



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Uso de atributos topográficos para análise e compartimentação do relevo da bacia hidrográfica do Arroio Inhandiju - Oeste do RS - Brasil

Igor da Silva Knierin - Universidade Federal de Santa Maria – Autor correspondente. E-mail: igorknieri@gmail.com

Romario Trentin - Universidade Federal de Santa Maria

Luís Eduardo de Souza Robaina - Universidade Federal de Santa Maria

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

A partir da disponibilidade de bases topográficas em formato digital associadas às técnicas de Geoprocessamento agregadas e processadas com o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível o estudo das formas de relevo por meio de novos métodos automatizados com a extração, tratamento e integração de dados topográficos. Com base nisso, este trabalho apresenta como objetivo o zoneamento e análise de unidades de relevo para a Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju, Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Usa como base atributos topográficos digitais integrados ao SIG como ferramenta para compartimentação e análise da área. Para a elaboração do trabalho, foi realizado o levantamento bibliográfico seguido da compilação de mapas temáticos elaborados no ArcGIS® 10.2.2 tendo como base dados topográficos digitais do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Dessa forma foi possível analisar os atributos de relevo da área de estudo através da declividade, hipsometria, amplitude altimétrica, comprimento de vertentes e curvatura das vertentes. A partir da síntese destes dados foi realizado o zoneamento de cinco unidades de relevo para a área definidas em: Áreas Planas Associadas aos Cursos d'Água, Colinas de Altitude, Colinas Onduladas, Morrotes Isolados e Associação de Morros e Morrotes. A definição de unidades possibilitou identificar áreas com características mínimas de heterogeneidade quanto aos seus atributos morfométricos e morfológicos. Por fim, a classificação subsidiada através da utilização do SIG com dados SRTM demonstrou-se eficaz, com resultados obtidos de maneira rápida e que correspondem ao que foi observado nos trabalhos de campo.

Palavras-Chave: Formas de relevo. Morfometria. SIG. Atributos topográficos. Zoneamento.

Using topographic attributes for analysis and partitioning of the relief of the watershed Inhandiju - West RS - Brazil

ABSTRACT

The availability of topographic bases in digital format, aggregated and processed with the use of Geographic Information Systems (GIS), is possible the study of landforms through new automated methods with the extraction, treatment and integration of topographic data. Based on this, this paper had the objective zoning and analysis of relief units for the watershed of Inhandiju stream, West of the Rio Grande do Sul, Brazil. Used digital topographic attributes integrated with GIS as a tool for partitioning and analysis of the area. In preparing the study was conducted the literature review followed by the compilation of elaborate thematic maps in ArcGIS® 10.2.2 on data from the Shuttle Radar Topographic Mission project (SRTM). Thus it was possible to analyze the major attributes of the study area through of attributes as the slope, hypsometry, altimetry amplitude, length of slopes, plan and profile of the curvature of the slopes. From the synthesis of data was performed zoning five relief units to the area defined in: Flat Areas associated with watercourses, Altitude Hills, rolling Hills, Buttes isolated, Association of Hills and Buttes. The definition of units allowed to identify areas with minimal features of heterogeneity regarding their morphometric and morphological variables. Finally, the classification subsidized by the use of SRTM with GIS was shown to be effective with results obtained quickly and correspond to what has been observed in the field.

Keywords: Relief forms. Morphometry. GIS. Topographic attributes. Zoning.

Introdução

O relevo, em suas mais diversas formas, reflete a atuação dos processos endógenos associados a rebaixamentos e soerguimentos de origem tectomagmática e da atuação dos processos exógenos controlados principalmente pelos rios, chuvas e os ventos.

Para Soares e Fiori (1978), os elementos fundamentais na análise do relevo denotam-se nas rupturas de declive e na estrutura do relevo que examinadas de forma combinada, permitem definir e caracterizar diferentes zonas homólogas. Desse modo, o relevo insere-se como um dos principais definidores para unidades ambientais, de modo que sua compartimentação se apresenta frequentemente com uma estreita relação quanto à distribuição dos demais atributos de gênese da paisagem (Rezende e Salgado, 2011).

Através da disponibilidade crescente de bases topográficas digitais associadas ao desenvolvimento de métodos de Geoprocessamento automáticos com a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a análise do relevo torna-se possível a partir da extração de variáveis topográficas com posterior tratamento e integração desses dados em ambiente computacional (Valeriano, 2003).

Nesse sentido, Vasconcelos et al. (2012) apresentam dentre os atributos utilizados na classificação do terreno, a altimetria e seus produtos derivados como as declividades e as curvaturas. Para os autores, a altimetria caracteriza-se por constituir uma superfície suavizada, onde evidenciam-se fragmentos homogêneos relativamente maiores que as declividades e curvaturas. Já as declividades representam uma taxa de variação espacial da altimetria que permitem salientar quebras no relevo, enquanto que as curvaturas apresentam uma taxa de variação espacial da declividade evidenciando um detalhamento destas informações.

Com base nisso, a descrição numérica da superfície torna-se uma fonte de informação cada vez mais confiável permitindo a estimativa de diversos fenômenos, como por exemplo: hidrogramas de bacias, erosão de solos, movimentos de massa, fluxos d'água, entre outros (Vasconcelos et al., 2012).

A partir dos Sistemas de Informações Geográficas, a obtenção dos atributos do relevo passou a ser um procedimento de mais fácil acesso, com a parametrização da morfologia do relevo representando o processo de extração de atributos quantitativos por meio da topografia. Conforme Muñoz (2009), é possível descrever de

forma quantitativa as formas da superfície da Terra através de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica.

Na região Oeste do Rio Grande do Sul o trabalho de compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Itu (Trentin et al., 2015) utiliza o zoneamento do relevo, empregando quatro atributos topográficos: elevação, plano e perfil de curvatura e declividade, cujas variáveis são derivadas de um Modelo Digital de Elevação (MDE). A classificação é realizada a partir do cruzamento dos atributos gerados por meio de SIG e hierarquizados através de uma árvore de decisão.

Em Guasselli (2012), é realizado o processamento de dados geomorfométricos a partir de atributos topográficos com apoio de SIG, para analisar áreas com processos de arenização em bacias hidrográficas situadas no Oeste e Sudoeste do RS. Através disso, é obtido a classificação de formas de vertentes em terrenos com ocorrência de areais.

Por fim, em Scoti et al. (2015), são definidas unidades de relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada (Sudoeste do RS) através de uma classificação baseada em dados morfométricos derivados da topografia a partir da análise da hipsometria, declividade, comprimento de vertentes e formas de vertentes oriundos de informações vetoriais e matriciais interpoladas com SIG.

Inserido nesse contexto, no Rio Grande do Sul, para as regiões Sudoeste e Oeste, o tema de degradação dos solos reveste-se de importância na medida em que o estudo destas áreas degradadas vem ao encontro de uma das mais significativas preocupações ecológicas no Estado. Informações e dados sobre o relevo, na região, são fundamentais para o entendimento do desenvolvimento dos processos erosivos de voçorocas e a formação de núcleos de arenização.

Dessa forma, este trabalho apresenta como objetivo realizar o zoneamento de unidades de relevo para a Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS (BHAJ), localizada no Oeste do RS, através da análise conjunta de parâmetros morfométricos de hipsometria, declividade, amplitude, comprimento e do perfil e plano de curvatura de vertentes com suas formas. Para isso, baseando-se em atributos topográficos obtidos através de um Modelo Digital de Elevação oriundo a imagens de radar do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) analisadas e processadas com o suporte de Sistema de Informação Geográfica para parametrização do relevo.

Material e métodos

A área de estudo localiza-se no município de São Francisco de Assis, Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil, entre as coordenadas geográficas - 29°23'40" a -29°39'30" de Latitude Sul e - 54°49'30" a -54°59'45" de Longitude Oeste, de acordo com a Figura 1. A bacia hidrográfica é afluente da margem direita do rio Jaguari - RS, situada na faixa de transição entre o Planalto das Missões e a Depressão do Ibicuí (Robaina et al., 2010).

Os procedimentos metodológicos para o trabalho iniciaram com levantamento bibliográfico e compilação de mapas temáticos acerca da área de estudo. Os dados obtidos foram

validados por trabalhos de campo, através de perfis realizados seguindo estradas e caminhos na bacia hidrográfica, onde foram coletados pontos de controle com auxílio de GPS (Garmin 62Sx) e observada a configuração morfológica da área.

Para realização dos mapeamentos foi utilizado como ferramenta o ArcGIS® 10.2.2 desenvolvido pela ESRI, sendo adotado como base cartográfica a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul, organizada por Hasenack e Weber (2010), em escala 1:50.000 e imagens de radar do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 m.

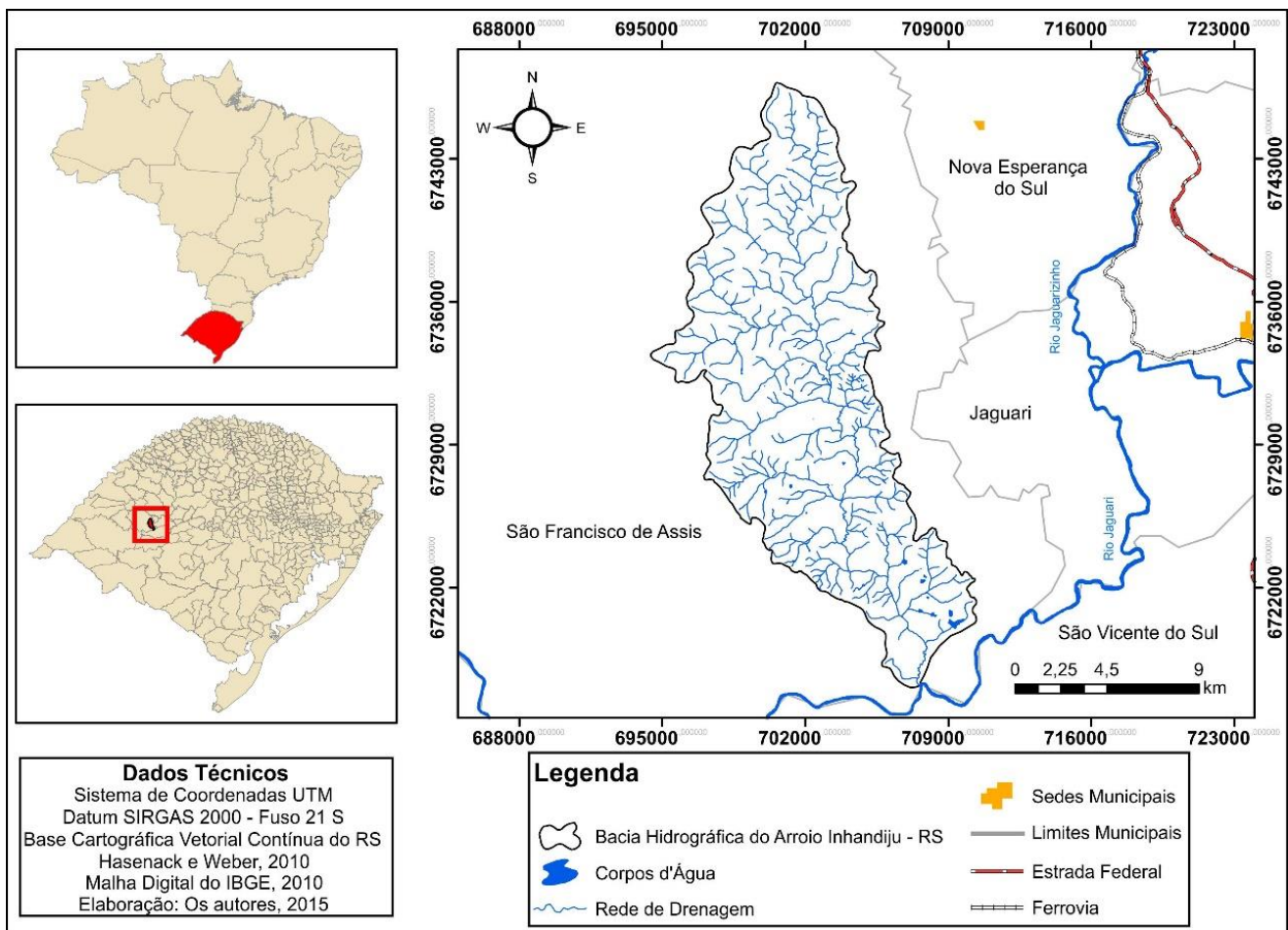


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Além da identificação das formas de relevo, a compartimentação da área de estudo levou em conta a altitude média de 200 m que marca a quebra do relevo formando escarpas e as vertentes foram descritas com base nas declividades, amplitudes, comprimentos e do perfil e do plano de curvatura com as formas das vertentes.

Para o zoneamento das formas de relevo, adaptou-se a proposta de classificação apresentada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a classificação das formas de relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Fonte: Adaptado do IPT (1981).

Formas de Relevo	Altitudes	Declividades	Amplitude Altimétrica
Áreas Planas	< 200 m	< 2%	< 100 m
Colinas Onduladas	< 200 m	2 - 15%	< 100 m
Colinas de Altitude	> 200 m	2 - 15%	< 100 m
Morrotes	> 200 m	> 15%	< 100 m
Morros	> 200 m	> 15%	> 100 m

A análise da área de estudo foi realizada a partir da compartimentação da bacia hidrográfica em três setores, o alto, médio e baixo curso. Para isso, foi utilizado como parâmetro a hierarquia da rede de drenagem, de acordo com a classificação de Strahler (1952 apud Christofletti, 1974), setorizando os compartimentos da seguinte forma: alto curso) área de drenagem situada a montante da 5ª ordem de drenagem; médio curso) área de drenagem localizada a jusante do alto curso, delimitada a partir da confluência do segmento de canal principal em 5ª ordem e do segmento de canal de 4ª ordem; baixo curso) área de drenagem situada a jusante do médio curso até a foz da bacia hidrográfica com o rio Jaguarí - RS.

A análise do padrão de drenagem seguiu as observações de Christofletti (1974), em que são representados o arranjo espacial dos cursos fluviais mediante a influência de fatores como atividade morfogenética, disposição das camadas rochosas, resistência das litologias, diferenças de declividades do terreno e evolução geomorfológica da região.

Para a análise da densidade de drenagem (Dd) aplicou-se as proposições de Villela e Mattos (1975), em que é representada a relação do comprimento total dos canais fluviais frente à área total da bacia hidrográfica, conforme a Equação 1. Para Villela e Mattos (1975), valores de densidade de drenagem inferiores a 0,5 km/km², referem-se a bacias com densidades de drenagem pobres, já valores de densidade de drenagem superiores a 3,5 km/km² estabelecem bacias hidrográficas excepcionalmente bem drenadas.

$$Dd = Lt/A \quad (1)$$

Dd: densidade de drenagem;

Lt: comprimento total dos canais;

A: área total da bacia hidrográfica.

Para a análise da hipsometria da área de estudo, foram definidas quatro classes com intervalos de 100 m: altitudes inferiores 100 m, altitudes entre 100 e 200 m, altitudes entre 200 e 300 m e altitudes superiores a 300 m. Para a elaboração do mapa, foi utilizado como base topográfica a imagem de radar SRTM com

resolução espacial de 30 m. A base digital, foi classificada de acordo com as classes altimétricas estipuladas e o arquivo foi reclassificado a partir da ferramenta *Reclassify*, disponível no ArcGIS® 10.2.2. Posteriormente a isso, o produto final deste processo foi transformado para o modelo vetorial através da ferramenta *Raster to polygon* do ArcGIS® 10.2.2. Por fim as áreas das classes foram quantificadas em quilômetros quadrados (km²) e em valores percentuais (%) para melhor análise.

Para o estudo das declividades do relevo, foram utilizados três limites de declividades em: 2%, 5% e 15% que estão associados ao desenvolvimento de processos superficiais. O limite de 2% indica áreas planas suscetíveis à deposição aluvial, o limite de 5% relaciona-se ao início de processos erosivos e o de 15% como limite ao uso e ocupação da terra com utilização de máquinas agrícolas (Trentin, 2011). O mapa foi elaborado com a ferramenta *Slope*, do ArcGIS® 10.2.2, tendo como base topográfica a imagem de radar SRTM com resolução espacial de 30 m. O produto resultante deste procedimento foi reclassificado através da ferramenta *Reclassify*, do ArcGIS® 10.2.2. Ao final deste processo o arquivo foi transformado para o modelo vetorial com a ferramenta *Raster to polygon* do ArcGIS® 10.2.2 e quantificado suas áreas em quilômetros quadrados (km²) e em valores percentuais (%).

A análise das amplitudes altimétricas e dos comprimentos das vertentes da bacia hidrográfica foi realizada a partir da elaboração e análise de perfis topográficos, através do ArcGIS® 10.2.2, no módulo *3D Analyst*, com as ferramentas *Interpolate Line* e *Profile Graph*, tendo como base a imagem de radar SRTM com resolução espacial de 30 m. Quatro destes perfis, mais representativos, foram organizados no *software* CorelDRAW X5, desenvolvido pela Corel Inc., para o *layout* final dos mesmos e, foram utilizados para caracterização visual das amplitudes e comprimentos das vertentes da bacia hidrográfica.

A análise das vertentes através do perfil e plano de curvatura foi realizada a partir da imagem de radar SRTM, com resolução espacial de 30 m, associada com o uso da ferramenta *Curvature*, disponível no ArcGIS® 10.2.2. Este

processo resultou como produto dois arquivos, o perfil e o plano de curvatura.

Com relação ao plano de curvatura as vertentes foram classificadas em convergentes, planar e divergentes com valores definidos através da análise do histograma de frequência, conforme a Figura 2. As vertentes convergentes apresentam valores estabelecidos em limites negativos até -0,03 no histograma de frequência. As vertentes de

curvatura planar foram consideradas a partir de valores definidos no intervalo de -0,03 até 0,03, visto que, vertentes com valores nulos (0,00) são muito raras na natureza, assim foram adotados valores pertencentes a um intervalo de tolerância na vizinhança desse valor. Por fim, as vertentes com plano de curvatura divergentes foram definidas no histograma de frequência a partir dos valores positivos superiores a 0,03.

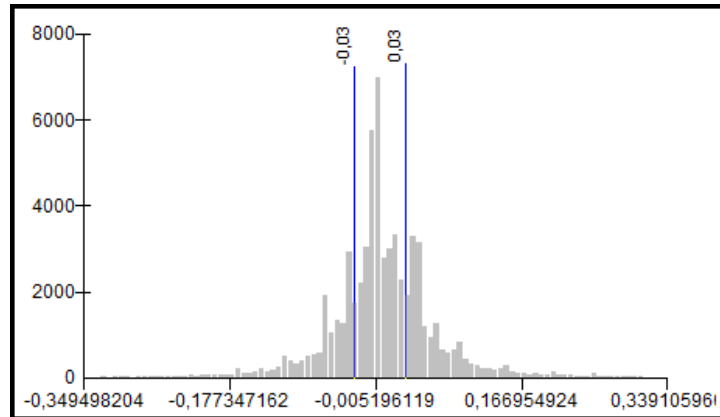


Figura 2. Valores estabelecidos no histograma de frequência para a definição do plano de curvatura das vertentes da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Quanto ao perfil de curvatura as vertentes foram classificadas através da análise do histograma de frequência definindo valores negativos (menor que 0,00) para vertentes

convexas e valores positivos (maior que 0,00) para vertentes côncavas, de acordo com a Figura 3.

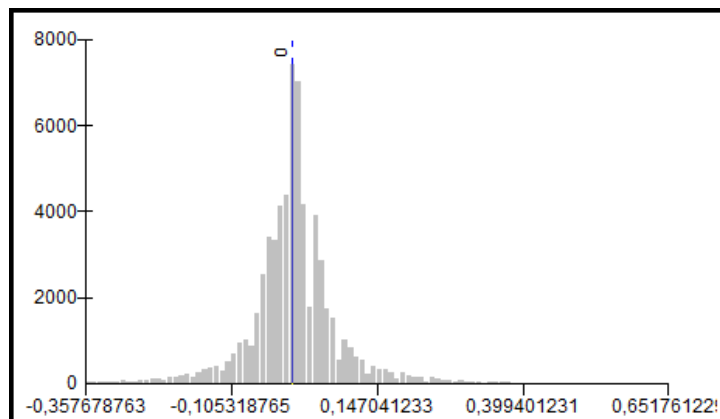


Figura 3. Valores estabelecidos no histograma de frequência para a definição do perfil de curvatura das vertentes da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

A partir da ferramenta *Reclassify*, disponível no ArcGIS® 10.2.2 foram reclassificados os arquivos gerados no processo anterior, ou seja, o perfil e o plano de curvatura. Em sequência, com a ferramenta *Combine* do ArcGIS® 10.2.2, foi realizado a combinação entre as curvaturas, permitindo dessa forma, a identificação de seis classes para as curvaturas das vertentes da bacia hidrográfica. No final deste processo os arquivos foram convertidos para o modelo vetorial, através da ferramenta *Raster to polygon*, do ArcGIS®

10.2.2, possibilitando dessa forma a quantificação das classes em quilômetros quadrados (km²) e em valores percentuais (%).

Resultados e discussão

Análise da Rede de Drenagem

A Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS apresenta área total de drenagem de 203,50 km², com perímetro de 87,69 km. O curso principal da bacia possui orientação predominante com sentido Norte-Sul, e apresenta extensão de 39,05 km

partindo-se na nascente mais distante até sua foz no rio Jaguari - RS.

A rede de drenagem da bacia hidrográfica se estabelece em 5º ordem de drenagem, conforme a proposta de hierarquização de Strahler (1952 apud Christofletti, 1974), sendo composta por 332 segmentos de canais fluviais, que juntos somam ao comprimento total de 351,86 km.

Com base na distribuição espacial dos canais fluviais e os aspectos físicos da área, a bacia apresenta padrão de drenagem predominantemente retangular-dendrítico devido aos cursos fluviais estabelecerem escoamento superficial de forma encaixada à estrutura dos planos de fratura ou fraqueza do substrato geológico, conduzindo ao controle estrutural das drenagens (Christofletti, 1974).

A densidade de drenagem apresenta valor de 1,73 km/km², indicando uma capacidade média para gênese de novos canais fluviais (Vilela e Mattos, 1975). Este parâmetro denota-se com relação direta quanto ao substrato litológico, solos, cobertura vegetal e às diferentes declividades do relevo.

Com base na hierarquia da rede de drenagem, a bacia foi compartimentada em três setores, alto, médio e baixo curso, de modo a individualizar as análises na área de estudo (Figura 4).

O alto curso, situado na porção Norte da bacia, cobre 84,87 km², com perímetro de 47,43 km, equivalendo a 41,71% da área total da bacia. Este

setor apresenta rede de drenagem com hierarquia de 4º ordem, somando 109 segmentos de canais fluviais, os quais apresentam comprimento total de 133,15 km. Sua densidade de drenagem apresenta-se com um valor médio, em 1,57 km/km². Uma importante característica é a ocorrência de cabeceiras de drenagem com formas semicirculares e um controle estrutural dos canais de drenagem.

O médio curso apresenta área de 68,67 km² e soma o perímetro de 39,18 km, representando 33,74% da área da bacia. A drenagem no setor é de 5º ordem, a qual soma 142 segmentos de canais fluviais, totalizando o comprimento total de 128,83 km. Sua densidade de drenagem apresenta valor de 1,88 km/km², o que se relaciona a ocorrência de mais afluentes que desaguam junto ao canal principal da bacia, e também as declividades da área, onde observa-se um relevo marcado por menores declividades, refletindo com isso, na diminuição da velocidade do escoamento dos fluxos.

Por fim, o baixo curso, setor situado na porção Sul da área de estudo, cobre área total de 49,96 km², com perímetro de 35,13 km, compreendendo 24,55% da área da bacia hidrográfica. Neste setor, a rede de drenagem apresenta-se em 5º ordem, somando 82 segmentos de canais fluviais, com um comprimento total de 89,88 km e, com densidade de drenagem de 1,80 km/km².

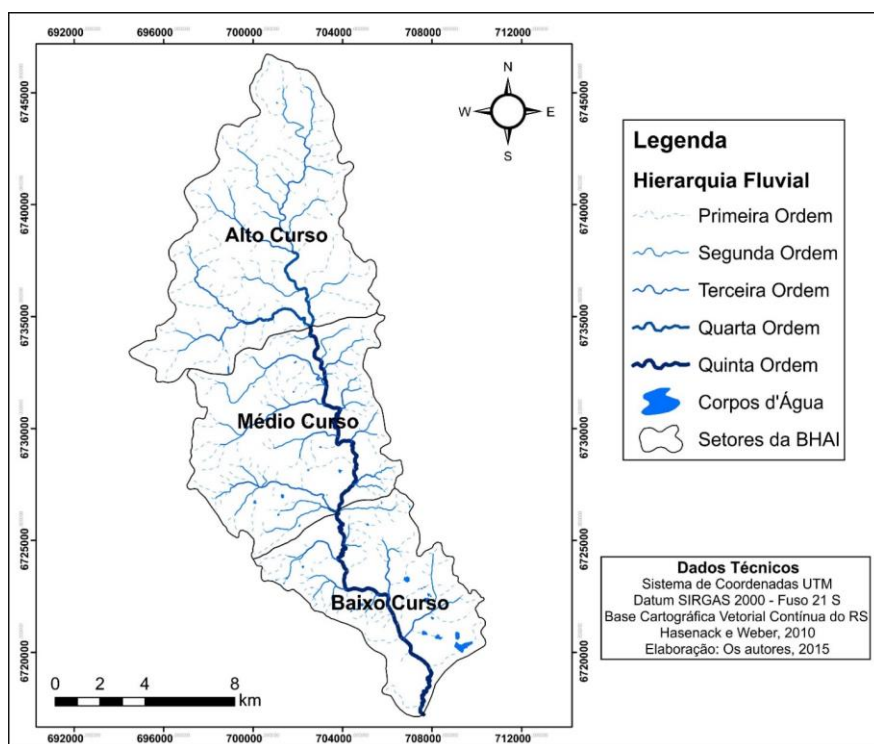


Figura 4. Mapa da Rede de Drenagem e dos Setores da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

A partir da Tabela 2, podem ser analisados e comparados os principais parâmetros morfométricos utilizados na caracterização da

rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Tabela 2. Parâmetros morfométricos da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Área de Análise	A	P	L	Lt	Dd
Alto curso	84,87 km ²	47,43 km	109	133,15 km	1,57 km/km ²
Médio curso	68,67 km ²	39,18 km	142	128,83 km	1,88 km/km ²
Baixo curso	49,96 km ²	35,13 km	82	89,88 km	1,80 km/km ²
Bacia Hidrográfica	203,50 km ²	87,69 km	332	351,86 km	1,73 km/km ²

Legenda: Área de drenagem (A), Perímetro (P), Número total de canais (L), Comprimento total de canais (Lt), Densidade de drenagem (Dd).

Hipsometria

A menor cota altimétrica na Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS é de 74 m localizada no baixo curso, porção Sul da área de estudo, junto a sua foz no rio Jaguari - RS. A cota máxima é de 444 metros localizada no alto curso, ao Norte da área, estabelecendo a partir disso, amplitude altimétrica de 370 m.

Para a bacia hidrográfica, foram estabelecidas quatro classes hipsométricas, com intervalos de 100 m, definidas em: altitudes inferiores a 100 metros, altitudes que variam de 100 a 200 m, altitudes que variam de 200 a 300 m e altitudes superiores aos 300 m. Na Figura 5 é apresentado o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica e na Tabela 3 a quantificação das áreas correspondentes às classes.

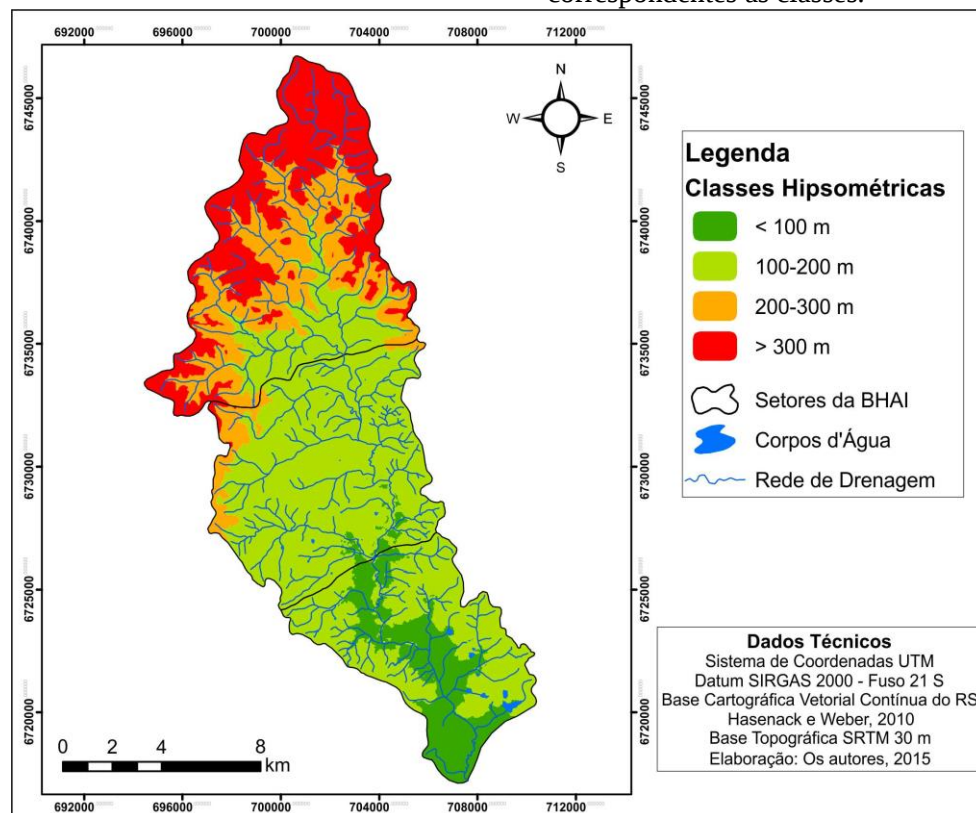


Figura 5. Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Tabela 3. Área (km² e %) das classes hipsométricas da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Classes Hipsométricas	Área (km ²)	Área (%)
Menor que 100 m	21,49	10,56
100-200 m	109,00	53,56
200-300 m	34,79	17,10
Maior que 300 m	38,22	18,78

A classe hipsométrica de altitudes inferiores a 100 m situa-se associada à rede de drenagem da bacia hidrográfica e também às planícies de inundação, localizando-se, no médio e baixo curso. Esta classe cobre área de 21,49 km² o que representa a 10,56% da área da bacia.

A classe hipsométrica distribuída entre as cotas altimétricas que variam entre 100 e 200 m apresenta-se espacializada no alto, médio e baixo curso da bacia. Esta classe é a que apresenta maior área, distribuindo-se em 109,00 km², correspondendo a 53,56% da bacia e sua altitude máxima marca o limite das áreas de depressão, representadas conforme Robaina et al. (2010), pela Depressão do Ibicuí.

Com face à classe, distribuída nas cotas altimétricas que variam entre 200 e 300 m, apresenta-se localizada no alto curso e com pequena porção no médio curso a Oeste e Leste. Esta classe cobre área de 34,79 km², equivalendo a 17,10% da área da bacia, a qual pode-se destacar associada à ocorrência de cabeceiras de drenagem do médio e alto curso da bacia em um relevo fortemente ondulado, que marcam o início do Planalto das Missões, de acordo com Robaina et al. (2010).

As elevações superiores a 300 metros encontram-se distribuídas no alto curso, em porções a Leste, Oeste e Norte da bacia e em pequeno fragmento a Oeste do médio curso. Esta classe cobre área igual a 38,22 km², o que equivale a 18,78% da área de estudo. Nestes locais se estabelecem as maiores altitudes da bacia, o qual relacionam-se aos limites topográficos da área de estudo frente aos pontos divisores d'água do terreno e cabeceiras de drenagem.

Declividade das Vertentes

A análise das declividades permite avaliar a inclinação das vertentes, o que representa um importante parâmetro para a identificação dos limites e potencialidades da área associando aos processos de dinâmica superficial como, por exemplo, de erosão e deposição.

Para a Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS foram definidas quatro classes de declividades: menores 2%, entre 2 e 5%, entre 5 e 15% e superiores a 15%. No mapa da Figura 6 estão especializadas as classes de declividade e os perfis topográficos A-A', B-B', C-C' e D-D' para a bacia hidrográfica e na Tabela 4 apresenta-se as áreas que as classes de declividade cobrem.

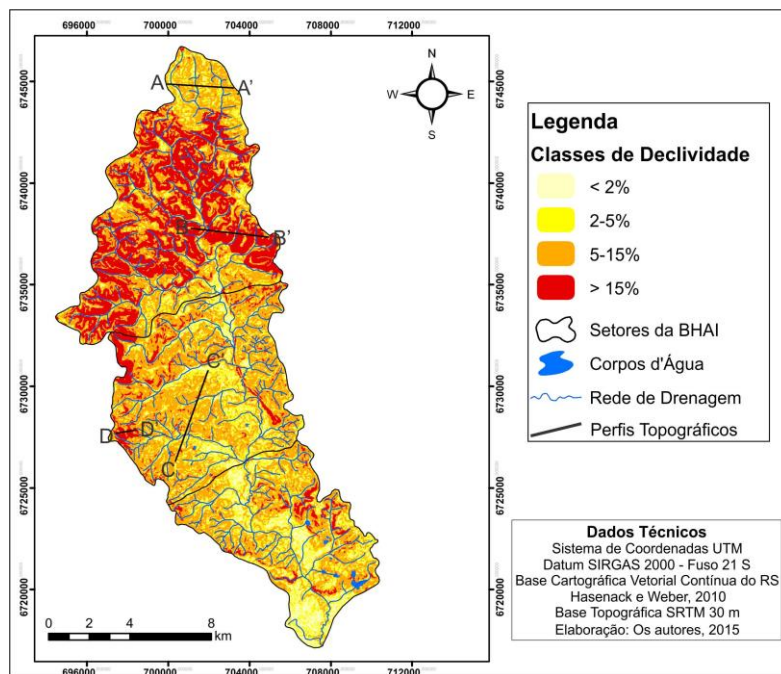


Figura 6. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Tabela 4. Área (km² e %) das classes de declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Classes de Declividade	Área (km ²)	Área (%)
Menor que 2%	16,91	8,31
2-5%	43,94	21,59
5-15%	97,09	47,71
Maior que 15%	45,56	22,39

As declividades inferiores a 2% cobrem 16,91 km², o que compreende em 8,31% da área total da bacia hidrográfica. Esta classe apresenta-se distribuída nas porções Sul, Sudeste, Centro e Norte da área da bacia, em seus três setores, e ocorre principalmente associada às drenagens ou em áreas de topo de vertentes. Quando associadas às drenagens, estes locais caracterizam-se por serem áreas planas onde ocorrem processos de acumulação de sedimentos fluviais e também por representarem áreas mais suscetíveis a inundações, junto às planícies, decorrentes do extravasamento das águas dos leitos fluviais.

As declividades com variação entre 2% e 5% distribuem-se em 43,94 km², equivalendo a 21,59% da área total da bacia hidrográfica. Esta classe encontra-se principalmente no médio e alto curso da bacia, as quais correspondem às áreas de vertentes levemente onduladas.

Para as declividades distribuídas entre os 5% e 15%, situam-se em área de 97,09 km², representando 47,71% da área de estudo, distribuídas no alto, médio e baixo curso da bacia hidrográfica. Nesta classe, ocorre um relevo ondulado, onde representam as áreas limítrofes para o uso de maquinário agrícola.

Por fim, a classe de declividades superiores a 15% apresenta-se em área de 45,56 km², o que

corresponde a 22,39% da área total da bacia hidrográfica, ocorrendo principalmente no alto curso, mas também em porção concentrada a Oeste do médio curso e em pequenas continuidades junto ao médio e baixo curso. Esta classe associa-se a um relevo em geral ondulado a fortemente ondulado, com formas íngremes e escarpadas, apresentando vales encaixados, nos quais ocorrem áreas de nascentes de cursos d'água no alto curso e também associando-se à linhas de quebra no terreno, com cornijas, no médio e baixo curso.

Amplitude e Comprimento de Vertentes

As amplitudes altimétricas e os comprimentos das vertentes da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS, podem ser observadas a partir de uma série de quatro perfis topográficos (A-A', B-B', C-C' e D-D') representativos, localizados na área da bacia de acordo com a Figura 6.

No perfil A-A' (Figura 7), observa-se o recorte transversal de vertentes situadas no extremo Norte da bacia hidrográfica, no alto curso, com orientação no sentido Noroeste-Sudeste em altitudes superiores a 400 m. Nesta área o relevo apresenta-se em vertentes levemente onduladas, com amplitudes altimétricas entre 15 a 25 m e comprimentos de até 600 m.

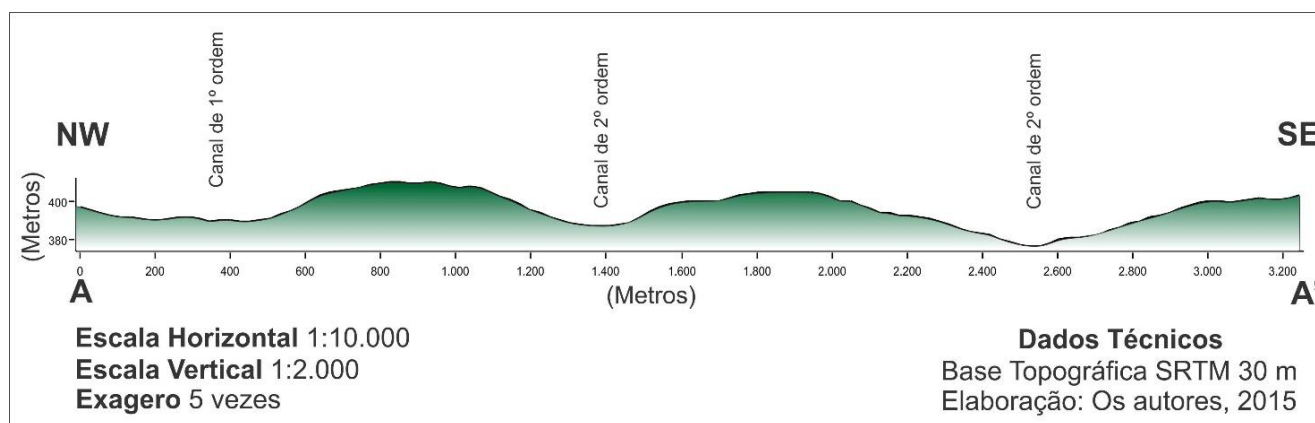


Figura 7. Perfil topográfico A-A' caracterizando área de colinas levemente onduladas no alto curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Na área identificada pelo Perfil B-B' (Figura 8), localizado na porção Centro-Norte da bacia, no alto curso, apresenta-se o recorte transversal do terreno com orientação no sentido Noroeste-Sudeste, com altitudes que ultrapassam os 320 m. Neste perfil, observa-se um relevo fortemente ondulado, marcado por vertentes íngremes e

escarpadas, com vales encaixados, em forma de "V" associados aos fundos de vale em segmentos fluviais de drenagem de 1º e 4º ordem. As vertentes possuem amplitudes altimétricas elevadas, variando dos 100 aos 150 m, com comprimentos de até 600 m marcando um relevo de associação de morros e morrotes.

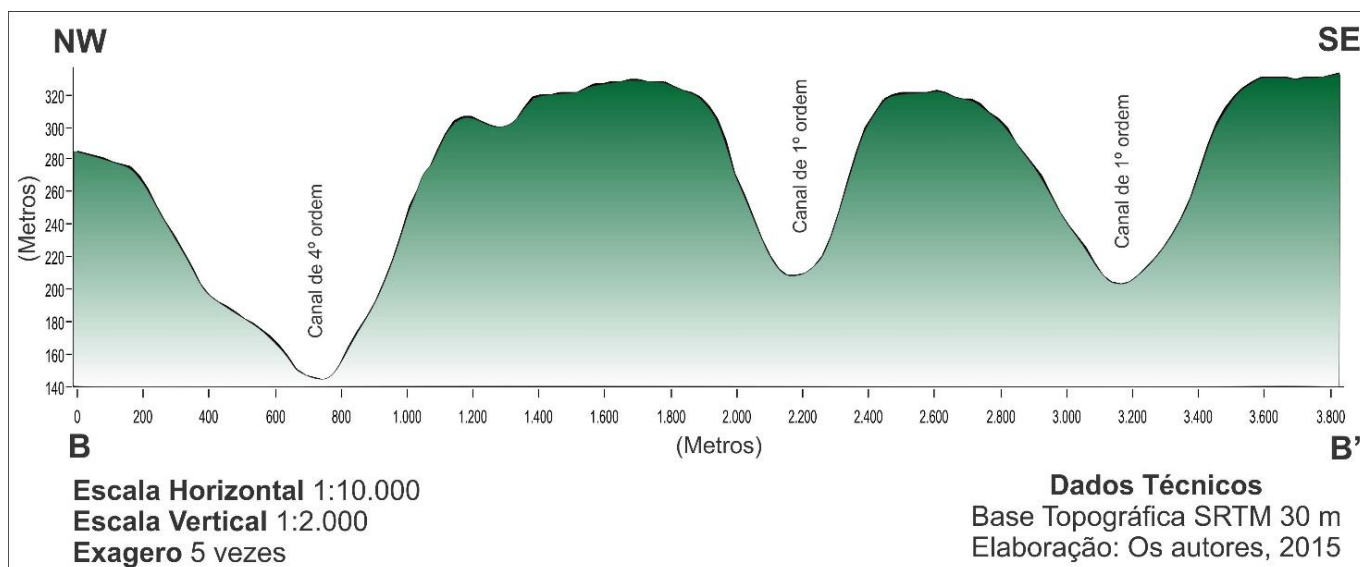


Figura 8. Perfil topográfico B-B' caracterizando área de associação de morros e morrotes no alto curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

A área, situada no médio curso da bacia, representada pelo perfil topográfico C-C' (Figura 9), apresenta o recorte transversal de seção de interflúvio e fundo de vale com orientação de Sudoeste-Nordeste na bacia hidrográfica, com

altitudes que não ultrapassam os 160 m. O relevo neste perfil é ondulado, com vertentes que apresentam amplitudes altimétricas que variam de 25 a 40 m e comprimentos aproximados de 600 a 1.000 m.

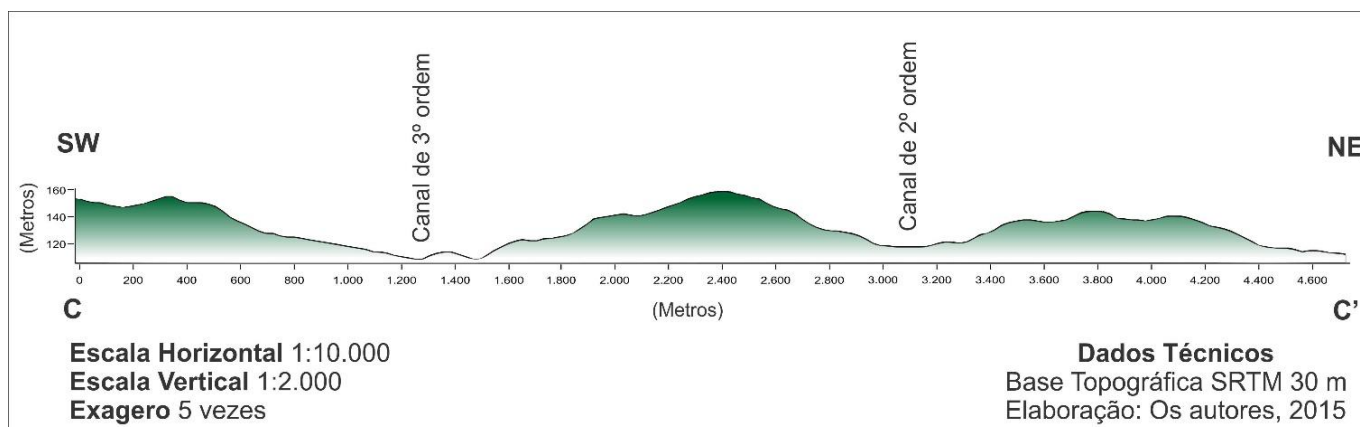


Figura 9. Perfil topográfico C-C' caracterizando área de colinas onduladas no médio curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Na porção Oeste, no médio curso, representada pelo perfil D-D' (Figura 10), com orientação Sudoeste-Nordeste, em altitudes um pouco superiores a 260 m, está apresentado o recorte

transversal de dois morrotes, os quais denotam amplitudes altimétricas de 30 a 50 m aproximadamente e comprimentos de até 250 m.

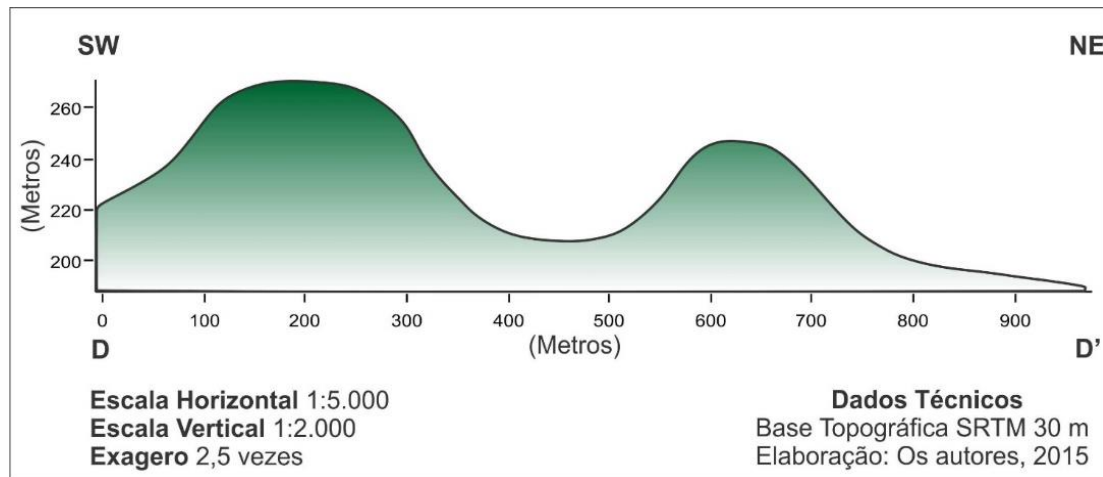


Figura 10. Perfil topográfico D-D' caracterizando área de dois morrotes no médio curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Curvatura das Vertentes

O perfil e o plano de curvatura são indicativos de como ocorrem os fluxos nas vertentes, os quais associam-se as propriedades hidrológicas e de transporte de materiais. Enquanto o primeiro refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil, o segundo confere o caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno analisado em uma projeção horizontal (Valeriano, 2008).

A combinação destes parâmetros possibilita a definição das formas das vertentes, conforme Huggett (1975) apresenta na determinação dos

modelos de vertentes, com a indicação das direções dos fluxos d'água nas vertentes.

O produto da combinação das curvaturas das vertentes para a Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS, resultou em seis classes, sendo elas: convexo-planar, convexo-divergente, convexo-convergente, côncavo-planar, côncavo-divergente e côncavo-convergente. A partir do mapa da Figura 11 e da Tabela 5 pode ser analisado a espacialização das classes de curvatura das vertentes e as áreas que as mesmas representam na bacia hidrográfica.

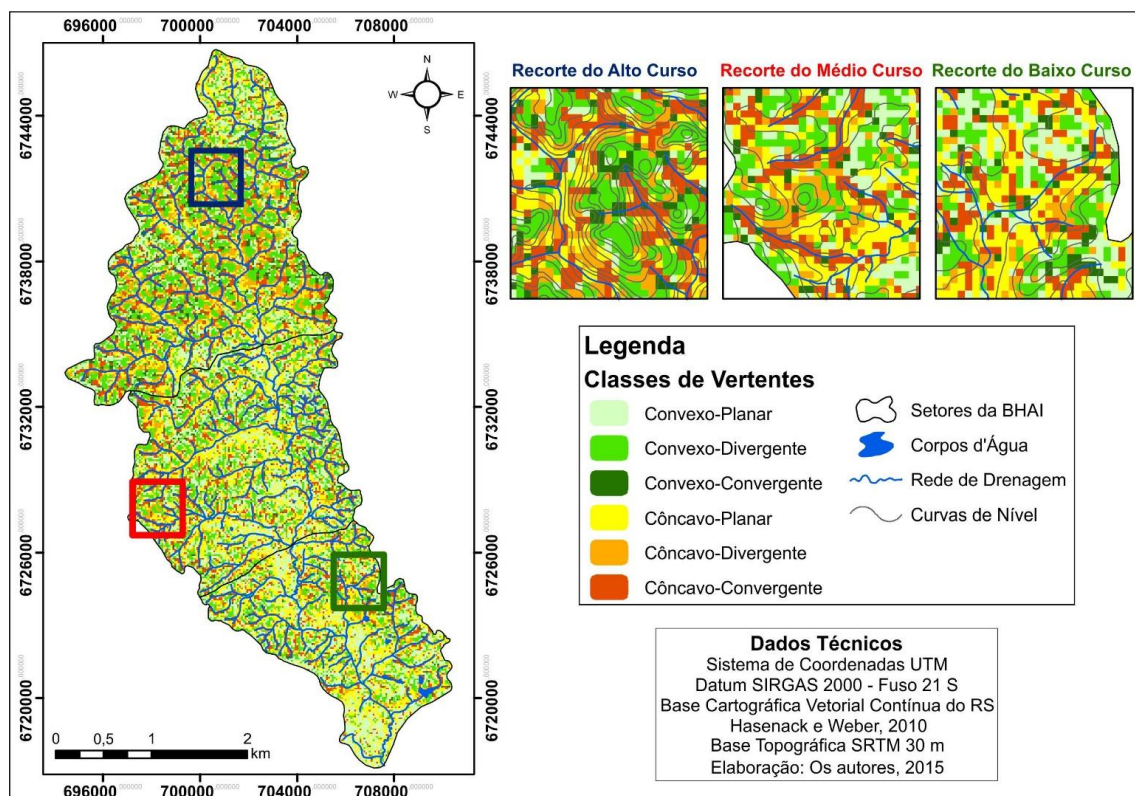


Figura 11. Mapa de Curvatura das Vertentes da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Tabela 5. Área (km² e %) das classes de curvatura das vertentes da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Classes de Vertentes	Área (km ²)	Área (%)
Convexo-Planar	45,16	22,19
Convexo-Divergente	41,43	20,36
Convexo-Convergente	12,21	6,00
Côncavo-Planar	53,46	26,27
Côncavo-Divergente	16,46	8,09
Côncavo-Convergente	34,78	17,09

A classe convexo-planar cobre área de 45,16 km², o que representa 22,19% da área de estudo, ocorrendo em extensas áreas no médio e baixo curso e com menor abrangência no alto curso. Esta classe representa as porções de topo até as médias vertentes, a qual caracteriza-se por formas de relevo plano associando-se às áreas de colinas ou então de planícies com ocorrência de processos de escoamento areolares.

A classe convexo-divergente cobre área de 41,43 km², o que equivale a 20,36% da área da bacia, estando distribuída com maior abrangência no alto curso, devido às formas de relevo mais onduladas e, em menor magnitude no médio e baixo curso. Esta classe ocorre no terço superior a médio das vertentes, caracterizando-se pelo aumento da energia de fluxo, ocorrendo menor infiltração nesse segmento da vertente e com a máxima dispersão dos fluxos devido ao plano divergente.

A classe convexo-convergente ocorre em área de 12,21 km², sendo 6% da área de estudo distribuída nos três setores da bacia hidrográfica. Esta classe representa o terço superior a médio das vertentes, onde ocorre maior energia dos fluxos superficiais, associados à concentração do escoamento.

A classe côncavo-planar apresenta-se distribuída em área de 53,46 km², o que equivale a 26,27% da área da bacia, principalmente no médio e baixo curso e em menor abrangência no alto curso. Esta classe encontra-se principalmente associada aos cursos fluviais da bacia hidrográfica, marcando áreas de planície e do leito fluvial ou ainda em áreas de relevo plano.

A classe côncavo-divergente distribui-se em 16,46 km², equivalendo a 8,09% da área de estudo, ocorrendo com maior predominância no alto curso e com menor expressão no médio e baixo curso. Esta classe ocorre no terço médio inferior das vertentes caracterizando-se pela diminuição da energia de fluxo e com a dissipação do escoamento, relacionados ao plano divergente das vertentes.

Por fim, a classe côncavo-convergente, cobre área de 34,78 km², o que representa 17,09% da área de estudo, a qual distribui-se em todas as porções da bacia hidrográfica, entretanto com maior densidade no alto curso devido a estrutura da área, em vales encaixados marcarem mais este tipo de curvatura. Esta classe ocorre no terço médio inferior das vertentes até a sua base, caracterizando-se pelo acúmulo e concentração máxima dos fluxos de escoamento, representando os segmentos de canais fluviais da bacia hidrográfica.

Compartimentação do Relevo

A análise do relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS possibilitou a definição e zoneamento em cinco unidades que representam porções do terreno com características mínimas de heterogeneidade, quanto aos parâmetros morfométricos e aspectos morfológicos da área. O mapa da Figura 12 mostra a distribuição espacial das unidades de relevo e a Tabela 6 apresenta as áreas ocupadas pelas unidades definidas para a bacia hidrográfica.

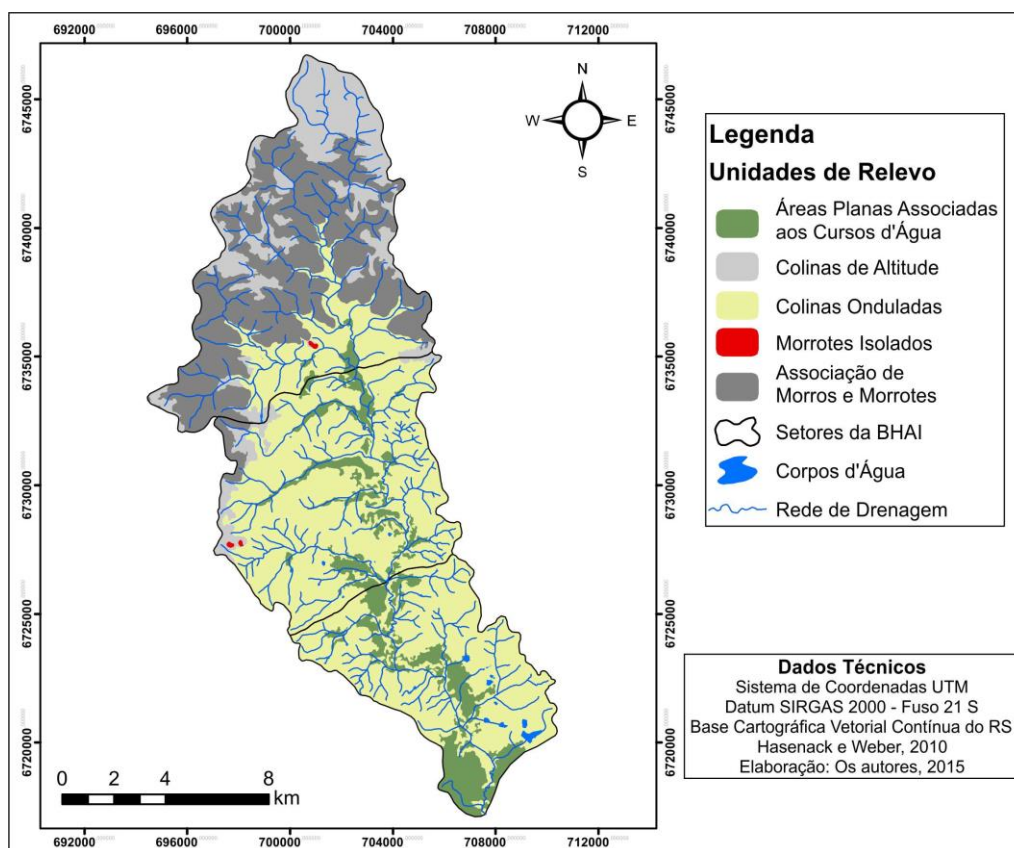


Figura 12. Mapa das Unidades de Relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS. Organização: Os autores, 2015.

Tabela 6. Área (km² e %) das unidades de relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS.

Unidades de Relevo	Área (km ²)	Área (%)
Áreas Planas Associadas aos Cursos d'Água	21,39	10,51
Colinas de Altitude	25,91	12,73
Colinas Onduladas	108,12	53,13
Morrotes Isolados	0,16	0,08
Associação de Morros e Morrotes	47,92	23,55

Áreas Planas Associadas aos Cursos d'Água - A unidade Áreas Planas Associadas aos Cursos d'Água, de acordo com Robaina et al. (2010), compõem a Depressão do Ibicuí, na compartimentação de Modelados de Áreas Planas Aluviais. Esta unidade incorpora as áreas de relevo plano, associado aos segmentos de canais fluviais, distribuindo-se em áreas no alto, médio e baixo curso na bacia hidrográfica, em suas porções Centro e Sul, com altitudes inferiores aos 200 m, cobrindo 21,39 km², o que representa 10,51% do total da área da bacia.

Nesta unidade, as vertentes apresentam declividades predominantes inferiores a 2%, com amplitudes altimétricas que não ultrapassam os 20 m. As curvaturas das vertentes denotam-se, principalmente, côncavo-planar e convexo-planar, marcadas pela ocorrência de processos de inundação e pela acumulação de sedimentos em depósitos recentes, relacionados ao leito fluvial da bacia.

Nestas áreas é comum a extração das matas ciliares, em função das atividades agrícolas, principalmente no baixo curso para a orizicultura, o que favorece os processos de assoreamento dos cursos d'água e, a formação de bancos de areia ao longo do arroio Inhandiju - RS.

Colinas de Altitude - A unidade das Colinas de Altitude faz parte dos Modelados de Patamares do Planalto das Missões e dos Modelados de Rebordo do Planalto, conforme Robaina et al. (2010). Esta unidade situa-se no alto e médio curso da bacia hidrográfica, onde apresenta-se distribuída em altitudes superiores aos 200 m, cobrindo a área de 25,91 km², o que representa 12,73% da área total da bacia hidrográfica.

Nesta unidade, o relevo é levemente ondulado, formado por colinas com declives aproximados de 7%, com amplitudes altimétricas de até 25 m e comprimentos das vertentes distribuídos dos 400 aos 1.000 m.

As curvaturas das vertentes apresentam-se como convexo-planar, associados às porções de topo das colinas até seu terço médio, passando a convexo-divergente nas porções de médias vertentes. Em direção a base das vertentes ocorrem formas côncavo-planares até côncavo-convergentes, associadas aos cursos d'água.

Na unidade observa-se o uso e ocupação da terra comumente com atividades agrícolas em lavouras temporárias que, junto às cabeceiras de drenagem, desencadeiam pontos de conflito ambiental devido a degradação ou retiradas das matas ciliares para o avanço das culturas.

Colinas Onduladas - A unidade das Colinas Onduladas compõe a Depressão do Ibicuí, na compartimentação dos Modelados de Relevo Ondulado em Rochas Friáveis (Robaina et al., 2010). Esta unidade situa-se em porções no médio e baixo curso e, com intrusões a montante do alto curso da bacia hidrográfica, em altitudes inferiores aos 200 m, apresentando a maior área na bacia, cobrindo 108,12 km², o que equivale a 53,13% de sua área total.

O relevo da unidade incorpora formas onduladas resultantes da forte ação dos agentes exógenos na paisagem. Suas vertentes apresentam declividades próximas de 8% e amplitudes altimétricas, em geral, que não ultrapassam os 60 m, e comprimentos de vertente entre os 400 e 1.000 m aproximadamente.

As vertentes caracterizam-se por apresentar nas faixas de topo, curvatura convexo-planar ou convexo-divergentes, marcadas assim até as médias vertentes. A partir deste setor, ocorre a mudança das curvaturas, com formas côncavo-divergentes até o terço médio inferior das vertentes que variam para côncavo-convergentes em direção a base, associadas a gênese dos canais fluviais de 1º ordem, e curvaturas convexo-planares e côncavo-planares em áreas de planícies e em canais de maior hierarquia fluvial.

Nas áreas associadas as cabeceiras de drenagem, observa-se ocorrência de processos de erosão linear, com a formação de sulcos e ravinas desencadeados pelo escoamento concentrado dos fluxos nas vertentes. Também em alguns casos são observados processos de maior complexidade com a formação de voçorocas associados a depósitos arenosos na jusante destes processos.

Ainda na unidade ocorrem feições superficiais em cornijas, que marcam o relevo da área. Em função da maior resistência das litologias, estas feições conferem quebras do terreno, em faixas com declividades superiores a 15%, em alguns casos com afloramento das rochas e com encostas vegetadas.

O uso e ocupação da terra nestas áreas é comum com atividades agropastoris as quais atuam como fatores de pressão sobre o meio, em especial, nas cabeceiras de drenagem, onde as mesmas apresentam sua vegetação intensamente alterada ou suprimida através das atividades antrópicas e dessa forma associando-se ao desencadeamento de processos erosivos acelerados.

Morrotes Isolados - A unidade dos Morrotes Isolados, marca o recuo da área de Rebordo do Planalto (Robaina et al., 2010). Estes morrotes encontram-se distribuídos em porções de terreno de forma isolada, situados a Centro-Oeste e Oeste no alto e médio curso da bacia hidrográfica. A unidade é a que apresenta-se em menor área na bacia hidrográfica, correspondendo a apenas 0,16 km², o que representa 0,08% da área.

Os morrotes podem ser definidos por formas de relevo com declividades superiores aos 15% e com amplitudes altimétricas variando dos 30 aos 50 m, com comprimentos de vertente de até 250 m. Geralmente apresentam topos planos ou convexos, conforme sua litologia e em sua base denotam perfil côncavo, associados aos planos divergente ou então convergente.

Os morrotes isolados são formados a partir da maior resistência aos processos de dissecação do relevo de uma camada de rocha que compõe o topo das formas, que permite a manutenção de suas estruturas na área em estudo. Dessa forma, representam um fragmento do relevo, que comprova a existência de áreas mais elevadas em um período pretérito, nessa região.

O uso e ocupação da terra nesta unidade apresenta-se de maneira bastante restrita, dessa forma estas áreas apresentam-se em sua maioria preservadas encontrando-se ainda florestadas.

Associação de Morros e Morrotes - A unidade Associação de Morros e Morrotes faz parte do Planalto das Missões em seu compartimento dos Modelados de Rebordo do Planalto, onde sua “configuração acidentada testemunha a atual fase de evolução do Planalto da Serra Geral” (Robaina et al., 2010, p. 18). Os morros e morrotes situam-se na porção Centro-Norte, Leste e Oeste da área de estudo, junto ao alto curso da bacia hidrográfica e em pequeno fragmento no médio curso, com altitudes superiores aos 200 m. A área da unidade cobre 47,92 km², o que equivale a 23,55% da área total da bacia.

Nesta porção da bacia hidrográfica é incorporado um relevo fortemente ondulado, o qual apresenta linhas de escarpa, com vertentes íngremes e vegetadas, sendo formado por uma

associação de morros e morrotes, onde a rede de drenagem se estabelece em vales encaixados, marcando pontos de dissecação topográfica acentuada da paisagem.

Os morros são definidos por formas de relevo com declividades superiores a 15% e com amplitudes altimétricas predominantemente superiores aos 100 m, com comprimentos de vertentes distribuídos entre os 400 e 700 m. Já os morrotes, representam vertentes com declividades superiores a 15%, mas que, no entanto, não ultrapassam os 100 m de amplitude e os comprimentos chegam até os 250 m.

As curvaturas das vertentes nesta unidade apresentam perfis e planos de curvatura convexo-divergentes partindo-se do topo das formas até o terço médio superior das mesmas. A partir deste setor, as vertentes passam a apresentar curvatura côncavo-divergentes até o terço médio inferior das formas, onde é marcada a mudança dos processos de escoamento atuantes, com uma maior velocidade dos fluxos. Junto ao terço médio inferior das vertentes, passam a ocorrer curvaturas côncavo-convergentes, onde há a concentração máxima dos fluxos, resultando na formação dos canais de 1º ordem da bacia hidrográfica.

O uso e ocupação da terra nestas áreas associa-se de maneira muito restrita devido à configuração acidentada e íngreme do relevo, o que se estabelece como fator limitante ao uso, além de muitas destas áreas configurarem-se em Áreas de Preservação Permanente (APP).

Conclusão

O estudo das formas de relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhandiju - RS possibilitou o zoneamento de cinco unidades na área da bacia que refletem atributos morfométricos e morfológicos semelhantes. Com base nisso, chegou-se a definição das seguintes unidades de relevo: Áreas Planas Associadas aos Cursos d'Água, Colinas de Altitude, Colinas Onduladas, Morrotes Isolados e Associação de Morros e Morrotes.

A aplicação do SIG associado com a utilização de Modelos Digitais de Elevação, com dados SRTM, possibilitou o estudo do relevo para a área da bacia hidrográfica de maneira rápida e precisa, com resultados obtidos em laboratório que compactuaram de maneira satisfatória com os dados validados nos trabalhos de campo. Assim observa-se através deste tipo de análise resultados padronizados ao estudo do relevo que proporcionam a menor subjetividade nas análises.

A compartimentação obtida permite estabelecer relações com formas de uso e conflitos

gerados indicando potencialidades e fragilidades para cada unidade identificada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPERGS pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Christofoletti, A., 1974. Geomorfologia. Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Guasselli, L.A., 2012. O mapeamento de áreas a partir de sensoriamento remoto. in: Suertegaray, D.M.A., Silva, L.A.P., Guasselli, L.A. (Org.), *Arenização: natureza socializada*. 1 ed. Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, Porto Alegre, pp. 97-123.
- Hasenack, H., Weber, E. (Org.), 2010. Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul Escala 1:50.000, 1 ed. UFRGS, Porto Alegre.
- Huggett, R.J., 1975. Soil Landscape Systems: A model of soil genesis. *Geoderma* 13, 01-22.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo.
- Muñoz, V.A., 2009. Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos. INPE.
- Rezende, É.A., Salgado, A.A.R., 2011. Mapeamento de Unidades de Relevo na Média Serra do Espinhaço Meridional - MG. GEOUSP - Espaço e Tempo [Online] 30. Disponível: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74231>. Acesso: Dat. 15 jan. 2015.
- Robaina, L.E.S., Trentin, R., Bazzan, T., Reckziegel, E.W., Verdum, R., De Nardin, D., 2010. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [Online] 11. Disponível: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/148>. Acesso: 15 jan. 2015.
- Scoti, A.A.V., Robaina, L.E.S., Trentin, R., 2015. Definição das Unidades de Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada Sudoeste do Rio Grande do Sul. *Revista Caminhos de Geografia* [Online] 16. Disponível: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/28268>. Acesso: 25 ago. 2015.

- Soares, P.C., Fiori, A.P., 1978. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Boletim Geográfico* 258/259, 35-59.
- Trentin, R., 2011. Mapeamento Geomorfológico e Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil. Tese (Doutorado). Curitiba. Universidade Federal do Paraná.
- Trentin, R., Robaina, L.E.S., Siveira, C.T. (2015). Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Itú/RS. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [Online] 16. Disponível: URL. Acesso: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/460>. Dat. 25 ago. 2015.
- Valeriano, M.M., 2008. Dados Topográficos. in: Florenzano, T.G. (Org.), *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 72-104.
- Valeriano, M.M., 2003. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. Campina Grande. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 7. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000300022>. Acesso: Dat. 15 jan. 2015.
- Vasconcelos, V., Carvalho Júnior, O.A., Martins, E.S., Couto Junior, A.F., Guimarães, R.F., Gomes, R.A.T., 2012. Sistema de Classificação Geomorfométrica Baseado em uma Arquitetura Sequencial em Duas Etapas: Árvore de Decisão e Classificador Espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [Online] 13. Disponível: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/248>. Acesso: Dat. 15 jan. 2015.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.