso, concluíram que a bacia apresenta um relevo ondulado forte e um formato alongado, o que indica baixa tendência a grandes enchentes. Observou-se também que a drenagem apresentou sinuosidade mediana dos canais, indicando que o escoamento ocorre de forma mais lenta.

Por todo o exposto, verifica-se que a caracterização morfométrica é essencial para a análise do comportamento hidrológico da unidade hidrográfica, permitindo assim analisar a interferência das interações antrópicas e planejar estratégias mais adequadas de manejo e

gestão dos recursos naturais disponíveis. Além disso, tal caracterização possibilita avaliar o grau de vulnerabilidade da bacia a eventos extremos, como as enchentes, e suscetibilidade a processos erosivos (RIBEIRO, 2018).

2.3 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Para Gomes (2016) a definição do Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser entendida pela análise das palavras que compõem o termo, em que “sistema” corresponde ao conjunto de elementos que se relacionam entre si para um objetivo comum. Diante disso, um “sistema de informação” será um conjunto de dados brutos ou processados, que podem ser utilizados para análise e tomada de decisão.

Logo, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) corresponde a um ambiente composto por várias informações espaciais georreferenciadas, brutas ou processadas, que descrevem a superfície terrestre e permitem avaliar o meio ambiente e seus processos interativos (GOMES, 2016).

O SIG e o geoprocessamento são instrumentos fundamentais para a obtenção dos parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica, porque o primeiro equivale ao sistema de dados espaciais georreferenciados, enquanto o segundo representa todos os conceitos e técnicas empregados na representação do espaço de forma computacional (GOMES, 2016). A junção de ambos possibilita a análise das informações espaciais da área de interesse, de forma confiável, rápida e precisa (LOPES *et al.*, 2018).

Diante dos estudos presentes na literatura, podemos destacar o de Caçavara (2012), realizado na bacia hidrográfica do Córrego São Vicente, em Cachoeiro de Itapemirim, que utilizou o SIG para a obtenção das variáveis morfométricas da área de estudo. Para tal,

o autor usou a carta topográfica digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e as fotografias aéreas do ortofotomosaico digital do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE), delimitar a bacia hidrográfica e definir os parâmetros morfométricos. Com isso, pôde concluir que a ferramenta SIG contribuiu significativamente para a caracterização morfométrica da bacia em estudo, permitindo assim extrair informações por meio da integração de dados de várias fontes em uma única base.

Lopes *et al.* (2018) utilizaram o SIG para a caracterização morfométrica e pedológica da bacia hidrográfica do rio Una, localizada no município de Ibiúna, em São Paulo. Este autor, utilizou as ferramentas do ArcGis, juntamente com os dados de curvas de nível e a base cartográfica da área, para obter o Modelo Digital do Terreno (MDT), pelo método *Triangular Irregular Networks* (TIN). Com isso, foi possível realizar a caracterização morfométrica e pedológica da área de análise, através de rotinas específicas no ArcGis.

Além desses estudos, Silva *et al.* (2017) realizaram a caracterização morfométrica, de uso e ocupação da microbacia do Rio Cobra, situada no Rio Grande do Norte. Para tal, o autor utilizou um MDE para delimitar a microbacia, obtido com dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA e procedimentos no QGIS. Em seguida, com o MDE foram obtidas as variáveis morfométricas e os mapas de ordenamento da rede de drenagem, de altimetria, de relevo e de uso e ocupação da microbacia, os quais permitiram concluir que a microbacia em análise apresenta formato alongado e baixa suscetibilidade a eventos de inundações em condições normais de precipitação (SILVA *et al.*, 2017). Além disso, verificou-se que

a área se encontra preservada, porém com alguns sinais de degradação ambiental nas áreas de preservação permanente. Com relação a utilização do SIG, os autores destacaram que o *software* QGIS forneceu os subsídios essenciais para caracterização e análise da microbacia do Rio Cobra, sendo apresentado como uma alternativa viável (SILVA *et al.*, 2017).

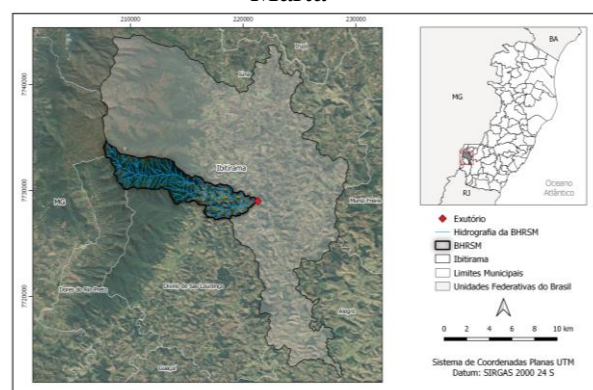
Mediante o exposto, é notório que a utilização dos *softwares* de SIG tem se tornado um forte aliado para a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas em toda extensão do território brasileiro, permitindo, assim, determinar, analisar e interpretar as informações ambientais das bacias hidrográficas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta (BHRSM), localizada no município de Ibitirama, região sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta



Fonte: Autora.

O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Cwb, temperado quente, com estação seca no inverno (ALVARES *et al.*, 2014). A precipitação média anual no município entorno de 1.646 mm, encontrando-se dividida em dois períodos chuvosos: um de

outubro a abril, representando 86,5% (1.424 mm) do total acumulado anual; e outro, menos chuvoso, que corresponde aos meses de maio a setembro, com 13,5% (222 mm) do total precipitado. (ESPÍRITO SANTO, 2020).

3.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BHRSM

A caracterização morfológica da BHRSM foi desenvolvida com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o *software* QGIS 3.10 e seu complemento SAGA GIS 2.3. Para tal, foi necessário obter o Modelo Digital de Elevação (MDE) com o auxílio do *plugin* *SRTM-Downloader* do QGIS, a qual permite baixar o MDE, disponível pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), da área de interesse, com uma resolução espacial de 30 metros (MOREIRA, 2021).

Na sequência, foi realizado o pré-processamento do MDE, com a reprojeção, do Sistema de Coordenadas Geográficas DATUM WGS 84 para o Sistema UTM DATUM SIRGAS 2000. Nesse processo foi realizado o recorte da imagem, com as funções disponíveis na ferramenta *raster*, englobando, somente, a área de interesse do estudo.

Finalizando a etapa de pré-processamento realizou-se o preenchimento de falhas e depressões, para a correção do MDE. Com o MDE corrigido seguiu-se para a definição da ordem dos cursos hídricos e dos canais de drenagem.

A definição da ordem dos cursos hídricos foi obtida com a ferramenta *Strahler order*, do complemento SAGA GIS 2.3. Em seguida, foram gerados os canais de drenagem com a função *channel network and drainage basins* (MOREIRA, 2021).

Posteriormente, delimitou-se a microbacia utilizando a ferramenta *upslope*

area do SAGA GIS. através da definição do ponto do exutório, selecionado com o auxílio do *shape* das otobacias nível 6, disponíveis no Geobases, e de imagens de satélites, para captar o ponto sobre o curso hídrico (GEOBASES, 2019). A partir disso, a ferramenta delimitou toda a área de contribuição da microbacia acima do ponto definido.

Com todos os dados gerados foi possível definir as características:

- geométricas - área total (A), perímetro total (P), coeficiente de compactidade (Kc), fator de forma (Kf) e índice de circularidade (Ic);
- rede de drenagem - comprimento do curso hídrico principal (L), comprimento total dos cursos d'água (Lt), densidade de drenagem (Dd) e ordem dos cursos hídricos;
- relevo - declividade, altitude e amplitude altimétrica (Amp).

O coeficiente de compactidade (Kc), que relaciona o perímetro da bacia à circunferência de área, foi obtido pela Equação 1 (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Em que P é o perímetro total (km) e A é a área total da bacia (km²).

De acordo com Villela e Mattos (1975), o fator de forma (Kf) relaciona a área ao comprimento axial da bacia hidrográfica, sendo encontrado pela Equação 2.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Em que A é a área total da bacia (km²) e L é o comprimento do eixo da bacia (km).

Desta forma, o índice de circularidade (Ic) relaciona a forma da bacia à área de um círculo e foi calculado pela Equação 3 (TONELLO, 2005).

$$I_c = \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \quad (3)$$

Em que A é a área de drenagem (km^2) e P é o perímetro da bacia (km).

Quanto à densidade de drenagem (Dd), esta é definida pela Equação 4, relacionando o comprimento total dos cursos hídricos da bacia à sua área de drenagem (GARCEZ; ALVAREZ, 1988; TONELLO, 2005).

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (4)$$

Em que Lt é o comprimento total dos cursos d'água (km) e A é a área de drenagem da bacia (km^2).

A declividade foi analisada pelo mapa de declividade, que foi gerado no QGIS, pela função “declividade” disponível na ferramenta *raster*. Em seguida, o mapa gerado foi reclassificado de acordo com a classificação da Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (EMBRAPA) em relevo plano, suavemente ondulado, ondulado, fortemente ondulado, montanhoso e/ou escarpado (EMBRAPA, 2006).

Em relação a altitude, esta foi analisada com um mapa hipsométrico, que foi gerado pela reclassificação do MDE em intervalos de 100 metros de altitude. Este mapa foi gerado com a ferramenta de “reclassificar por tabela” disponível no QGIS.

A amplitude altimétrica corresponde a variação entre a cota mais alta e a cota mais baixa da bacia, sendo encontrada pela equação 5 (COOLLICHONN; DORNELLES, 2015).

$$Amp = Aa - Ab \quad (5)$$

Em que Aa é a altitude do ponto mais alto (m) e Ab é a altitude do ponto mais baixo (m).

Com base na análise dos parâmetros obtidos nas etapas anteriores, foi avaliada de forma preliminar a vulnerabilidade da microbacia a eventos extremos, como enchentes e inundações, e a processos erosivos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município da área de estudo possui a agropecuária como a principal atividade econômica (ESPÍRITO SANTO, 2020).

Hercolano (2019) realizou um estudo nesta área sobre as fontes de elementos traços, no ribeirão de Santa Marta, e destacou que a região está contida entre as folhas do IBGE de Espera Feliz e Manhumirim. Também integra o Suíte Caparaó que apresenta, predominante, as litologias de Gnaisses Granulíticos na base e Migmatitos no topo.

A hidrografia apresenta um padrão radial, configurado pela estrutura geológica do maciço Caparaó. Além disso, o ribeirão Santa Marta é um dos principais cursos d'água da região, sendo um afluente do rio Braço Norte direito, que alimenta rios maiores como rio Doce, Rio Itabapoana e Rio Itapemirim, os quais abastecem boa parte do Estado do Espírito Santo (HERCOLANO, 2019).

A área de estudo apresenta um padrão de relevo em serras, inserida na Serra do Caparaó, que apresenta em seu ponto mais alto, o Pico da Bandeira com altitude máxima de 2892 metros, e cotas mais baixas em torno de 760 metros (HERCOLANO, 2019).

A caracterização morfométrica da BHRSM foi dividida em características geométricas, de rede de drenagem e de relevo. Os resultados obtidos dos parâmetros avaliados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Características morfométricas da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta

Caracterização morfométricas	Resultados
Características geometrias	
Área total (A)	34,92 km^2
Perímetro total (P)	49,41 km

Coefficiente de compacidade (Kc)	2,34
Fator de forma (Kf)	0,11
Índice de circularidade (Ic)	0,18

Características de rede de drenagem

Comprimento do curso hídrico principal (L)	18,22 km
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	82,96 km
Densidade de drenagem (Dd)	2,38 km/km ²
Ordem da bacia	4 ^a ordem

Características de relevo

Amplitude altimétrica (Amp)	1655 m
-----------------------------	--------

Fonte: Autora.

Sendo assim, de acordo com o estudo desenvolvido a microbacia hidrográfica do Ribeirão Santa Marta apresentou uma área de drenagem de 34,92 km² e um perímetro de 49,41 km (Tabela 1).

Ademais, esta microbacia apresenta uma forma mais alongada, estreita e irregular, fato confirmado pelo alto valor do Kc (2,34) e os baixos valores de Kf (0,11) e Ic (0,18) da Tabela 1. Isto indica, de acordo com Bargas (2019), Gomes (2016) e Guariz (2008), que a bacia possui um escoamento superficial mais distribuído ao longo de sua área, tendo assim uma baixa suscetibilidade a enchentes em condições normais de precipitação. Resultado semelhante ao verificado no estudo de Lopes *et al.* (2018) na bacia hidrográfica do rio Una, localizada no município de Ibiúna, no estado de São Paulo.

Em relação às características de rede de drenagem da BHRSM, o curso hídrico principal apresentou uma extensão de 18,22 km. Neste contexto, a drenagem total corresponde a 82,96 km (Tabela 1).

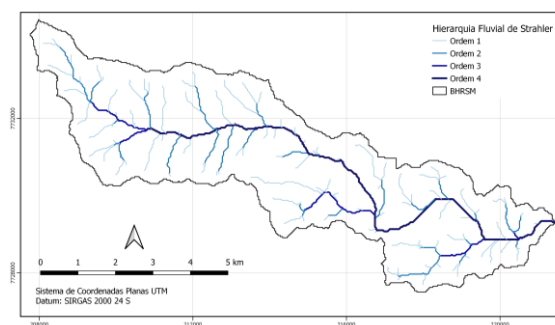
A Figura 2 traz a hierarquia dos cursos hídricos da bacia em análise, de acordo com método de Strahler. Com isso é possível verificar que a bacia em questão é de quarta ordem. Condição esta

semelhante à encontrada por Carvalho, Castro e Pena (2014), em seu estudo morfométrico da bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria, em Ibatiba-ES.

Com esta figura observa-se também que a microbacia em questão possui um sistema de drenagem bem ramificado, tendo em vista que apresenta uma pequena área. Além disso, de acordo com Lima (2008) o formato da ramificação dos canais é típico do padrão de drenagem classificado como dendrítico, aquele que se assemelha a configuração dos ganhos de uma árvore. Resultados estes que somados com o formato da bacia alongado reduzem os riscos de inundações e enchentes.

No mesmo aspecto, a Tabela 2 exibe as informações do comprimento total e da porcentagem das ordens dos corpos hídricos. Observa-se que um pouco mais de 50% da drenagem total corresponde a cursos de primeira ordem, que representam uma parcela de 42,62 km de extensão da drenagem total da bacia. Na sequência, em ordem decrescente do percentual de ordens, temos os cursos de 2^a, 4^a e 3^a ordem, com 23,58 %, 17,07 % e 7,95 %, respectivamente (Tabela 2).

Figura 2: Mapa da hierarquia fluvial de Strahler da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta



Fonte: Autora.

Tabela 2: Extensão e percentual das ordens dos cursos hídricos da BHRSM

Ordem	Extensão	Porcentagem
1 ^a ordem	42,64 Km	51,40 %
2 ^a ordem	19,56 Km	23,58 %

3ª ordem	6,59 Km	7,95 %
4ª ordem	14,16 Km	17,07 %

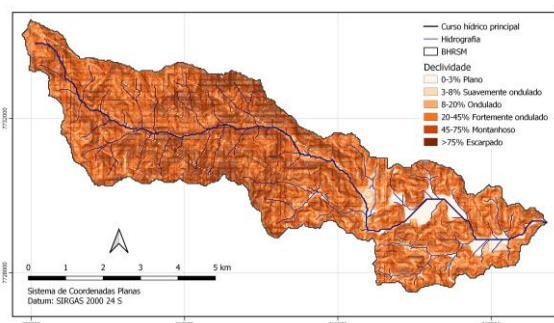
Fonte: Autora.

Ainda nas características de rede de drenagem, o parâmetro de Dd observado foi de 2,38 km/km² (Tabela 1). Esta densidade de drenagem indica que a bacia de análise apresenta um sistema de drenagem bom. Pois, segundo Villela e Matos (1975) os sistemas de drenagem considerados ruins apresentam uma Dd correspondente a 0,5 km/km², enquanto um sistema de drenagem bem desenvolvido apresenta uma Dd de 3,5 km/km².

Além disso, para Guariz (2008) altos valores de densidade de drenagem indicam bacias com solos mais suscetíveis a processos erosivos, a serem impermeáveis e a apresentar altas declividades.

As características de relevo avaliadas foram a declividade, a altitude e a amplitude altimétrica. Neste contexto, a Figura 3 apresenta um mapa com as áreas de declividade da BHRSM, classificada de acordo com a Embrapa (2006). Através desta figura, observa-se que o relevo da bacia é, predominantemente, composto por áreas com declividade superior a 20%.

Figura 3: Mapa de declividade da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta



Fonte: Autora.

Na Tabela 3 é apresentado os valores de área de cada intervalo de declividade. Com ela verifica-se que a maior parcela da área da bacia é classificada com o relevo montanhoso (29,21%), seguido do fortemente ondulado

(21,07%) e do escarpado (18,83%), que juntos representam cerca de 70% da área da BHRSM, localizadas mais a Oeste, próximo ao Parque Nacional do Caparaó.

Tabela 3: Quantificação das áreas de declividade da BHRSM

Declividade (%)	Classe de relevo	Área (Km ²)	Área (%)
0 - 3	Plano	5,93	16,97
>3 - 8	Suavemente ondulado	1,30	3,72
>8 - 20	Ondulado	3,56	10,19
>20 - 45	Fortemente ondulado	7,36	21,07
>45 - 75	Montanhoso	10,20	29,21
>75	Escarpado	6,57	18,83

Fonte: Autor.

A quantificação das áreas de declividade, demonstra que a microbacia está inserida em uma área com relevo mais acentuado, composto por serras, assim como afirma Hercolano (2019). Sendo assim, segundo Borsato (2005), bacias com relevo acentuado apresentam um escoamento superficial mais rápido, um tempo de concentração menor e uma tendência considerável a picos de enchentes.

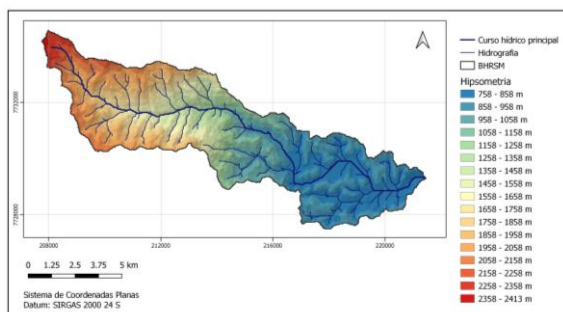
Neste contexto, um escoamento superficial mais rápido favorece processos erosivos, principalmente, em áreas que não apresentam uma cobertura vegetal e um solo mais suscetível à erosão.

A análise do parâmetro de declividade de uma bacia hidrográfica é fundamental no auxílio do manejo e gestão dos recursos hídricos e no cumprimento da legislação (LOPES *et al.*, 2018; TONELLO, 2005).

A Figura 4 traz um mapa hipsométrico da BHRSM, com ele é possível analisar o parâmetro de altitude. Neste aspecto, verificou-se que a menor

altitude da microbacia corresponde a 758 metros, enquanto a maior a 2413 metros.

Figura 4: Mapa hipsométrico da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta



Fonte: Autora.

Com isso, observa-se uma elevada amplitude altimétrica de 1655 metros, indicativo de um relevo mais acentuado, que cresce no sentido de Leste a Oeste.

Neste aspecto, de acordo com Guariz (2008) quanto maior a altitude mais íngreme é o terreno, sendo assim mais rápido o escoamento superficial e mais suscetível a processos erosivos.

5 CONCLUSÕES

O estudo buscou obter os parâmetros morfométricos da microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta (BHRSM) de Ibitirama-ES, com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), para avaliada de forma preliminar a vulnerabilidade da microbacia a eventos extremos, como enchentes e inundações, e a processos erosivos.

Diante do exposto, as principais conclusões alcançadas foram:

- as características geométricas indicam que a microbacia hidrográfica do ribeirão Santa Marta apresenta um formato mais alongado, estreito e irregular, comprovado pelos valores de K_c , K_f e I_c . Condição que confere a bacia uma baixa vulnerabilidade a enchentes e inundações, em condições normais de precipitação.

- as características de rede de drenagem mostraram que BHRSM é de 4ª ordem, com um padrão de drenagem dendrítico e apresenta um sistema de drenagem bom, tendo em vista que possui uma densidade de drenagem de 2,38 km/km².
- as características de relevo indicam que a microbacia está inserida em uma área com relevo mais acentuado, que lhe confere um escoamento superficial mais rápido, um tempo de concentração menor e uma suscetibilidade a enchentes e processos erosivos.
- a bacia estudada proporciona uma melhor distribuição do escoamento superficial ao longo de sua extensão, o que a torna menos suscetível a esses eventos. Outro ponto que favorece esta condição é o estado de conservação da cobertura vegetal da bacia.

Os resultados do estudo contribuem para mostrar à população residente a importância da preservação da cobertura vegetal da bacia. Porque este estado de conservação é um fator relevante que favorece a baixa suscetibilidade, que a bacia tem apresentado, a enchentes bruscas e a processos erosivos. Tendo em vista que não há registros recorrentes desses eventos, de acordo com a defesa civil local.

Portanto, para a obtenção de uma análise mais detalhada da vulnerabilidade da BHRSM, recomenda-se o desenvolvimento de estudos com modelagens computacionais.

REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: <<http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/A>

Ivares_etal_2014.pdf>. Acesso em: 15 dez. de 2021.

BARGOS, Danúbia Caporusso.
Caracterização de Bacias Hidrográficas. 2019. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4641496/mod_resource/content/1/aula%204_LOB1233.pdf>. Acesso em: 04 fev. de 2022.

BRASIL. **Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997.** Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 25 nov. de 2021.

BORSATO, Fabiano Hugo.
Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores. 2005. 257 f. Dissertação (Mestre em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005. Disponível em:
<http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/teses_geografia2008/dissertacaouemfabianohugoborsato.pdf>. Acesso em: 18 jan. de 2022.

CALÇAVARA, Reginaldo Alex. Uso de Sistemas de Informação Geográfica e Modelo Digital de Elevação para obtenção de variáveis morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego São Vicente, Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p.1788 – 1800, 2012. Disponível em:
<<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2233/2112>>. Acesso em: 20 dez. de 2021.

CARVALHO, Arnaldo Henrique de Oliveira; CASTRO, Fábio da Silveira; PENA, Flávio Eymard da Rocha. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria, Ibatiba-ES. **Nucleus**, v. 11, n. 2, 2014. Disponível em:
<<https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/ha>

ndle/123456789/16/ARTIGO_Caracterizac
ao_morfometrica_da_bacia_hidrografica.p
df?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso
em: 20 dez. de 2021.

COOLLICHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para a engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: ABRH, 2015.

COUTINHO, Luciano Melo *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo, ES. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 369-381, 2011. Disponível em:
<<https://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/308/192>>. Acesso em: 20 dez. de 2021.

DOMINGUES, Getúlio Fonseca *et al.* Caracterização morfométrica e comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Pardo. **Revista Ifes Ciência**. v. 6, n. 2, p. 03-16, 2020. Disponível em:
<<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/502/512f>>. Acesso em: 20 dez. de 2021.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. Disponível em:
<<https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>>. Acesso em: 04 fev. de 2022.

ESPÍRITO SANTO. Governo do Estado. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Proater 2020-2023 Ibitirama.** Vitória: Incaper, 2020. Disponível em:
<<https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Ibitirama.pdf>>. Acesso em: 15 dez. de 2021.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2ed, São Paulo: Blucher, 1988.

GEOBASES. OTTOBACIAS NÍVEL 6. Iema, ago. 2019. Disponível em: <https://ide.geobases.es.gov.br/layers/geonode:ottobacias_n_6>. Acesso em: 11 jan. de 2022.

GOMES, Fernando Antonio Lima. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Farinhas-PB através de dados SRTM**. 2016. 54 f. Monografia (Graduação em Engenheiro Agrônomo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/3935/1/FALG10042018.pdf>>. Acesso em: 07 dez. de 2021.

GOMES, Raul Carneiro; BIANCHI, Christina; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **GEOgraphia**, Niterói, v. 23, n. 51, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosu/article/view/2177-5230.2018v33n66p105/36063>>. Acesso em: 11 jan. de 2022.

GUARIZ, Hugo Roldi. **Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do córrego Jaqueira - Alegre, ES**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp072159.pdf>>. Acesso em: 18 jan. de 2022.

HERCOLANO, Lara de Paula Cunha. **Fontes de elementos traços no Ribeirão de Santa Marta: Parque Nacional do Caparaó**. 2019. 69 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Alegre, Alegre, 2019. Disponível em: <[\[content/uploads/2021/03/fontes_de_elementos_tracos_no_ribeirao_de_santa_marta.pdf\]\(https://content/uploads/2021/03/fontes_de_elementos_tracos_no_ribeirao_de_santa_marta.pdf\)>. Acesso em: 26 jan. de 2022.](https://geohmount.labgis.uerj.br/wp-</p>
</div>
<div data-bbox=)

LIMA, Walter de Paula. **Hidrografia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.

LOPES, Elfany Reis do Nascimento *et al.* Modelagem ambiental de bacias hidrográficas: caracterização morfométrica e pedológica da bacia do rio Una – Ibiúna, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 66, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosu/article/view/2177-5230.2018v33n66p105/36063>>. Acesso em: 01 dez. de 2021.

MOREIRA, Luana Lavagnoli. **Aula 4 Bacias Hidrográficas: Delimitação de uma bacia em SIG**. Apresentação do PowerPoint. Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Ibatiba. 2021.

PORTO, Monica Ferreira do Amaral; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/ccyh4cf7NMdbpJdhSzCRNtR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 25 nov. de 2021.

RIBEIRO, Maria de Fatima. **Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas da APA Lago de Palmas, Município de Porto Nacional-TO**. 2018. 35 f. Monografia (Especialista em elaboração e gerenciamento de projetos para a gestão municipal de recursos hídricos) – Instituto Federal do Ceará, Campus Fortaleza, 2018. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/1273/1/MARIA%20DE%20F%20C3%81TIMA%20RIBEIRO.pdf>>. Acesso em: 20 dez. de 2021.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Caracterização morfológica,**

hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG. 2001. 143 f. Tese (Doctor Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/TesesMonografias/Tese_Site/Tese_Doutorado_Prof_Alexandre_Rosa_Santos.pdf>. Acesso em: 28 jan. de 2022.

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus, 2002.

SILVA, Camilo Vinícius Trindade *et al.* Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.25, n.05, p. 436-444, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/740/pdf>>. Acesso em: 05 dez. de 2021.

TEODORO, Valter Luiz Iost *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, 2007. Disponível em: <https://www.uniara.com.br/legado/revista_uniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acesso em: 25 nov. de 2021.

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.** 2005. 85 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9559/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 05 dez. de 2021.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli *et al.* **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4.ed. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2012.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.