

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS COM USO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BENEVENTE/ES

Fabricio Holanda do Nascimento¹, Florença Nunes Bisi², Maria Butron Sevillano³, e Fernanda Barboza dos Santos⁴

¹Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), fabricio.climatologia2015@gmail.com; ²Universidade Federal do Paraná (UFPR), florencabisi@gmail.com; ³Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), mary9221bs@gmail.com; e ⁴Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), fernandabarboza1987@hotmail.com

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo caracterizar, a partir de ferramentas de sensoriamento remoto, os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Benevente, a qual localiza-se na porção sul do Estado do Espírito Santo. A partir do Modelo Digital de Elevação (Topodata) foram gerados mapas de hipsometria, declividade e hierarquia fluvial, os quais, juntos aos dados de pluviosidade, permitiram o cálculo da área, perímetro, comprimento dos canais, densidade de drenagem e índice de circularidade. As altitudes da bacia variaram entre 0 e 1.560 metros com predominância de relevo forte-ondulado (38,64%); foram definidos, para escala trabalhada, canais de drenagem de até 5ª ordem e foi encontrado um índice de circularidade de 0,22 para a bacia em questão, o que sugere uma bacia de geometria alongada, menos susceptível a inundações. Os resultados foram satisfatórios, porém, a obtenção de dados indiretos, por meio do sensoriamento remoto, não descarta a validação dos dados *in situ*.

Palavras-chave — Modelo digital de elevação; Geotecnologias; Planejamento socioambiental.

ABSTRACT

The present study aims to characterize, from remote sensing tools, the morphometric parameters of the Benevente river basin, which is located in the southern portion of the State of Espírito Santo. From the Digital Elevation Model (MDE) Topodata, maps of hypsometry, slope and stream order of rivers were generated and together with the precipitation data allowed the calculation of area, perimeter, channel length, drainage density and circularity ratio. The altitudes of the basin varied between 0 and 1,560 meters with predominance of heavily-mountainous relief (38,64%); drainage channels of up to the 5th order were defined and a circularity ratio of 0.22 was found for the basin in question, which suggests an elongated geometry basin less susceptible to flooding. The results were satisfactory, however, obtaining indirect data through remote sensing does not rule out the validation of the data in situ.

Keywords — Digital elevation model; Geotechnology; socio-environmental planning.

1. INTRODUÇÃO

A análise ambiental de uma bacia hidrográfica é de grande relevância e um desafio a ser empreendido por pesquisadores e tomadores de decisão, sobretudo quando se considera sua importância social e ambiental para as populações que ali residem e necessitam de seus recursos. Sendo a bacia hidrográfica uma das principais referências espaciais consideradas nos estudos do meio físico, as definições dessa unidade são diversas e, muitas delas, confusas, partindo de: “[...] *área drenada por uma rede de cursos d’água interligados*” [1], àquelas mais complexas, como definem [1]:

“[...] *sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais.*” (p.57).

De acordo com [2], dentre os métodos de análise de uma bacia hidrográfica, a análise dos parâmetros morfométricos refere-se ao estágio inicial, pois é nela que são estabelecidos os limites, as formas de relevo predominantes, a área ocupada, a hierarquia fluvial, os principais cursos d’água, dentre outros. Estes, por sua vez, servem de base para outras análises como estudos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, análises hidrodinâmicas, estudos socioeconômicos, territoriais, etc. [2].

Estes estudos eram desenvolvidos, em boa parte, por meio do uso de cartas topográficas, as quais fornecem os dados base para subsidiá-los. No entanto, atualmente observa-se a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e produtos derivados do Sensoriamento Remoto (SR), como os Modelos Digitais de Elevação (MDE): *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e o Topodata (uma versão melhorada do SRTM) [1].

Diante do exposto, este trabalho tem como principal objetivo a definição dos parâmetros morfométricos da bacia

hidrográfica do rio Benevente/ES, por meio do uso de produtos de Sensoriamento Remoto, os quais serão apresentados em forma de mapas e tabelas. Portanto, estes estudos podem colaborar para a produção de material de apoio/base aos futuros estudos e aos tomadores de decisão nos planejamentos ambientais e territoriais da região.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Benevente é uma das doze bacias hidrográficas do Espírito Santo [3], possui uma área aproximada de 1.207 km² e está localizada na porção sul do estado, sendo uma importante unidade de abastecimento dos municípios de Guarapari, Alfredo Chaves, Anchieta e uma pequena parte de Piúma, os quais juntos somam uma população de 188.130 pessoas [4] (Figura 1).

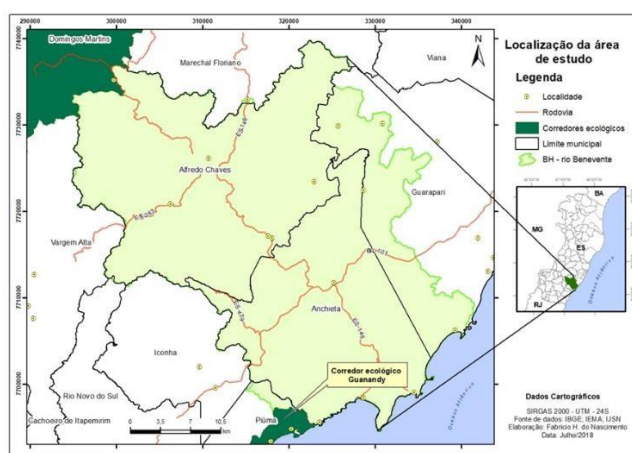


Figura 1. Localização da área de estudo. Org.: os autores/2018.

Do ponto de vista climatológico, a área de estudo é influenciada, basicamente, por todos os sistemas atmosféricos que influenciam o tempo e clima do estado. Por sua localização próxima ao litoral sul do estado, as condições da atmosfera local sofrem efeitos da maritimidade e recebem influência de massas de ar úmidas provindas do oceano Atlântico. De acordo com as estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) [6], localizadas ao longo da bacia, os totais pluviométricos podem chegar a valores acima de 1.800mm, especialmente nas áreas mais elevadas (por exemplo, na estação de Vila Nova Matilde, a 980 metros de altitude), enquanto que em áreas com cotas mais baixas os valores de pluviosidade são reduzidos (como, por exemplo, em Anchieta, a 6 metros de altitude) (Tabela 1).

Segundo dados da estação meteorológica de Alfredo Chaves, a qual encontra-se a 14 metros de altitude, obtidos no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) [7], as temperaturas médias mensais têm o seu máximo em fevereiro (cerca de 35°C) e mínimo em julho (cerca de 15°C), evidenciando uma amplitude térmica de 20°C.

Estação	Código	Altitude (m)	X	Y	Média anual (2000-2017)
Guarapari (DNOS)	2040004	8	342838,93	7715613,71	1316,02
Matilde (DNOS)	2040011	515	311169,26	7725863,96	1715,79
Vila Nova MARAVILHA	2040020	980	296840,92	7722288,28	1821,42
Anchieta (DNOS)	2040009	6	327693,33	7698703,90	1130,85

Tabela 1. Estações pluviométricas da ANA na área de estudo.

Fonte: ANA (2018). Org.: os autores/2018.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos pelo trabalho, primeiramente buscou-se o referencial teórico-metodológico, entre livros, teses, dissertações e artigos científicos que abordam os principais temas mencionados no texto, tais como, análise de bacias hidrográficas, uso de geotecnologias na análise ambiental, parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, entre outros. Dessa forma, utilizou-se as definições e metodologia dos autores [1].

Posteriormente, foram acessadas as bases cartográficas, vetoriais e rasters, necessárias à geração dos produtos cartográficos, a exemplo do Topodata, disponível online na plataforma do INPE [8].

Após o levantamento da base de dados, realizou-se o mapeamento e definidos os parâmetros morfométricos da bacia, referindo-se a segunda fase da pesquisa. Neste contexto, foram gerados os mapas hipsométricos, declividade e hierarquia de rios no software ArcGIS 10.5®, extensão ArcMAP.

Visando manter a padronização cartográfica do IBGE, conforme o decreto N°5334/2005 e a Resolução N°1/2005, todos os dados, vetoriais e rasters, foram georreferenciados utilizando o Sistema de Referência Geocêntrico SIRGAS2000, com a projeção UTM/24S. A nomeação dos rios foi desenvolvida a partir da carta topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) (2018) [9] e pelo mapeamento da rede hidrográfica da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), disponível no site do IEMA [3].

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Mapa Hipsométrico

Para a elaboração do mapa hipsométrico, foi utilizada a estrutura de grade triangular, conhecida como *Triangular Irregular Network* (TIN), que consiste em uma estrutura do tipo vetorial, de topologia de tipo nó-arco, o que possibilita a análise do relevo através de uma rede triangular interligada. O mapa hipsométrico permite uma melhor avaliação do relevo pois, por meio deste, é possível observar os limites e a ocorrência das principais serras encontradas no interior de uma bacia [2].

No mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Benevente (Figura 2) observam-se altitudes que variam de 0 a 1.560 metros. A porção noroeste é a mais elevada, com

geológica aliada a ação das chuvas e pela densa rede de drenagem no local que será analisada a posteriori. De modo oposto, na porção sudeste da bacia notam-se cotas máximas de 700 metros e predominância de altitudes abaixo dos 173 metros; esta área é caracterizada por intensos processos de inundações e alagamentos, sobretudo em períodos de fortes chuvas.

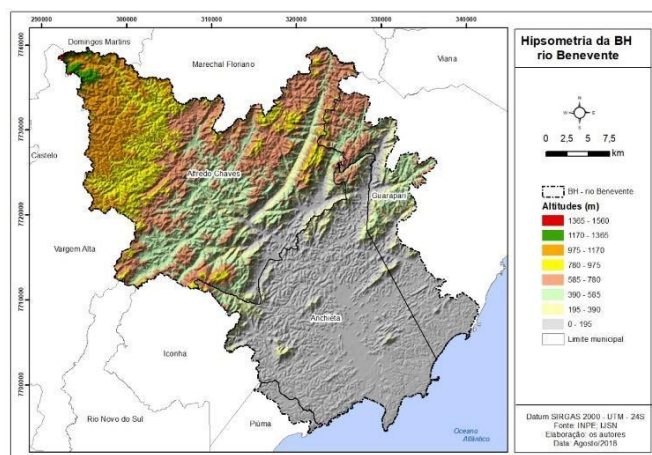


Figura 2. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Benevente. Org.: os autores/2018.

4.2. Mapa de Declividade

A declividade do relevo pode ser definida como o grau de inclinação do terreno em relação a um plano horizontal e seu cálculo é baseado na variação entre dois pontos do terreno, ou seja, na variação entre as cotas das curvas de nível, em relação as distâncias que as separam (Figura 3). A declividade é um atributo importante para o planejamento e gestão de bacias, em especial no que se refere a forma de racionalizar o manejo e a gestão dos recursos hídricos [10].

Em um mapa topográfico, quanto mais próximas umas das outras forem as isolinhas, mais inclinado é o terreno; por outro lado, quanto mais distantes forem as isolinhas, mais plano é o terreno e menos a inclinação do mesmo. Em um mapa de declividade, a representação do terreno é dada em graus ou em percentual. A Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) classifica a declividade em classes de percentual, em que cada uma das seis classes representa uma característica do relevo representado, variando de plano a forte-montanhoso (Figura 3) [11]. Assim, a partir dos mapas de declividade e com base na classificação da EMBRAPA, foram estabelecidas as áreas (em Km²) e o percentual para cada uma das seis classes de relevo estabelecidas (Tabela 2).

4.3. Mapa de Hierarquia Fluvial

A hierarquia fluvial de uma bacia hidrográfica refere-se ao estabelecimento de uma classificação de um curso d'água (ou a área drenada a qual ele pertence) ao longo da bacia, e seu estudo é justificado devido à importância no que tange aos estudos morfométricos e, conseqüentemente, no gerenciamento físico-econômico da mesma [2].

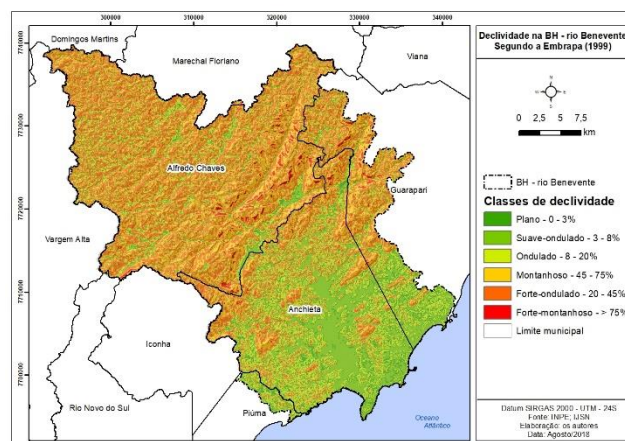


Figura 3. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Benevente. Org.: os autores/2018.

Classes de relevo	Percentual (%)	Área (km ²)
Plano - 0 - 3%	9,65	116,41
Suave - ondulado - 3 - 8%	10,08	121,6
Ondulado - 8 - 20%	25,5	307,62
Montanhoso - 20 - 45%	38,64	466,13
Forte-ondulado - 45 - 75%	14,5	174,92
Forte-montanhoso - > 75%	1,63	19,66
Total	100	1.206,35

Tabela 2. Classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Benevente. Fonte: INPE; EMBRAPA (1999) [11]. Org.: os autores/2018.

Dentro do sistema de classificação da hierarquia de rios há dois modelos principais, a saber: o de Horton, de 1945, e o de Strahler, de 1952 [1]. No presente estudo foi adotado o modelo de Strahler, de modo que, os canais de drenagem sem tributários são entendidos como de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem; os canais de terceira ordem à partir do encontro de dois canais de segunda ordem e assim sucessivamente. Assim, quanto maior a hierarquia de drenagem de uma bacia, maior será sua complexidade hidrológica, maior extensão dos rios e maior a capacidade da bacia de receber elevados valores de fluxos [12].

A partir do mapa de hierarquia fluvial, pôde-se observar que a bacia do rio Benevente possui canais de até 5ª ordem (Figura 4). Assim, o rio principal é de 5ª ordem e é considerado um rio permanente de médio porte, possuindo cerca de 80 km de comprimento da sua nascente no município de Alfredo Chaves até sua foz no município de Anchieta, sendo considerado um importante rio para a região.

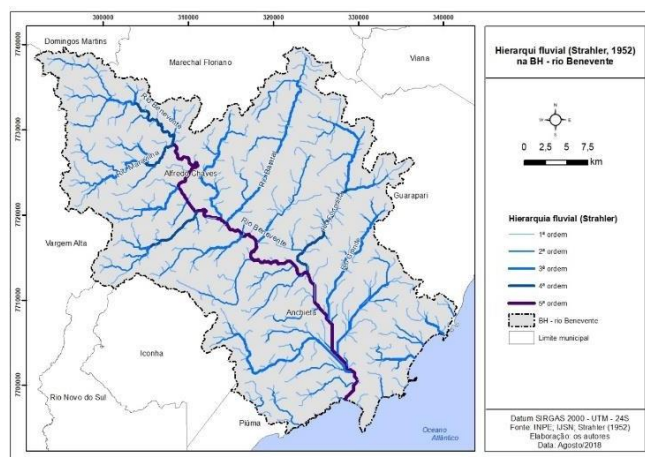


Figura 4. Mapa de hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Benevente. Org.: os autores/2018.

4.4. Outros parâmetros

A partir de operações realizadas na calculadora geométrica (*Calculate Geometry*) da extensão ArcMAP do software ArcGIS 10.5®, foram obtidos os parâmetros de área da bacia, perímetro da bacia; comprimento dos canais; densidade de drenagem e índice de circularidade e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Parâmetros	Medida	Método de análise
Área da bacia	1.206,35 (km ²)	<i>Calculate Geometry</i> (ArCMap 10.5)
Perímetro da bacia	261,49 (km)	<i>Calculate Geometry</i> (ArCMap 10.5)
Cumprimento dos canais	972,21 (km)	<i>Calculate Geometry</i> (ArCMap 10.5)
Densidade de drenagem	0,806 (km/km ²)	$Dd=Lt/A^*$
Índice de circularidade	0,22 (IC)	Método de Schumm (1956) ($Ic = 12,57 * A/P^2$)**

Tabela 3. Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Benevente. Org.: os autores/2018.

Para a determinação do índice de circularidade foi utilizada a metodologia desenvolvida por Schumm [13]. O índice de circularidade (IC) da bacia hidrográfica do Rio Benevente foi de 0,22, o que sugere uma bacia mais alongada (IC abaixo de 0,51). Uma bacia com geometria mais alongada (e índice menor) favorece o processo de escoamento superficial, conseqüentemente, menor a susceptibilidade a processos de inundação, enquanto que em uma bacia com índice de maior valor há uma maior probabilidade de acumulação da drenagem. Assim, “*Em bacias com forma circular, há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem, simultaneamente, em toda sua extensão concentrando grande volume de água no tributário principal*” [14].

O perímetro da bacia refere-se ao comprimento médio ao longo dos divisores de água da bacia. O parâmetro comprimento de canais foi gerado através da mesma ferramenta e constitui-se na medida em planta da nascente até a sessão de referência de cada tributário, incluindo o rio

5. CONCLUSÕES

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Benevente foram estabelecidos satisfatoriamente com o uso da metodologia empregada, possibilitando um relevante conhecimento geofísico da área de estudo. Considerando a escala de análise do MDE utilizado (Topodata), os mapas gerados refletem bem a realidade da bacia estudada. Os resultados mostram uma bacia com geometria mais alongada. Tal conhecimento da bacia garante aos tomadores de decisão o referencial científico necessário para a definição de estratégias e diretrizes de uso e cobertura da terra, bem como, para os planejamentos ambiental e territorial da BH do rio Benevente.

Desta maneira conclui-se que a utilização de ferramentas de Sensoriamento Remoto na caracterização dos parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica é de excelente precisão e agilidade, no entanto, o uso destas não dispensa os trabalhos de campo, seja para a validação *in situ* dos dados gerados ou para a realização de estudos socioambientais.

6. REFERÊNCIAS

- [1] RODRIGUES, C.; ADAMI, S. F. Técnicas de hidrografia. In.: VENTURI, L. A. B. (ORG.) **Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Editora Sarandi, 2011, p. 55- 82.
- [2] COELHO, A. L. N. Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte. **Anais XIII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 de abril, 2007, p. 2437-2445.
- [3] Bases cartográficas do Espírito Santo – bacias hidrográficas - IEMA. Disponível em <<https://iema.es.gov.br/i3geo/>>, acesso em 20 ago. 2018.
- [4] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). Informações por Cidade e Estado. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/por-cidade-estado-geociencias.html>>. Acesso em 10 ago. 2018.
- [5] COELHO, A. L. N. Uso de produtos de sensoriamento remoto para delimitação de área efetivamente inundável: estudo de caso do baixo curso do rio Benevente Anchieta – ES. **Revista Geográfica Acadêmica** v.4, n.2, xii.2010.
- [6] Sistema de Informações Hidrológicas – SNIRH – ANA. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_a_bas.jsf>, acesso em 20 ago. 2018.
- [7] Gráfico de séries históricas – Estação Alfredo Chaves. INCAPER. Disponível em <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-alfredo_chaves/>, acesso em 20 ago. 2018. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). TOPODATA - Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil. Folhas 20S42/20S45. Disponível em <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em 05/09/2018.
- [8] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). Carta Topográfica Guarapari, folha SF- 24-V-B-IV-1. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/folhas-topograficas/15809-folhas-da-carta-do-brasil.html>>, acesso em 10/09/2018.
- [9] TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. de; RIBEIRO, C.A. A. S. R.; LEITE, F. P. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v.5, n.30, p.849-857.
- [10] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999.
- [11] PINHEIRO, R. M. P. **Sub-bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe Ttauí-CE**: vulnerabilidades ante a incidência de degradação/desertificação. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003. 195 p.
- [12] SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Bulletin of Geological Society of America**, n. 67, 1956. p. 597-646.
- [13] CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.