

## CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ: CENTRO DO RIO GRANDE DO SUL

### Morphometric Description of the Vacacaí River Basin: Center of Rio Grande do Sul

George Gabriel Schnorr  
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM  
[giorgeschnorr@gmail.com](mailto:giorgeschnorr@gmail.com)

Anderson Augusto Volpato Scoti  
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM  
[ascoti2@gmail.com](mailto:ascoti2@gmail.com)

Carina Petsch  
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM  
[carinapetsch@gmail.com](mailto:carinapetsch@gmail.com)

*Recebido em 22/01/2021*  
*Aceito em 30/04/2021*

**RESUMO:** Os trabalhos científicos destinados à descrição do meio físico são importantes ferramentas de diagnóstico e de subsídio ao planejamento. Na ciência geográfica, as técnicas e tecnologias voltadas ao diagnóstico dos componentes da natureza, vem avançando, principalmente ligadas à evolução da informática. O presente artigo tem como objetivo apresentar o levantamento morfométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí (BHRV), localizada no estado do Rio Grande Sul. Os procedimentos metodológicos utilizados foram baseados na utilização de SIG, MDE e análises estatísticas dos componentes do meio relacionados a drenagem, altitudes, declividades e índice de concentração de rugosidades, o qual teve como papel demonstrar as principais formas de relevo. Em termos de resultados foram apresentados mapas, tabelas e figuras, com foco na descrição e na quantificação dos atributos morfométricos da bacia hidrográfica. A hierarquia do Rio Vacacaí chega à 7ª ordem, os padrões de drenagem são dendríticos, paralelos e retangulares. A amplitude altimétrica da BHRV é superior a 400 metros e as declividades variam entre 0 e >30%. Através do índice de concentração de rugosidades foi possível definir automaticamente as principais formas do relevo. A análise morfométrica, elaborada através de técnicas computacionais, possibilitada pelo geoprocessamento, apresenta um teor quantitativo e descritivo do ambiente, possibilita a aquisição de dados, que servem tanto para o planejamento, como também de base para outros trabalhos e análises aprofundadas do espaço geográfico.

**Palavras Chave:** Geoprocessamento; Morfometria; Relevo

**ABSTRACT:** Scientific works for the description of the physical environment are important diagnostic tools and support for planning. In geographic science techniques aimed at diagnosing the components of nature, has been advancing, mainly related to the evolution of information technology. This article aims to present the morphometric survey of the Vacacaí River Hydrographic Basin (BHRV), located in the state of Rio Grande do Sul. Methodological procedures used were based on the use of GIS, MDE and statistical analysis related environmental components to drainage, height, slopes and roughness concentration index, which has the role of demonstrating the main forms of relief. In terms of results, maps were presented, chart and figures, focusing on description and in the quantification of attributes basin morphometric. The hierarchy of the Vacacaí River reaches the 7th order, the drainage patterns are dendritic, parallel and rectangular. The altimetric amplitude of BHRV is over 400 meters and the slopes

vary between 0 -> 30%. Through the roughness concentration index, it was possible to automatically define the main forms of the relief. Morphometric analysis, elaborated through computational techniques, made possible by geoprocessing, presents a quantitative and descriptive content of the environment, enables data acquisition, that serve both for planning, as well as basis for other works and indepth analyzes of the geographic space.

**Keywords:** Geoprocessing; Morphometry; Relief.

## INTRODUÇÃO

Os trabalhos científicos destinados à descrição do meio físico são importantes ferramentas de diagnóstico e de subsídio ao planejamento. Os estudos morfométricos de bacias hidrográficas, em especial, representam a aplicação de técnicas quantitativas, voltadas a obtenção de valores de áreas, índices e limiares. Na ciência geográfica, as técnicas e tecnologias voltadas ao diagnóstico dos componentes da natureza vem avançando, principalmente ligadas à evolução da tecnologia. Silveira et al. (2014) destacam que técnicas digitais de análise do relevo são dadas com a representação em modelos digitais, que podem auxiliar na compreensão das formas do relevo através da extração de variáveis, e no avanço da cartografia geomorfológica. E os estudos envolvendo as bacias hidrográficas como unidade de análise geográfica se destacam desde o fim da década de 60 (BOTELHO & SILVA, 2004), proporcionando uma visão sistêmica principalmente quando avaliada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A análise realizada por meio dos SIG tem avançado nos últimos anos de forma significativa, pois possibilitam uma abordagem integrada, dinâmica e precisa dos componentes espaciais que são modelados através dessa técnica. Os SIGs são amplamente utilizados nos estudos de cunho ambiental, possibilitando a obtenção de produtos voltados para um planejamento e adequabilidade das ações econômicas exercidas no espaço geográfico.

As técnicas de geoprocessamento são usadas na obtenção, processamento e análise de um amplo conjunto de dados, a partir desta premissa, podemos desenvolver modelos em escala de redução, os quais têm como função simular as condições físicas da natureza e prever impactos e avarias em sistemas naturais.

Os modelos digitais de elevação (MDE), são exemplos significativos de representação em escala reduzida do espaço geográfico, de posse de uma matriz formada por *pixels* com valores distintos de altitude, podemos analisar as diferenças topográficas de uma determinada área, além de obter outros produtos cartográficos, como a declividade, orientação de vertentes, índices de rugosidades, entre outros. Conforme Florenzano (2008), os MDEs são planos de informação que descrevem a altitude ponto a ponto de uma área. Podem ser obtidos de diferentes formas: cartas topográficas, fotogrametria, sensores ópticos, radargrametria e *laser scanner*. A acurácia do modelo e dos produtos gerados, principalmente as variáveis morfométricas, está relacionado a resolução dos dados de origem e seu processamento.

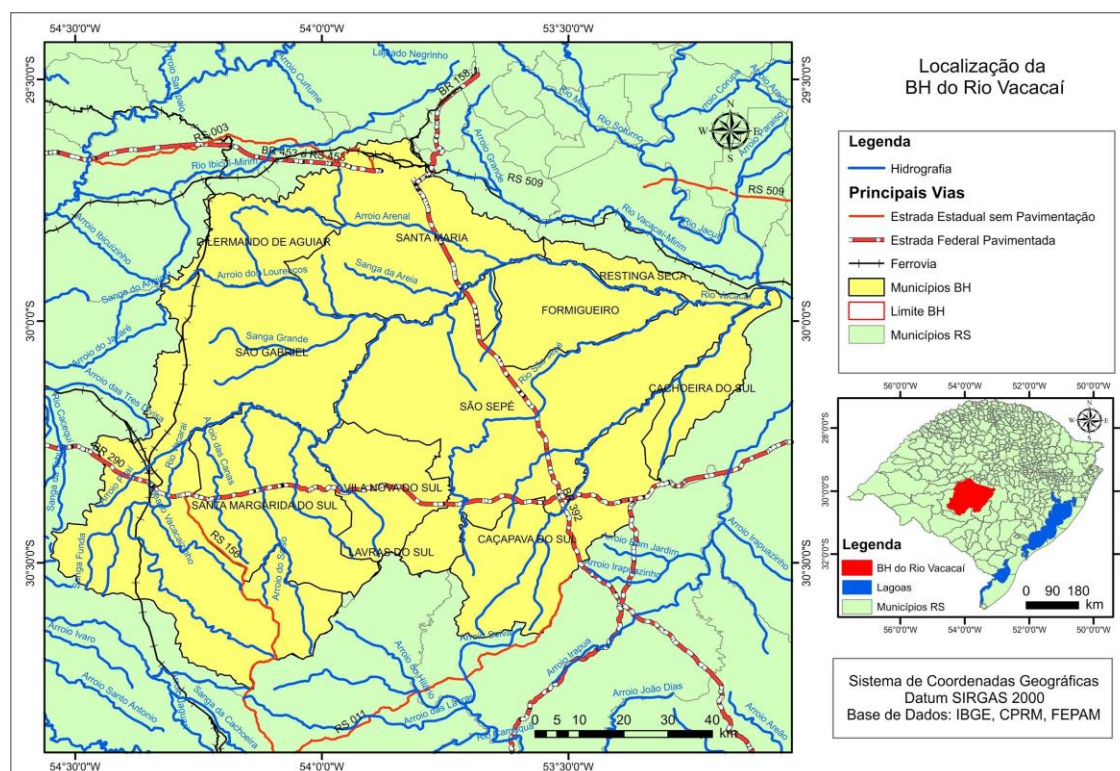
Em estudos desenvolvidos em bacias hidrográficas, o processo de levantamento e processamento e análises dos dados estão diretamente ligados ao MDE, como pode

ser visto nos trabalhos desenvolvidos por Robaina et al. (2010), Trentin (2011), Silveira et al., (2013), Santos et al., (2017), Megiato e Moura (2019).

Os estudos morfométricos podem ser conceituados como um levantamento e análise de dados quantitativos relacionando a interação entre a fisiografia e a dinâmica hidrológica da área de estudo (FARIA et al., 2009). A análise morfométrica, além de apresentar um conjunto de dados quantitativos da hidrografia e formas topográficas de uma bacia hidrográfica, são a base para outros estudos mais complexos, como estudos geomorfológicos, desastres naturais associados a dinâmicas de vertentes e fluviais e impactos ambientais e etc. São variados os parâmetros geomorfométricos considerados e sua escolha deve se basear de acordo com as particularidades de cada paisagem (PIRAJÁ e REZENDE FILHO, 2019).

Conforme Ross (2000), às crescentes e massivas modificações antrópicas no ambiente, geradas pelo aumento no consumo de recursos naturais, geram demandas cada vez maiores de estudos ambientais, principalmente os ligados aos estudos de impactos e danos causados por empreendimentos.

O presente artigo tem como objetivo apresentar o levantamento morfométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí - BHRV (figura 1). Os fatores determinantes na escolha desta bacia hidrográfica estão relacionados a sua dinâmica fluvial, variabilidade geológica e dinâmicas antrópicas desenvolvidas na área.



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

**Fonte de dados:** IBGE (2019); Hasenack e Weber (2010); CPRM (2006); FEPAM.

**Organização:** Autores (2020)

O rio Vacacaí e seus tributários drenam a porção central do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo parcialmente ou totalmente a área de 11 municípios, sendo eles: Santa Maria, São Sepé, Formigueiro, Vila Nova do Sul, Santa Margarida do Sul, São Gabriel, Caçapava do Sul, Dilermando de Aguiar, Lavras do Sul, Restinga Sêca e Cachoeira do Sul.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Traçar e definir as características morfológicas do relevo é um ponto considerado de suma importância na pesquisa cartográfica e geoambiental, pois traduz os eventos de formação e evolução do ambiente. Para a elaboração deste trabalho, foi necessária uma análise bibliográfica e em seguida a organização de um banco de dados georreferenciado no SIG QGIS 3.12. As informações cartográficas utilizadas foram extraídas da Base Vetorial Contínua do RS na escala de 1:50.000, organizada por Hasenack e Weber (2010) e dados de altimetria do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), obtidos do site da *Earth Explorer - USGS* (disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Os dados referentes aos limites dos municípios, que ocupam em parte ou totalmente a bacia hidrográfica, foram obtidos do site do IBGE na aba "portal de mapas".

A primeira tarefa foi localizar, identificar e analisar os dados morfológicos/morfológicos da rede de drenagem (obtida em modelo vetorial na extensão \*.shp).

A área da bacia hidrográfica e das sub-bacias, foi calculada através do uso da calculadora de campo do SIG Qgis versão 3.12. A definição dos padrões de drenagem da bacia estudada foi baseada em Christofletti (1974), que empregou uma análise baseada na geometria e na forma dos canais para definição, a escala em que os padrões foram analisados é de 1:50.000, considerando que esse parâmetro pode variar conforme o grau de detalhe das informações cartográficas. A drenagem pode ser caracterizada como dendrítica, retangular, paralela, etc.

A densidade de drenagem (Horton, 1945), calculada através da fórmula ( $Dd=Lt/A$ ), pode variar segundo a infiltração e estruturação dos canais (Christofletti, 1969).

A hierarquia fluvial, baseada no modelo conforme Strahler (1952) apud Christofletti, 1980), consiste em ordenar as ramificações segundo a sua interação com as demais drenagens, assim, uma ramificação com apenas uma ligação é considerada de "ordem 1", duas ramificações de ordem 1 unidas podem resultar em uma de "ordem 2" e assim sucessivamente, desde que as ramificações de menor valor não interfiram nas de maior. A tabela 1 traz um resumo dos parâmetros avaliados.



**Tabela 1.** Parâmetros avaliados

| PARÂMETRO ANALISADO       | DADO UTILIZADO               | MÉTODO                                  | AUTOR DE REFERÊNCIA                         |
|---------------------------|------------------------------|---|---|
| ÁREA DA BHRV E SUB-BACIAS | BASE VETORIAL CONTÍNUA DO RS | CALCULADA NO SIG QGIS VERSÃO 3.12       |   |
| PADRÕES DE DRENAGEM       | BASE VETORIAL CONTÍNUA DO RS | GEOMETRIA E FORMA DOS CANAIS            | CHRISTOFOLE TTI (1974)                      |
| DENSIDADE DE DRENAGEM     | BASE VETORIAL CONTÍNUA DO RS | DD=LT/A                                 | HORTON (1945)                               |
|                           |                              | ORDEM CRESCENTE QUE DEFINE O AUMENTO DE | STRAHLER (1952) APUD CHRISTOFOLE TTI (1980) |
| HIERARQUIA FLUVIAL        | BASE VETORIAL CONTÍNUA DO RS | ÁGUA NO CURSO                           |   |

**Fonte:** Autores (2021)

## ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Para a realização da análise hipsométrica utilizou-se do MDE SRTM, com resolução espacial de 30 metros, trabalhado no SIG Qgis 3.12, onde foi possível a geração de dados. A análise hipsométrica foi dividida em seis classes (<100 m, 100-150 m, 150-200 m, 200-250 m, 250-350 m e >350 m) com equidistância de 50 metros.

A declividade, parâmetro que representa a inclinação das vertentes, foi gerada a partir do modelo digital de elevação, as classes utilizadas foram: <2%, 2 - 5%, 5 - 15%, 15 -30% e >30%, seguindo a metodologia do IPT (1981).

Para aprimorar a análise morfométrica da BHRV, foi gerado o Índice de concentração de Rugosidade (ICR), com a intenção de agrupar formas de relevo semelhantes, como áreas planas, colinas suavemente onduladas, colinas onduladas, colinas fortemente onduladas, áreas escarpadas e fortemente escarpadas. Para a elaboração desse produto usamos como base teórica e metodológica o trabalho desenvolvido por Sampaio e Augustin (2014), onde as classes descritas, foram obtidas através da Estimativa de Densidade de Kernel. O ICR foi gerado através da ferramenta Mapas de Calor (Estimativa de densidade de Kernel), a base utilizada foi uma nuvem de pontos obtida através da transformação da declividade (arquivo matricial) em dados de geometria vetorial, onde cada ponto detém um valor para coordenadas X e Y e a declividade representada por uma coluna Z, a qual é utilizada como parâmetro ou “peso do campo” a ser interpolado.

Com base no conhecimento prévio da BHRV e nos valores obtidos para o ICR, foram definidas cinco classes, as quais representam características do relevo, com base nas taxas de concentração de rugosidades. A validação deste modelo ocorreu através de trabalhos de campo, ocorridos nos meses de julho e novembro de 2019, além de conhecimento prévio da área.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### HIDROGRAFIA

Lima (2008), destaca que para entender o funcionamento de uma bacia hidrográfica é necessário que se expresse de forma quantitativa a forma e processos que se dão e suas relações, o que justifica a importância dos dados que serão apresentados a seguir. A bacia hidrográfica possui uma área de drenagem calculada de 10.009,160 km<sup>2</sup>. A densidade de drenagem foi inicialmente definida, com base nos pressupostos de Horton (1945) apud Christofolletti (1980) e se relacionava ao comprimento médio dos rios de uma bacia hidrográfica. A densidade de drenagem obtida foi de 1,5 km/km<sup>2</sup>, segundo a classificação de Beltrame (1994), esta é considerada mediana. Christofolletti (1969) destaca que áreas de valores maiores de densidade de drenagem representam áreas com pouca infiltração e boa estruturação dos canais.

Os padrões de drenagem caracterizam a forma de escoamento de uma bacia hidrográfica, que pode variar segundo a formação geológica do espaço. A BHRV é caracterizada por, em sua maioria, conter padrões de drenagem de forma dendrítica, quando analisada na escala de 1:50.000. Estes que em sua forma, se destacam por apresentarem várias ramificações em diferentes direções. Possuem drenagens próximas umas das outras e não formam ângulos retos. Além dos padrões de drenagem classificados como dendríticos, podem ser destacados também o paralelo e o retangular. Os paralelos estão localizados em áreas de controle estrutural que favorecem sua formação, principalmente na porção leste e porção oeste da BHRV. Os padrões de drenagem retangulares são identificados por serem capazes de formar ângulos retos, se formam em falhamentos rochosos, principalmente localizados na porção centro-sul da bacia associados a rochas cristalinas. A figura 2 traz exemplos dos padrões de drenagem analisados dentro da BHRV.



**Figura 2:** Exemplos dos padrões de drenagem destacados dentro da bacia. A figura “A” representa os padrões de drenagem dendríticos, a figura “B” representa padrões de drenagem paralelos, e a figura “C” representa padrões de drenagem retangulares.

**Fonte:** Imagem Google Earth; Hasenack e Weber (2010).

**Organização:** Autores (2020).

Conforme Bertolini et al., (2019), os padrões de drenagem diversificados, demonstram as variabilidades litológicas e topográficas de uma bacia hidrográfica, conforme observado na BHRV.

Através da utilização do SIG QGis, foi possível descobrir o comprimento total dos canais segundo sua hierarquia fluvial. A hidrografia da BHRV se destaca por conter canais de drenagem de até sétima ordem, este sendo caracterizado pelo canal principal do Rio Vacacaí. A tabela 2 traz o comprimento dos canais segundo a hierarquia definida.

**Tabela 2.** Comprimento dos canais

| <b>ORDEM</b>   | <b>COMPRIMENTO<br/>(km)</b> | <b>PORCENTAGEM</b> |
|----------------|-----------------------------|--------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 8873,60                     | 59,9%              |
| 2 <sup>a</sup> | 2831,98                     | 18,8%              |
| 3 <sup>a</sup> | 1564,35                     | 10,4%              |
| 4 <sup>a</sup> | 727,91                      | 4,8%               |
| 5 <sup>a</sup> | 444,37                      | 2,9%               |
| 6 <sup>a</sup> | 450,90                      | 3,0%               |
| 7 <sup>a</sup> | 123,21                      | 0,8%               |
| <b>TOTAL</b>   | <b>15.016,35</b>            | <b>100%</b>        |

**Fonte:** Autores (2020)

Para uma análise mais detalhada da hidrografia da BHRV, e baseada na escala de análise, foram delimitadas as principais sub-bacias tributárias, com hierarquia fluvial superior à 4<sup>a</sup> ordem, onde no mapa da figura 3 é possível observar a espacialização dos dados e na tabela 3 são apresentados alguns parâmetros morfométricos. A divisão da BHRV em treze sub-bacias foi realizada com base em características de drenagem e relevo. Os parâmetros morfométricos analisados foram perímetro (calculado em quilômetros), hierarquia fluvial e densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>) além da área de cada sub-bacia. Os parâmetros morfométricos são importantes pois os dados obtidos ajudam a entender a dinâmica das sub-bacias e a sistematização de toda a drenagem da BHRV. A divisão, portanto, resultou em treze sub-bacias.

A classe dos tributários diretos do rio principal soma uma área de 2.149,892 km<sup>2</sup>, um total considerável dentro da bacia, ocupando cerca de 21% da área total.

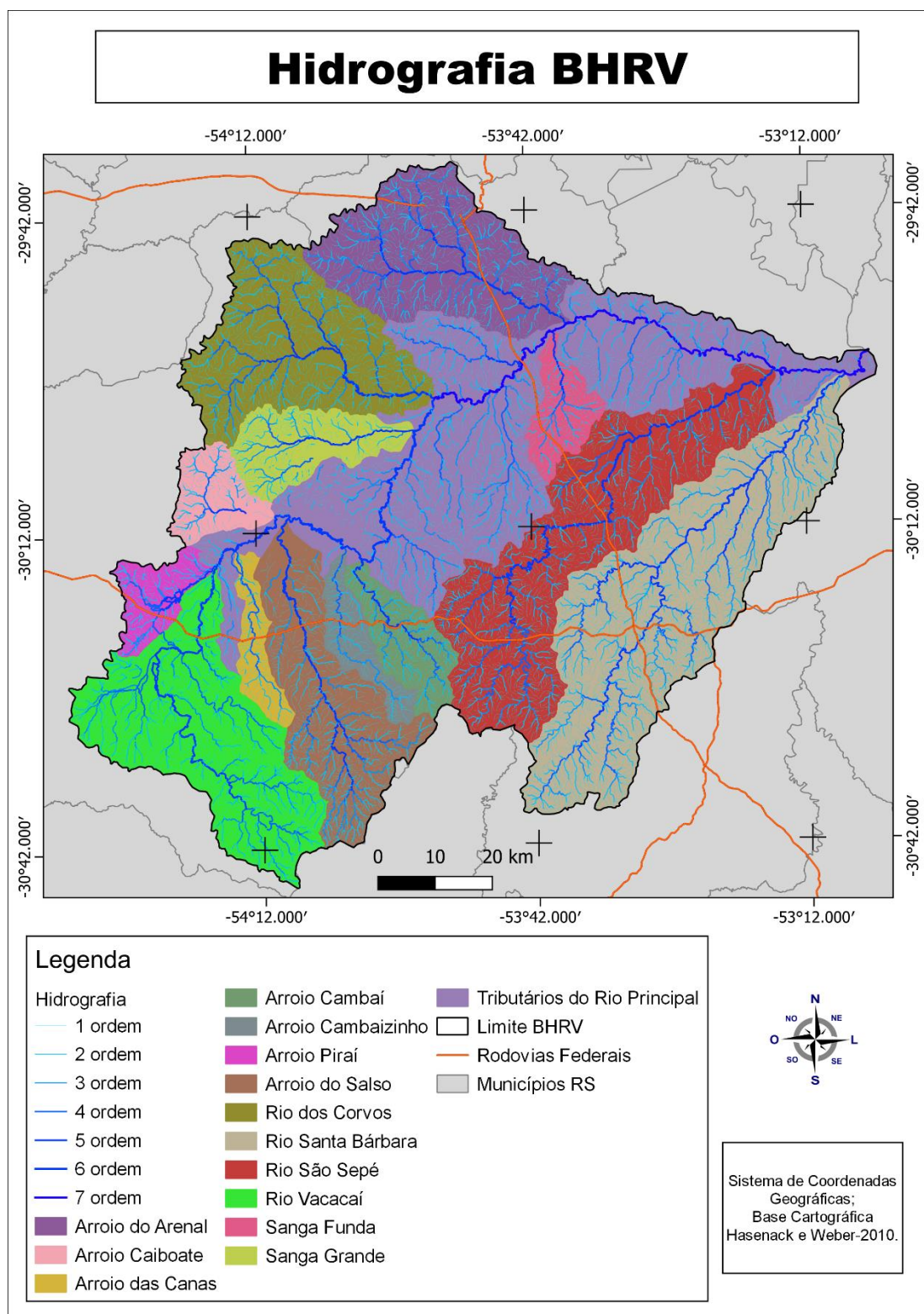
**Tabela 3.** Dados quantitativos das sub-bacias tributárias do Vacacaí, foram considerados canais de hierarquia superior a 4ª ordem.

| NOME                           | ÁREA<br>(km <sup>2</sup> ) | PERÍMETRO<br>(km) | HIERARQUIA<br>FLUVIAL | DENSIDADE<br>DE<br>DRENAGEM<br>(km/km <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|--|
| ARROIO DO<br>ARENAL            | 847,527                    | 157               | 6                     | 1,53   |
| ARROIO<br>CAIBOATE             | 202,282                    | 70                | 5                     | 1,35   |
| ARROIO DAS<br>CANAS            | 149,391                    | 79                | 4                     | 1,39   |
| ARROIO<br>CAMBAÍ               | 254,545                    | 86                | 5                     | 1,76   |
| ARROIO<br>CAMBAZINHO           | 160,373                    | 90                | 4                     | 1,42   |
| ARROIO PIRAIÁ                  | 174,419                    | 75                | 5                     | 1,83   |
| ARROIO DO<br>SALSO             | 737,888                    | 172               | 6                     | 1,56   |
| RIO DOS<br>CORVOS              | 888,467                    | 176               | 6                     | 1,50   |
| RIO SANTA<br>BÁRBARA           | 1623,097                   | 252               | 6                     | 1,57   |
| RIO SÃO<br>SEPÉ                | 1297,337                   | 250               | 6                     | 1,50   |
| RIO VACACAÍ<br>(ALTO<br>CURSO) | 1039,750                   | 190               | 5                     | 1,72   |
| SANGA<br>FUNDA                 | 184,429                    | 78                | 5                     | 1,39   |
| SANGA<br>GRANDE                | 310,660                    | 94                | 5                     | 1,34   |

**Fonte:** Autores (2020)

Vale destacar entre as sub-bacias tributárias algumas principais, o Rio Santa Bárbara, Rio São Sepé e Alto Curso do Rio Vacacaí que representam juntas cerca de 39% do total da área da bacia. A sub-bacia do Rio Santa Bárbara e do Rio São Sepé possuem hierarquia fluvial de sexta ordem, enquanto que a sub-bacia do Rio Vacacaí possui drenagem de quinta ordem. A sub-bacia do Rio Santa Bárbara se localiza na porção sudeste da BHRV e drena parte dos municípios de Caçapava do Sul, São Sepé e Cachoeira do Sul. A sub-bacia do Rio São Sepé se localiza ao leste da BHRV, mais na porção central, abrangendo parte dos municípios de Formigueiro, São Sepé, Vila Nova do Sul, Caçapava do Sul e uma pequena porção de Lavras do Sul. Já a sub-bacia do Rio Vacacaí (alto curso) se localiza na porção Sudoeste da BHRV e abrange parte dos municípios de São Gabriel, Santa Margarida do Sul e uma pequena porção de Lavras do Sul.





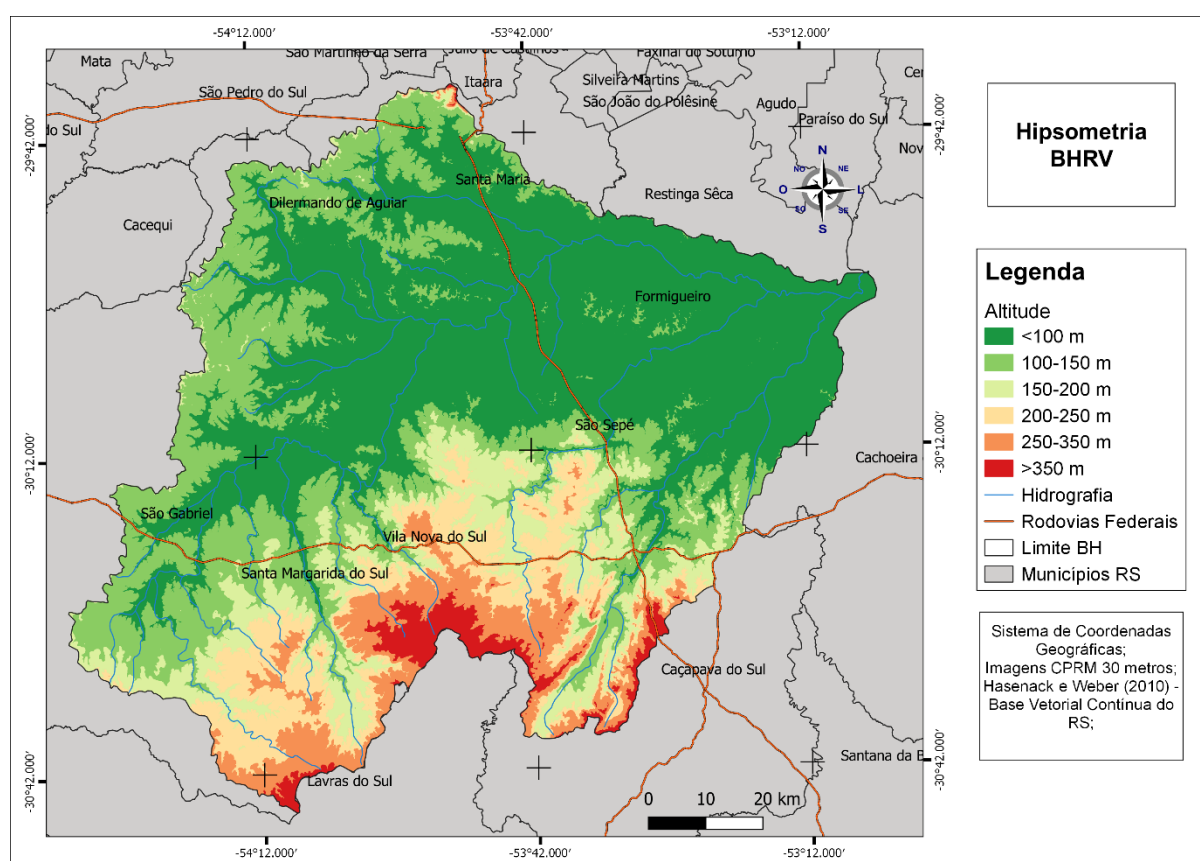
**Figura 3.** Mapa das sub-bacias tributárias da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí.

**Fonte:** IBGE (2019); Hasenack e Weber (2010).

**Organização:** Autores (2020)

## HIPSOMETRIA

A análise hipsométrica da BHRV buscou definir as diferenças de altitude em relação ao nível do mar. As áreas de maior altitude se encontram na parte norte da BHRV, sobre as porções festonadas do planalto meridional brasileiro, no município de Santa Maria e na porção sul, sobre o planalto sul-rio-grandense, nos municípios de Lavras do Sul e Caçapava do Sul, as altitudes nessas áreas ultrapassam os 350 metros. A amplitude altimétrica da BHRV é de 436 m. As médias altitudes na BHRV, encontram-se nas adjacências das porções mais elevadas topograficamente e na porção oeste da BHRV, marcando os divisores de água com o sistema hidrográfico do Rio Uruguai. Na figura 4, é possível observar a espacialização das altitudes na BHRV.



**Figura 4.** Mapa de hipsometria da bacia hidrográfica.

**Fonte:** Wildner et al. (2006); Hasenack e Weber (2010); IBGE (2019).

**Organização:** Autores (2020).

As maiores altitudes encontram-se nas porções sul e norte, as áreas mais baixas topograficamente, ocupam a porção central da BHRV, se estendendo no sentido oeste-leste.

De forma geral, as classes de altitude que se destacam são a porção de relevo com altitude menor que 100 metros e a que varia entre 100-150 metros, com área de 4730,567 km<sup>2</sup> e 2352,511 km<sup>2</sup> respectivamente. A quantificação completa das classes

utilizadas para definir as altitudes, estão contidas na tabela 4. As demais classes, possuem em valores absolutos, os seguintes números: 150 - 200 m com área de 1.163,40 km<sup>2</sup>, 200 - 250 m área de 843,01km<sup>2</sup>; 250 - 350 m área de 645,52 km<sup>2</sup>; e >350 m área de 274,08 km<sup>2</sup>

**Tabela 4.** Quantificação das classes hipsométricas, podemos observar que a classe de maior destaque está associada as áreas de menor altitude na bacia hidrográfica.

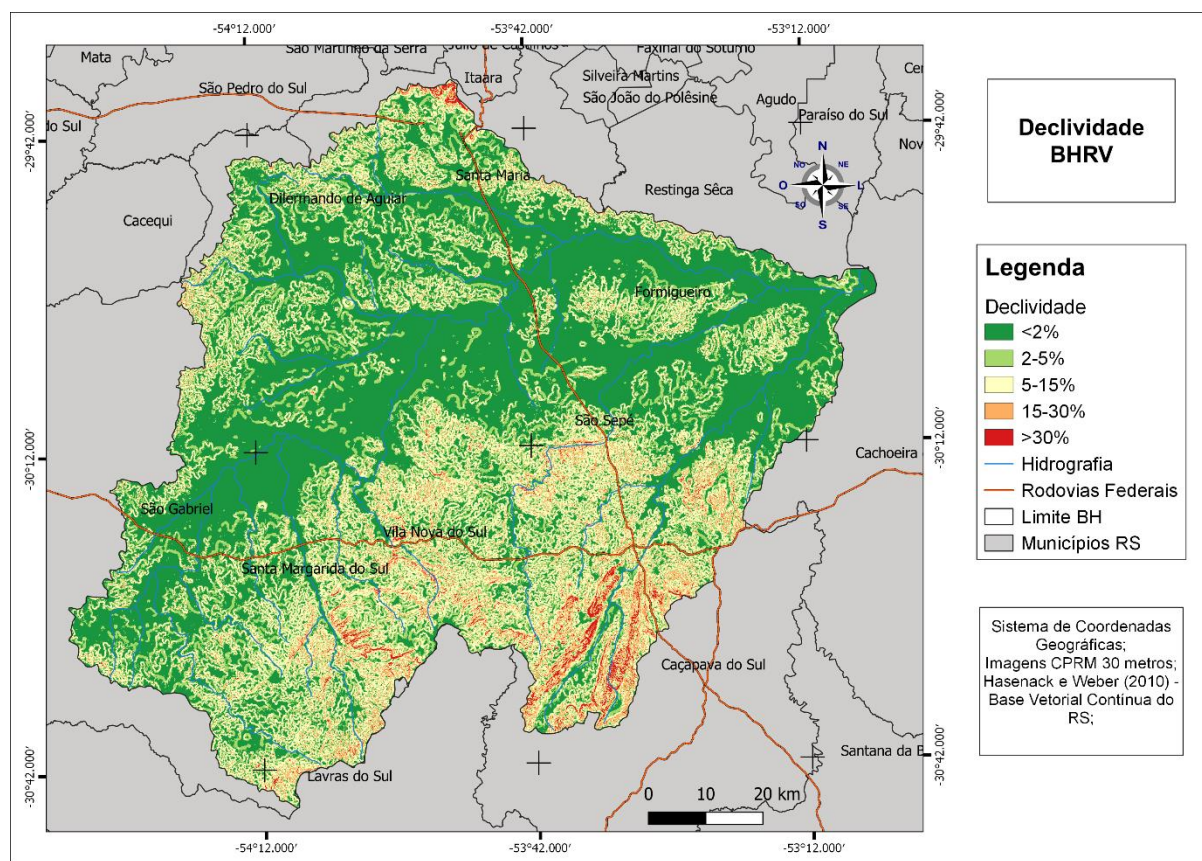
| CLASSES      | ÁREA<br>(km <sup>2</sup> ) | PORCENTAGEM |
|--------------|----------------------------|-------------|
| <100 m       | 4.730,567                  | 47%         |
| 100-150 m    | 2.352,511                  | 24%         |
| 150-200 m    | 1.163,408                  | 12%         |
| 200-250 m    | 843,015                    | 8%          |
| 250-350 m    | 645,522                    | 6%          |
| >350 m       | 274,083                    | 3%          |
| <b>TOTAL</b> | <b>10.009,160</b>          | <b>100%</b> |

Fonte: Autores (2020).

## DECLIVIDADE

As declividades predominantes na BHRV não ultrapassam os 15% de inclinação, agregando de uma maneira geral feições associadas às formas de relevo planas ou colinoso, conforme classificação do IPT (1981). As porções com declividades mais acentuadas, superiores a 15% encontram-se nas porções de divisores de água, com destaque aos divisores localizados ao norte e ao sul da BHRV. Na porção sul, destacamos a ocorrência de áreas de baixa declividade, associadas às planícies estruturais, localizadas nas porções de topo do planalto sul-rio-grandense. Na figura 5, podemos observar a distribuição das classes de declividade, utilizadas para a caracterização das inclinações na BHRV.





**Figura 5.** Mapa de declividade da bacia hidrográfica.  
**Fonte:** Wildner et al. (2006); Hasenack e Weber (2010); IBGE (2019).  
**Organização:** Autores (2020).

Ressalta-se que a análise da declividade é fundamental, visto que este dado pode ser um limitante para determinados usos e ocupação da área de estudo. Por exemplo, declividades mais altas podem restringir a mecanização de uma área inviabilizando culturas do agronegócio. Contudo, para a área de estudo as áreas com declividades menores de 2% representam a maioria da área de declividade, com 48%. As menores declividades se apresentam próximas às redes de drenagem de canais mais bem estabelecidos, ou seja, grandes tributários do Rio Vacacaí ou o próprio. Nessas áreas planas pode ocorrer a inundação e acumulação de sedimentos, onde também ocorre o cultivo de arroz em determinados municípios (ROSA, 2019).

As áreas com declividade entre 2-5% somam 22% da área da bacia hidrográfica e se caracterizam por apresentarem formas de relevo colinosos, suavemente ondulados. Sendo que essas declividades marcam a transição entre processos geomorfológicos associados à deposição e erosão e as declividades superiores a 5% marcam o início do predomínio da erosão.

Já a área da bacia hidrográfica com declividade entre 5-15% aparece com 23% da área. Na BHRV as áreas com declividade superior a 30% localizam-se na parte periférica principalmente, dependendo da formação geológica e geomorfológica



determinada área pode ser mais ou menos declivosa. As áreas com declividade superior à 30% são a minoria, com apenas 1% do total da área da BHRV (tabela 5).

**Tabela 5.** Área em quilômetros quadrados e em porcentagem das declividades da bacia hidrográfica, as classes utilizadas foram baseadas na proposta do IPT (1981).

| CLASSES      | ÁREA<br>(km <sup>2</sup> ) | PORCENTAGEM |
|--------------|----------------------------|-------------|
| <2%          | 4.813                      | 48%         |
| 2-5%         | 2.241                      | 22%         |
| 5-15%        | 2.259                      | 23%         |
| 15-30%       | 585                        | 6%          |
| >30%         | 100                        | 1%          |
| <b>TOTAL</b> | <b>10.009,160</b>          | <b>100%</b> |

Fonte: Autores (2020)

## DETERMINAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO ATRAVÉS DO ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DE RUGOSIDADE

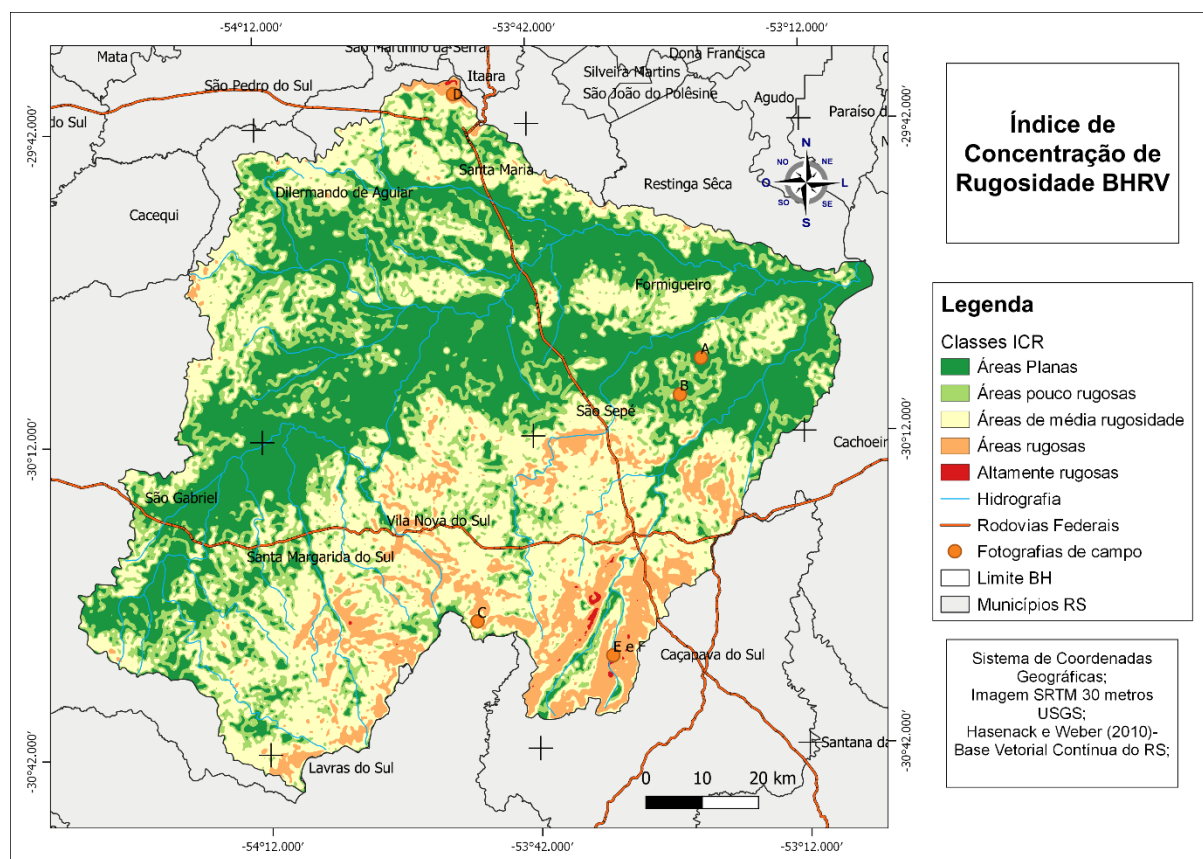
O índice de concentração de rugosidade (figura 6), representa as diferentes taxas de dissecação do relevo e pode ser utilizado para o agrupamento e descrição das formas de relevo. O raio de análise que melhor se adequou, na análise feita na BHRV, foi 528 m, esse valor foi o que demonstrou os melhores resultados, além de corroborar (próximos aos valores locais), com aplicações anteriores como as descritas em Sampaio e Augustin (2014) e Flores e Oliveira (2016), além do que foi observado em campo. Com base nas classes do ICR, podemos associar as áreas planas às porções que tangenciam os principais cursos de água, são porções com declividades inferiores a 2% e em sua maioria servem como área de extravasamento do caudal em períodos de elevada precipitação (figura 7A), são porções intensamente utilizadas pelo agronegócio, associado a rizicultura. As porções com essa característica de forma do relevo, são as mais representativas na BHRV, ocupando 35,49% da BHRV.

As áreas pouco rugosas representam as porções em que a declividade se encontra entre 2 a 5% (figura 7B), configurando vertentes com interflúvios longos e amplitudes altimétricas inferiores à 30 metros, representados por relevos com feições de colinas suavemente onduladas, conforme classificação proposta pelo IPT (1981). Esses locais representam 20,97% da BHRV, e em sua maioria são ocupados com lavouras temporárias e/ou criação de bovinos.

As áreas de média rugosidade (Figura 7C), apresentam interflúvios mais curtos, amplitudes das vertentes que excedem 30 metros e declividades entre 5-15%. São áreas com colinas onduladas, nessas porções os processos denudacionais ganham relativa importância, visto que existem mais energia do relevo, quando comparado as classes de área planas e porções pouco rugosas. A área ocupada por essa classe é de 35,06%, são porções utilizadas para agricultura e pecuária, e em algumas seções, mantém conservada uma vegetação arbórea arbustiva.

Nas áreas rugosas, o relevo apresenta-se bem dissecado, são porções onde as declividades predominantes encontram-se superiores a 15% (figura 7D), marcando assim feições relacionadas a morros, morrotes e áreas com escarpas vegetadas. As amplitudes altimétricas podem exceder os 100 metros. Pelo difícil acesso de implementos agrícolas nessas porções, é uma das mais preservadas em termos florísticos e faunísticos da BHRV, dada a proporção de sua área. Essa classe estende-se por 8,32% da BHRV, são áreas principalmente localizadas junto a algumas cabeceiras de drenagem na porção norte da bacia hidrográfica, mas essa classe apresenta-se mais representativa na porção centro-sul da BHRV, marcando alguns vales escarpados que são mantidos pela resistência de rochas ígneas e metamórficas de idade proterozóica de acordo geológico da Wildner et al. (2006).

Os locais em que as formas de relevo, são representadas pela classe altamente rugosa (figura 7 E e F), é marcada por porções com declividades acentuadas, superiores a 30%. São áreas com ocorrência de escarpas e cornijas, configuradas como grandes paredões de rocha desnuda ou com vegetação arbustiva, inserida nas fraturas das rochas, essas áreas apresentam formas típicas de *front* de Cuesta, representadas por formas com sua gênese pautada em processos de erosão diferencial, essa classe ocupa apenas 0,13%. As amplitudes altimétricas ultrapassam os 80 metros, são porções na BHRV, com alto potencial turístico, como consta no trabalho de Caron (2019) em que o valor estético e cênico da Serra do Segredo também possibilita atividades de escalada em rocha e demais esportes de aventura. O uso do termo geoturismo para a realização desse tipo de atividade dá ênfase aos aspectos geológicos e geomorfológicos com atividades voltadas para a educação, conservação e turismo, voltado para os aspectos da geodiversidade (Moreira, 2014). O mapa representando as diferentes formas de relevo mapeadas na bacia hidrográfica do rio Vacacaí, com as classes foram definidas através de um método automático, está representado na figura 6.

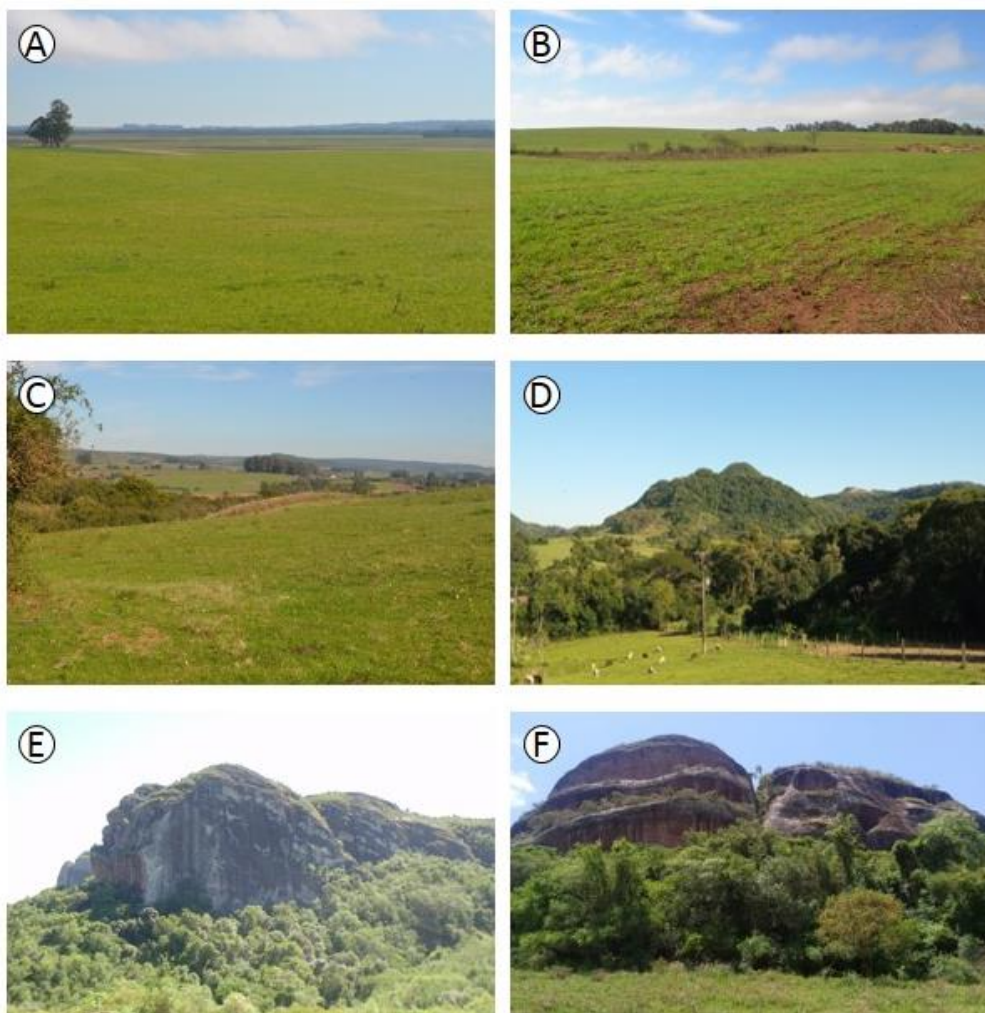


**Figura 6.** Mapa de formas de relevo da bacia hidrográfica.  
**Fonte:** Wildner et al. (2006); Hasenack e Weber (2010); IBGE (2019).  
**Organização:** Autores (2020).

**Tabela 6.** Quantificação das classes de ICR.

| CLASSES                   | ÁREA<br>(km <sup>2</sup> ) | PORCENTAGEM |
|---------------------------|----------------------------|-------------|
| ÁREAS PLANAS              | 3.553                      | 35,49%      |
| ÁREAS POUCO RUGOSAS       | 2.099                      | 20,97%      |
| ÁREAS DE MÉDIA RUGOSIDADE | 3.510                      | 35,06%      |
| ÁREAS RUGOSAS             | 833                        | 8,32%       |
| ÁREAS ALTAMENTE RUGOSAS   | 14                         | 0,13%       |
| <b>TOTAL</b>              | <b>10.009,160</b>          | <b>100%</b> |

**Fonte:** Autores (2020)



**Figura 7.** A bacia hidrográfica do Rio Vacacaí, apresenta uma grande diversidade de formas de relevo, as quais vão desde grandes áreas planas até feições escarpadas que marcam porções festonadas de cuestas. A - áreas planas próximas ao Rio São Sepé; B - colinas suavemente onduladas, com amplos interflúvios e baixa (menos que 30 metros) amplitude altimétrica das vertentes; C - colinas onduladas, nessa unidade de relevo os interflúvios são mais curtos e as amplitudes das vertentes mais acentuadas (superior a 30 metros); D - áreas com morros e vertentes escarpadas com declividades superiores a 15%, nessas áreas a mecanização da agricultura é impossibilitada, dadas as características morfológicas, com isso as áreas florestais, se mantém mais preservadas; E e F - feições ruiformes e relevos testemunhos, são formas com vertentes abruptas e desgastadas de maneira diferenciada, conforme variações na característica da rocha (fotos E e F foram registradas por Ana Paula Kiefer). **Fonte:** trabalhos de campo.

A BHRV ocupa uma área considerável na porção central do RS, mais de 10 mil km<sup>2</sup>, isso reflete em uma grande diversidade de formas de relevo e padrões morfométricos distintos. Essa diversidade de potenciais do meio físico na bacia hidrográfica, abre a necessidade de estudos descritivos que tem como foco conhecer e possibilitar o



planejamento a nível de bacia hidrográfica, dentro desta ótica, Bertolini et al., (2019), comentam que a análise quantitativa de uma bacia hidrográfica, representa os primeiros estudos, os quais buscam averiguar as modificações, que esse espaço passou. A espacialização dos dados morfométricos, auxiliam no entendimento das dinâmicas ambientais da bacia hidrográfica e possibilitam entendimento das formas, processos e materiais do ambiente (BERTOLINI et al., 2019).

Por fim, as variáveis morfométricas, refletem as dinâmicas estruturais e morfoclimáticas (morfoestruturas e morfoesculturas), de um determinado espaço. O estudo morfométrico, garante a espacialização das altitudes, declividades, características da hidrografia e formas do relevo. As técnicas de definição automática das formas de relevo, vem ganhando destaque e evoluindo em termos de agilidade na obtenção dos resultados e acurácia de informações obtidas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos morfométricos marcam uma importante etapa dos estudos ambientais, pois representam a caracterização estatística de um determinado espaço geográfico, no caso apresentado, tem-se a análise de uma bacia hidrográfica a qual representa um ambiente sistêmico, onde as modificações ocasionam quebras no dinamismo e uma constante busca por equilíbrio.

A análise morfométrica, elaborada através de técnicas computacionais, possibilitada pelo geoprocessamento, apresenta um teor quantitativo e descritivo do ambiente, possibilita a aquisição de dados que servem tanto para o planejamento como também de base para outros trabalhos e análises aprofundadas do espaço geográfico.

Com relação aos estudos da hidrografia, as variáveis analisadas possibilitam a descrição das características da rede de drenagem. Os padrões de drenagem predominantes foram o retangular, dendrítico e o paralelo. Essas análises são de grande importância, visto que a drenagem representa, assim como a vertente, a materialização dos fluxos de matéria e energia e como as modificações nesse sistema podem gerar danos irreparáveis.

Quanto ao estudo das altitudes e da inclinação das vertentes, foi visto que há predominância da classe de altitudes que variam entre menor que 100 metros e 100-150 metros, ambas somam 71% da área da bacia. Já no que se refere a inclinação, há predominância das classes que não ultrapassam 15%, somam 93% da área da bacia. Esses dados garantem o entendimento da energia do relevo, bem como a descrição dos ângulos das vertentes. Esses fatores são fundamentais, pois proporcionam a análise das taxas das forças gravitacionais, que interferem na denudação ou deposição de matéria na bacia hidrográfica.

A aplicação de técnicas de mapeamento digital garantiu uma maior dinâmica na definição de unidades e classes de relevo e a aplicação do ICR se mostrou eficiente nessa atividade, onde através da aplicação dessa técnica conseguimos obter cinco classes de relevo, as quais refletem os diferentes graus de rugosidade na BHRV. Com destaque para as três primeiras classes que são caracterizadas por se apresentarem

respectivamente como planas, pouco rugosas e de média rugosidade, com um total de 91,52% da área de toda BHRV.

## REFERÊNCIAS

BERTOLINI, W.; ZANETE, S. C. D.; BOETTCHER, N. Análise Morfométrica da Bacia do Rio Barra Grande–Oeste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Unb, 20.1, p. 3-17, 2019.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T (org.). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Capítulo 6, p. 153-192.

CARON, F. Geoturismo na área de abrangência do COREDE Campanha (metade sul do Rio Grande do Sul, Brasil), parte I: Geomonumentos de interesse turístico. *Revista terra plural*, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 469-495, 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométricas de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, Cidade do México, v.18, n.9, p.35-64,1969.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Editora Blucher, 1988. 188 p.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S.; DIAS, H. C. T. Caracterização morfométrica e Biológica da Bacia Hidrográfica do Córrego Serafim, Sub-Bacia do Rio Paraibuna, Juiz de Fora MG. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 13., Viçosa, MG, Eixo Temático 3 Gestão de bacias hidrográficas e a dinâmica hidrológica. *Editora da Universidade Federal de Viçosa*, 2009. p.1-20.

FLORENZANO, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

FLORES, D. M.; OLIVEIRA, D. Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) para análise de bacias hidrográficas e para traçado de lineamentos estruturais. *Geografia Ensino & Pesquisa*, UFSM, v. 20, n.3, p. 125-139, 2016.

HASENACK, H.; WEBER, E. J. (org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin* v 56, 3. p. 275-370, 1945.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha digital dos limites municipais do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000. 2019.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1 000 000. São Paulo: IPT, 1981.

MEGIATO, E. I.; MOURA, N. S. V. Mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS. *Geografia (Londrina)* v. 28, n.1, p. 151-163, 2019.

MOREIRA, J. C. *Geoturismo e interpretação ambiental*. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2014. p. 157.

PIRAJÁ, R. V.; REZENDE FILHO, A. T. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do córrego ceroula em Mato Grosso do Sul. *Geofronter*, Campo Grande, v. 5, n. 1, p. 35-58, 2019.

ROBAINA, L. E de S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; VERDUM, R.; DE NARDIN, D. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília. v 11. n.2, p. 11-23, 2010.

ROSA, E. P. *Geotecnologias aplicadas à compartimentação geomorfológica do município de São Sepé-RS. Dissertação* (Mestrado em Geografia) - PPGGeo, UFSM, Santa Maria, 2019. 115 f.

ROSS, J. Geomorfologia Aplicada aos EIAs – RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. Capítulo 6, p. (291 – 335).

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v.15 n.1, p. 47-60, 2014.

SANTOS, V. S.; ROBAINA, L. E.; TRENTIN, R. Definição das Unidades de Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari–Oeste do RS. *Geografia Ensino & Pesquisa*, UFSM, Santa Maria. v. 21, n.2, p.197-204, 2017.

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M.; FELIPE, R. S.; KEPEL FILHO, J. L.; FOLADOR, R. M.; COSTA, L. C. Análise do Fator de Segurança da Estabilidade das Vertentes na Bacia do Rio Jacareí, Serra do Mar Paranaense. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v. 13. n. 3, p. 287-297, 2013.

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C. Emprego de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de relevo apoiado em atributos

topográficos e árvore de decisão. *Revista brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v. 15, n. 1, p. 87-101, 2014.

TRENTIN, R. *Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu - no Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil. Tese (doutorado em geografia) Universidade Federal do Paraná – PPGGEO/UFPR, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. 216 f.*

WALTER, P. L. *Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas*. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 1996. p. 256.

WILDNER, W.; RAMGRAG, G. E.; LOPES R. C.; IGLESIAS, C. F. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. 1:750000. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 2006.