

CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE RELEVO ATRAVÉS DE PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS

classification of the landform units supported by geomorphometric attributes

Romário Trentin *
Luis Eduardo de Souza Robaina **

Resumo

O presente trabalho é um estudo das características das encostas que compõem o relevo na bacia do rio Ibirapuitã, no oeste do Rio Grande do Sul. A classificação do relevo segue uma proposta de mapeamento automatizado apresentado por Silveira & Silveira (2013). A classificação ocorre pelo cruzamento de informações e atributos topográficos gerados em SIG e hierarquizado através de uma árvore de decisão, usando parâmetros de altitude, declividade, forma em plano e perfil da encosta. Foram identificadas 12 unidades de relevo representativas na bacia. O produto cartográfico obtido sugere que a metodologia é apropriada para caracterizar as encostas na área de estudo e a distribuição espacial dos processos que ocorrem na superfície. Portanto, tem grande potencial para suportar trabalhos relacionando relevo com outros atributos ambientais e o uso do solo.

Palavras-chaves: Geomorfometria; Relevo; Ibirapuitã.

Abstract

This paper presents a study of the characteristics of the slopes that make up the relief in the Ibirapuitã River basin in the west of Rio Grande do Sul. The relief classification follows a geomorphometric automated mapping proposal presented by Silveira & Silveira (2013). The classification is performed by means of crossing information and topographic attributes generated by GIS and in a hierarchical decision tree. The crossing of information using the decision tree with the parameters of altitude, slope, curvature profile and plan identified 12 representative units in the basin. The cartographic product obtained suggests that the methodology is appropriate to characterize the slopes in study area and the spatial distribution of processes, with great potential for support in work relating the relief characteristics with other environmental attributes and land use.

Key words: Geomorfometry; Relief; Ibirapuitã.

Résumé

Ce travail est une étude des caractéristiques des pentes qui composent le relief dans le bassin de la rivière Ibirapuitã dans l'ouest de Rio Grande do Sul. La classification du relief suite à une proposition de cartographie automatisée présentée par Silveira & Silveira (2013). La classification est l'intersection de l'information et des attributs topographiques générés en SIG et hiérarchisés, par un arbre de décision, en utilisant des paramètres d'altitude, la pente, plat et profil de la pente. Ils ont identifié 12 unités du relief représentatives dans le bassin. Le produit cartographique obtenu suggère que la méthodologie est appropriée pour caractériser les pentes et la distribution spatiale processus de surface, dans la zone d'étude. Donc il y a un grand potentiel pour soutenir la recherche concernant le relief avec d'autres caractéristiques environnementales et l'utilisation des terres.

Mots-Clés: Geomorfometria; Relief; Ibirapuitã.

(*) Prof. Dr. da Universidade Federal de Santa Maria – Av. Roraima, 1000, Prédio 17, Sala 1113c, CEP:97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. Tel: (+55 55) 3220-8639 - romario.trentin@gmail.com

(**) Prof. Dr. da Universidade Federal de Santa Maria – Av. Roraima, 1000, Prédio 17, Sala 1113c, CEP:97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. Tel: (+55 55) 3220-8639 - lesrobaina@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A parametrização da morfologia do relevo por meio de SIG é o processo de extração de atributos quantitativos da topografia. Conforme Muñoz (2009), descreve, de forma quantitativa, as formas da superfície da Terra por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica.

Os métodos de classificação atuais possibilitam a subdivisão das formas em elementos do relevo, que são um conjunto de parcelas de um tipo de relevo relativamente homogênea em relação a curvaturas de perfil e de plano, inclinação, orientação e posicionamento na paisagem (MACMILLAN E SHARY, 2009).

O presente trabalho apresenta um estudo das características das vertentes que compõem o relevo na bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã, no oeste do Rio Grande do Sul. A bacia hidrográfica ganha ênfase por definir a esculturação do relevo e, nas palavras de Botelho (1999), a “bacia hidrográfica, uma vez que é delimitada considerando-se critérios geomorfológicos, leva vantagem sobre as demais unidades de planejamento definidas por outros atributos, os quais apresentam limites imprecisos, como os baseados nos tipos de vegetação ou em características climáticas”.

Com uma concepção semelhante, autores como Christofletti (1980), Beltrame (1994) e Guerra e Cunha (1996, 2003) afirmam que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas, pois mudanças significativas em qualquer uma dessas unidades podem gerar alterações ou até mesmo impactos a jusante e nos fluxos de energia.

Neste sentido, ainda cabe ressaltar que a política nacional de recursos hídricos, através da lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, no inciso V do artigo 1º, destacou que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 2013).

Dessa forma, pode-se dizer que os estudos em bacias hidrográficas estão associados à noção de sistema, compreendendo as nascentes, os divisores de águas, os cursos de águas hierarquizados e a foz, onde toda ocorrência de eventos, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica desse sistema. Ou seja, entende-se que as bacias de drenagem são tratadas como unidades geográficas, onde os recursos naturais integram-se.

Para caracterizar as vertentes que compõem a bacia, buscou-se uma análise quantitativa através de parâmetros designados, neste trabalho, por geomorfometria (geomorphometry) ou análise digital do relevo (SILVEIRA et al., 2013). Os atributos derivados de MDT são compreendidos, aqui, como atributos topográficos (MOORE et al, 1991 e 1993; WILSON & GALLANT, 2000; CHAGAS, 2006; SILVEIRA et al., 2012; SILVEIRA et al., 2013), porém, na literatura, aparecem sob outras designações, como parâmetros das formas do relevo (SPEIGHT, 1968), variáveis morfométricas (SHARY et al., 2002), variáveis geomorfométricas (BISPO et al., 2009), atributos do terreno (PENNOCK, 2003; CÁTEN, 2009), atributos geomorfométricos (SCHMIDT & DIKAU, 1989), atributo do relevo (IPPOLITI et al., 2005; SIRTOLI et al., 2008).

Diversos autores (ARGENTO, 1994; BOTELHO, 1999; XAVIER DA SILVA, 2005) apontam para a crescente utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) nos estudos de relevo e nas questões ambientais.

Os atributos topográficos podem ser parametrizados a partir de variáveis, tais como altitude, declividade, aspecto, diferentes curvaturas (em plano, perfil, etc.), área de contribuição, índice topográfico de umidade, etc. (McBRATNEY et al., 2003, SILVEIRA et al., 2013).

Franklin e Peddle (1987) definem cinco parâmetros básicos à parametrização do relevo: i) elevação, ii) declividade iii) orientação, iv) curvatura, representada pela concavidade/convexidade do relevo, v) rugosidade.



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado por meio de técnicas de geoprocessamento associada à análise digital do relevo, determinando-se a representação paramétrica das formas do relevo, com emprego de atributos topográficos obtidos de um Modelo Digital do Terreno, elaborando uma compartimentação geomorfométrica, na forma de um zoneamento das vertentes que compõem o relevo na bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã (BHRI), localizada no oeste do Rio Grande do Sul (RS), cuja área é de 7978,70 km² (Figura 1).

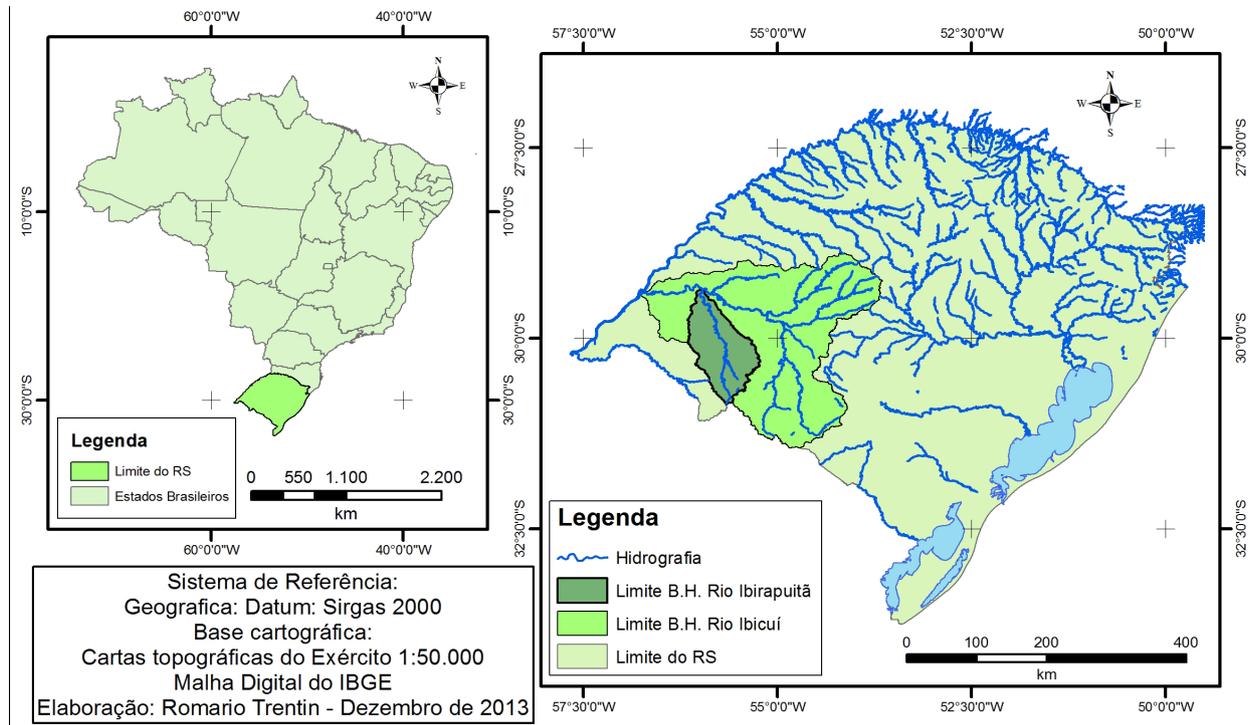


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã

MÉTODO

A classificação do relevo da BHRI segue uma proposta de mapeamento geomorfométrico automatizado e que foi apresentado por Silveira & Silveira (2013), que se apoiaram nos preceitos de Iwahashi e Pike (2007). A classificação é realizada por meio do cruzamento de informações e atributos topográficos gerados através de SIG e hierarquizados através de árvore de decisão, baseado em valores pré-definidos, com base em conhecimento da área. Foram empregados quatro atributos topográficos: altimetria, declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura.

Como base cartográfica, foram utilizadas as cartas topográficas do exército em escala 1:50.000, sobre as quais foram extraídas as informações das curvas de nível de equidistância de 20 metros somadas aos pontos cotados presentes na área. Através deles, realizou-se a interpolação dessas informações altimétricas, utilizando-se o interpolador ANUDEM (HUTCHINSON, 1989, 1996, 2008), disponível como ferramenta no aplicativo ArcMap versão 10.1 (ESRI, 2013), que cria um modelo digital do terreno hidrológicamente consistente.

O primeiro parâmetro utilizado considerou as variações de amplitude apresentada pela bacia hidrográfica em função da distribuição do histograma de frequência, onde foi considerada a média geral das altimetrias que corresponde a 158 metros, que dividiu as vertentes localizadas na alta e na baixa altitude.

As vertentes podem ser definidas de forma simplificada como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação à horizontal, que apresenta um gradiente e uma orientação no espaço



(VELOSO, 2002) e, dessa forma, podem ser classificadas de acordo com a sua declividade e a sua curvatura no plano ou em perfil.

As informações de declividades geradas a partir do MDE foram obtidas no presente trabalho por meio do polinômio de Horn (1981) e foram separadas em duas classes, cujo limite é de 5%.

O plano de curvatura da vertente corresponde à variação do gradiente de arqueamento na direção ortogonal da vertente (curvatura da superfície perpendicular à direção da inclinação) e refere-se ao caráter divergente/convergente do terreno, enquanto o perfil de curvatura é a taxa de variação do gradiente de arqueamento na direção de sua orientação (a curvatura da superfície no sentido do declive) e está relacionada ao caráter convexo/côncavo do terreno, sendo decisiva na aceleração ou na desaceleração do fluxo da água sobre o mesmo. Ambos foram obtidos a partir do MDE, por meio do emprego do polinômio de Zevenbergen e Thorne (1987).

O perfil das vertentes, em ambiente SIG, é analisado de acordo com o seu valor de curvatura (histograma de frequência) e, teoricamente, vertentes retilíneas têm valor de curvatura nulo, vertentes côncavas têm-nos positivos e convexas têm curvatura negativa (VALERIANO, 2003). Porém, vertentes com valores nulos são muito raras na natureza, assim muito pouco do que se julga retilíneo apresenta valor de curvatura realmente nulo, mas valores pertencentes a um intervalo de tolerância na vizinhança desse valor.

A classificação do plano das vertentes, em ambiente SIG, é analisada de acordo com o seu histograma de frequência que indica o valor da referida curvatura. Semelhante ao perfil, os valores nulos correspondem à inexistência de curvatura correspondendo à vertente plana, já os valores positivos representam curvatura divergente e os valores negativos correspondem à curvatura convergente.

Através do cruzamento das informações, utilizando-se a árvore de decisão apresentada no fluxograma da Figura 2, foram identificadas 12 unidades.

RESULTADOS

O rio Ibirapuitã corresponde a um dos principais afluentes do rio Ibicuí, um dos mais importantes do oeste do Rio Grande do Sul.

A bacia hidrográfica do Ibirapuitã é de 7ª ordem, com área da bacia correspondente a 7978,70 km² e o perímetro 646120km (figura 3). A extensão do canal principal é de 597,72km, que escoia de sul para norte, formando um padrão de drenagem retangular controlado pelas estruturas presentes nas rochas vulcânicas do substrato geológico.

Os principais afluentes são: na margem direita, o Arroio Caverá e o rio Ibirapuitã Chico e, na margem esquerda, os rios Pai-Passo e Inhanduí.

Geomorfológicamente, a bacia está incluída, conforme Robaina et al (2010), no Planalto da Serra Geral, mais especificamente, na porção denominada Planalto da Campanha.

De forma geral, o relevo da bacia é constituído por formas, predominantemente, do tipo colinas que se caracterizam por amplitude ao redor de 40m e declividades entre 5% e 8%. Associado, ocorrem formas de morrotes de topo plano, constituídas por amplitudes de 20 a 60m e declividades superiores a 30% e morros que se diferenciam por amplitudes de 120 a 160m. Os divisores de água da bacia ao sul e oeste são formados por colinas onduladas com morrotes e morros associados e o divisor a leste é constituído por uma faixa de morrotes e morros conhecida como Serra do Caverá (nascentes do Arroio Caverá). As áreas do baixo curso apresentam um relevo plano, formando amplas rampas com declividades inferiores a 5%.

As vertentes da bacia foram divididas em 12 unidades, com base na altitude média da bacia, na declividade de 5% e no perfil e no plano de curvatura das vertentes.

As seis primeiras unidades determinadas correspondem ao alto curso e as seis últimas unidades, ao médio e ao baixo curso da bacia. A figura 4 apresenta o esquema que representa a ocorrência e a distribuição das unidades de vertentes na bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã.



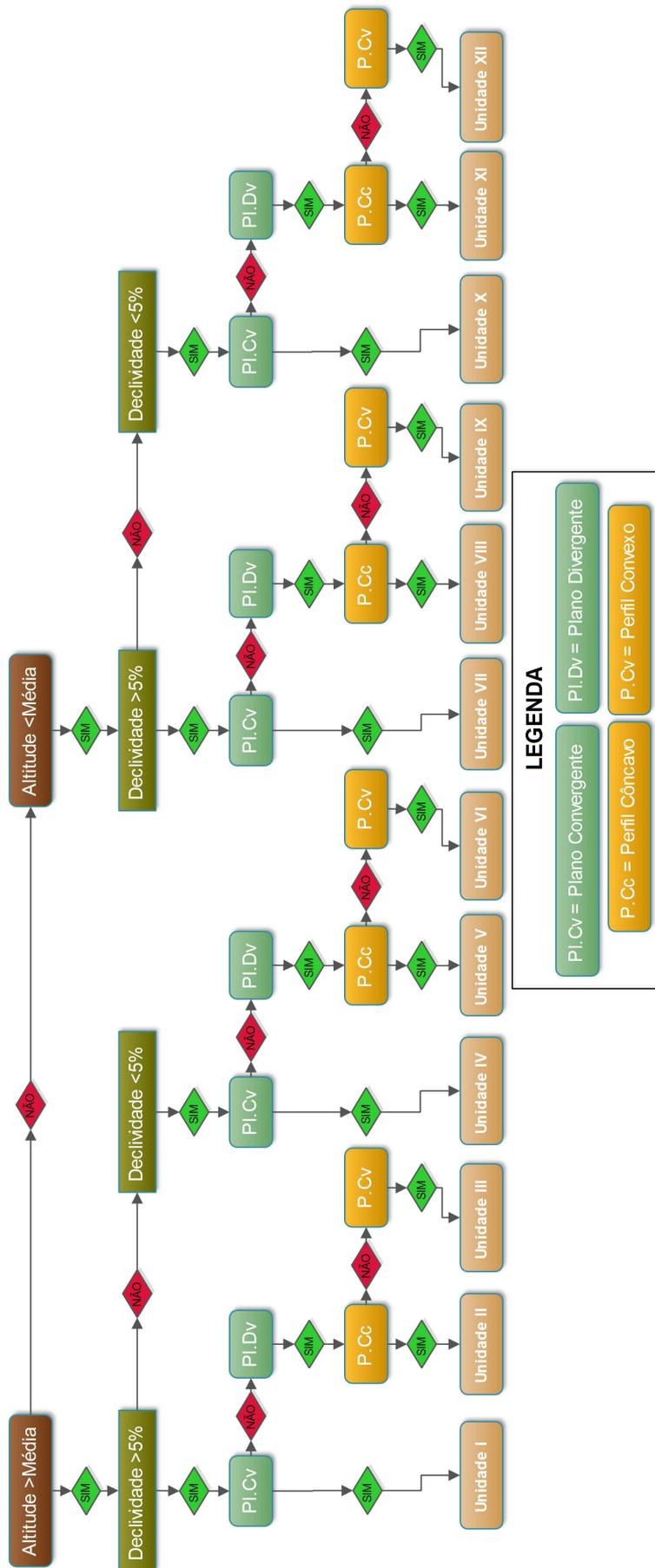
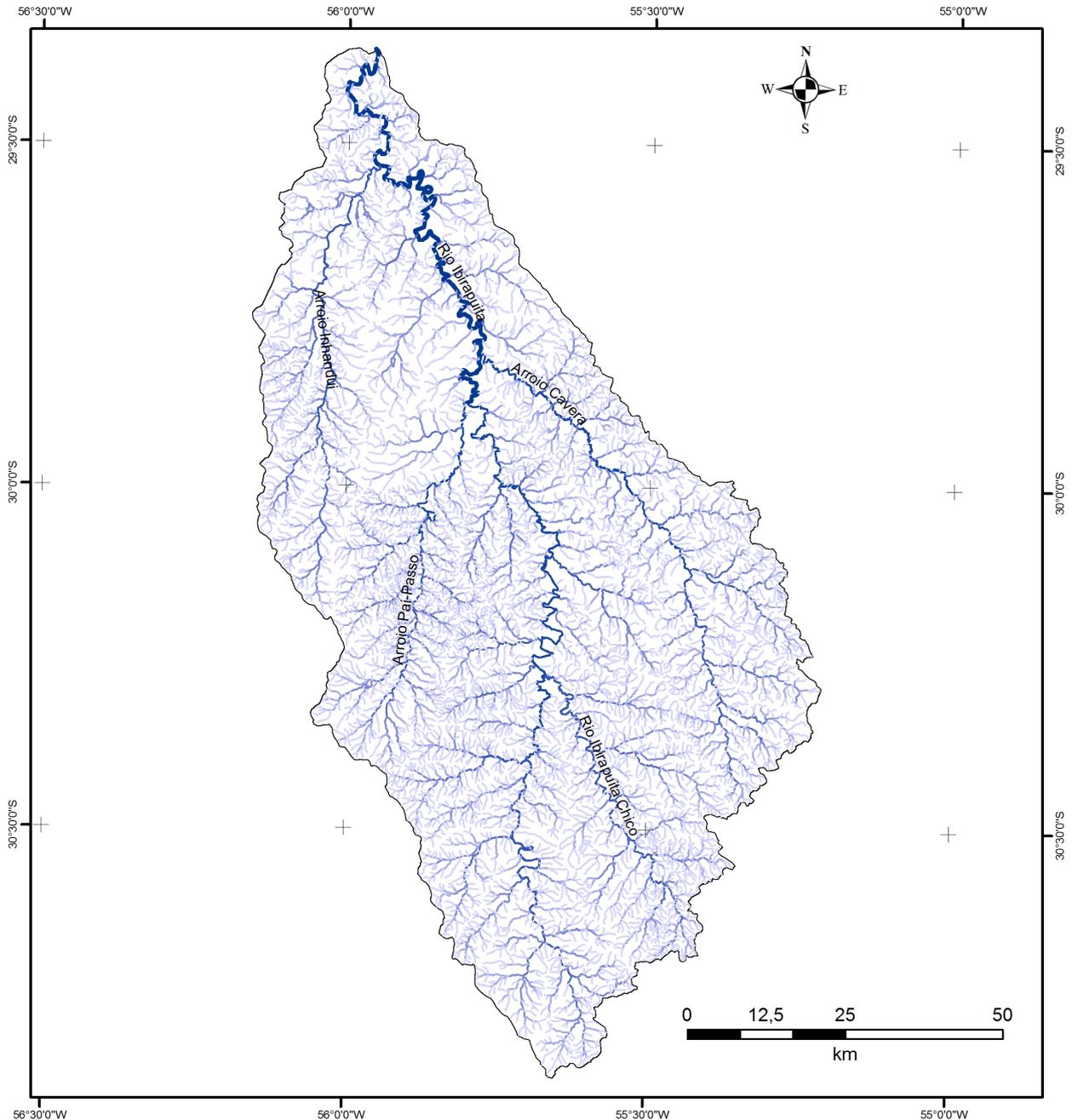


Figura 2 – Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para a definição das unidades geomorfométricas





Legenda Hierarquia

- 1ª Ordem
- 2ª Ordem
- 3ª Ordem
- 4ª Ordem
- 5ª Ordem
- 6ª Ordem
- 7ª Ordem
- Limite da Bacia Hidrográfica

Sistema de Referência: Geografica
Datum Sirgas 2000

Base Cartográfica:
Cartas topográficas do Exército
Escala 1:50.000

Elaboração:
Romario Trentin em nov/2013



Figura 3 – Mapa da rede de drenagem da bacia do rio Ibirapuitã.

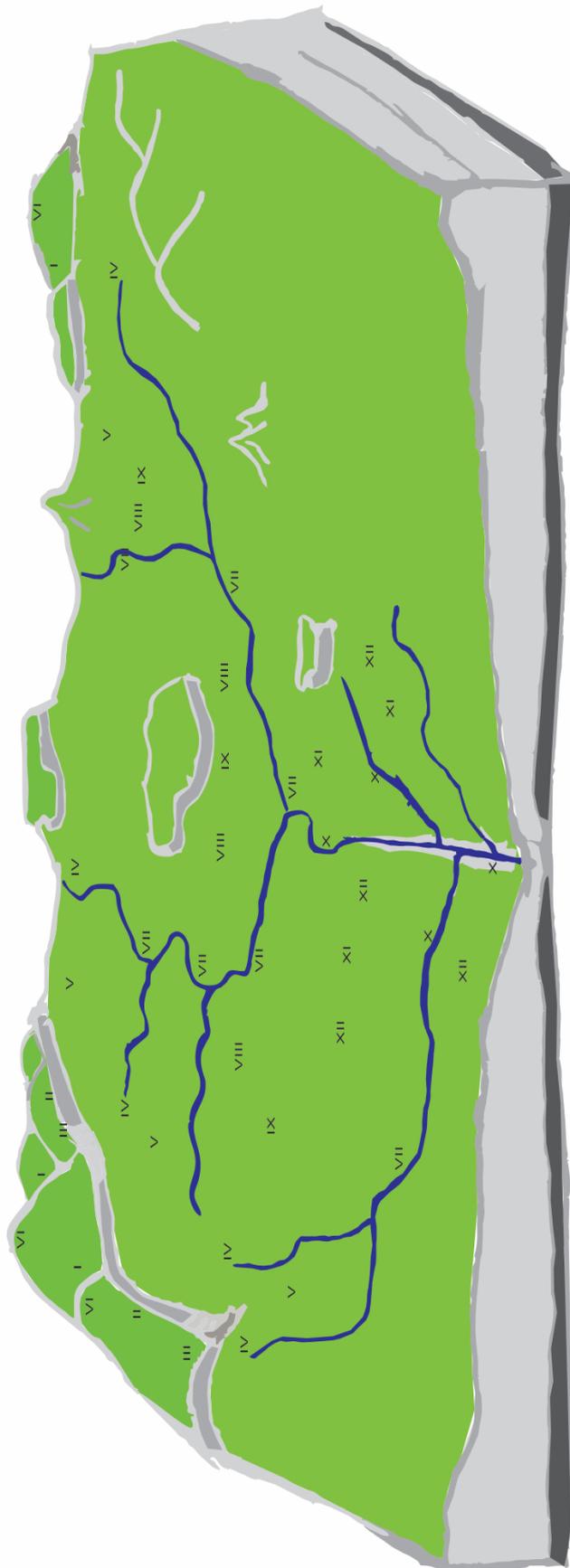


Figura 4 – Modelado e distribuição predominante das unidades de vertentes na bacia do rio Ibirapuitã.

Nas unidades I, II e III, os processos morfogenéticos de erosão e movimentos de massa são importantes, constituindo as porções dinamicamente mais ativas.

A unidade I representa as porções das vertentes, onde o fluxo de água é convergente, caracterizando o início da canalização da rede de drenagem e definindo uma vertente coletora. Essa unidade ocorre em uma área de 653,92km², correspondendo a 8,2% da área da bacia. Caracteriza-se por declividades superiores a 5% e plano de curvatura da vertente convergente.

A unidade II cobre 453,84km², representando 5,69% do total da área da bacia. Está caracterizada por vertentes das áreas do alto curso, com predominância de processos morfogenéticos de erosão devido à declividade maior que 5% e perfil de curvatura côncavo. Ocorre, especialmente, localizada nas porções da meia vertente, entre os vales dos canais de drenagem, principalmente nas áreas de dispersão de água.

A unidade III cobre, aproximadamente, 461,58km², sendo 5,79% do total da área da bacia. Representa vertentes das áreas de alto curso, com a velocidade de fluxo aumentando em direção à base da vertente, e fluxo divergente que pode induzir à formação de vários canais erosivos no terço inferior da vertente.

A unidade IV cobre, aproximadamente, 814,71km², correspondendo a 10,21% da área da bacia. Está caracterizada por áreas planas a montante da bacia (declividades inferiores a 5%, mas altitudes superiores a média), com fluxo convergente que se reflete em áreas alagadiças de nascentes. Ocorre associada, principalmente, à unidade I nas porções mais planas, especialmente posicionadas no terço superior da vertente. Em termos de bacia hidrográfica, essa unidade concentra-se, especialmente, em duas grandes áreas, uma na porção mais sul da bacia hidrográfica em uma porção de patamar formado na bacia e a outra área corresponde à porção oeste da bacia também em uma área de patamar formado pelo divisor de água das sub-bacias do Arroio Inhanduí e Pai Passo.

A unidade V está representada no alto curso, formada por áreas planas com ação dos processos de morfogênese reduzida (declividades inferiores a 5%). Os processos variam do topo para a base da vertente pela diminuição da energia do fluxo divergente (perfil côncavo e plano divergente). Ocupa área de 528,02km², que corresponde a 6,62% da bacia.

A unidade VI cobre 559,14km², correspondendo a, aproximadamente, 7% da área da bacia hidrográfica. Ocorre no alto curso da bacia formada por áreas planas que constituem as áreas mais elevadas, especialmente posicionada sobre os topos das vertentes.

A figura 5 apresenta a forma de ocorrência e distribuição das unidades de vertentes I a VI na bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã.

A unidade VII, localizada no médio/baixo curso da bacia hidrográfica (altitudes inferiores à média), cobre 362,84km², representando 4,55% do total da área da bacia hidrográfica. Apresenta inclinações que favorecem o processo morfogenético de erosão, devido às declividades superiores a 5% e convergência do fluxo. Ocorre, predominantemente, na base das vertentes, seguindo a rede de drenagem.

A unidade VIII cobre 293,03km², representando 3,67% do total da área da bacia hidrográfica. Está caracterizada por vertentes das áreas do médio e baixo curso com predomínio do médio curso da bacia hidrográfica. Ocorre predominância de processos morfogenéticos de erosão nas porções superiores da vertente, com deposição na base. Especialmente, encontra-se nas porções de média vertente, por vezes, próximas a drenagens.

A unidade IX é pouco representada na bacia com área 212,65km², que corresponde a 2,67% da área da bacia. É caracterizada por vertentes das áreas de médio e baixo curso (altitudes inferiores à média), com a velocidade de fluxo aumentando em direção à base da vertente (perfil convexo), mas com fluxo divergente (plano divergente), o que pode gerar a formação de pequenos canais erosivos na base da vertente. Predomina nas áreas do terço inferior da vertente associadas às planícies de inundação.



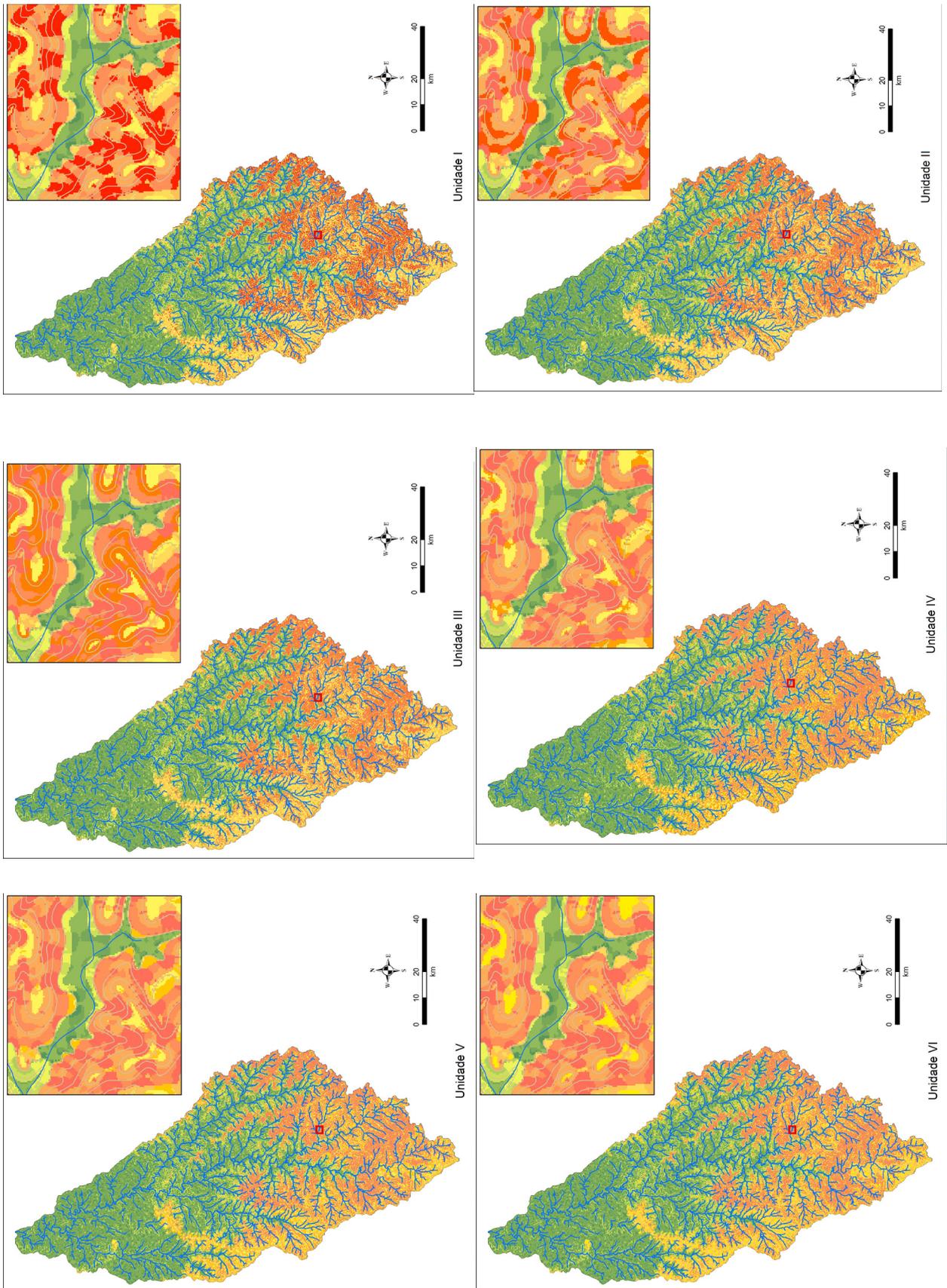


Figura 5 – Unidades geomorfométricas I a VI na bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã

A unidade X cobre 1674,59km², correspondendo a praticamente 21% da área da bacia. Está caracterizada por áreas planas, junto aos canais de drenagem do médio e baixo curso. É a unidade que ocupa a maior área na bacia hidrográfica, o que demonstra as características predominantemente de pequenas elevações e declividades inferiores a 5%.

A unidade XI, ocupando 1126,86km², corresponde a 14,12% da área da bacia. Está caracterizada por áreas planas (declividades inferiores a 5%). Os processos variam do topo para a base dessa porção da vertente pela diminuição da energia do fluxo divergente (perfil côncavo e plano divergente). Ocorre, principalmente, na meia encosta em direção ao topo, ocupando o terço superior da vertente.

A unidade XII cobre, aproximadamente, 837,48km², correspondendo acerca 10,5% da área da bacia hidrográfica. Ocorre no médio e baixo curso da bacia hidrográfica, com predomínio no baixo curso, compondo as principais áreas planas da bacia nas porções de divisores internos da sub-bacia.

A figura 6 apresenta os mapas com a forma de ocorrência e distribuição das unidades de vertentes VII a XII na bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã.



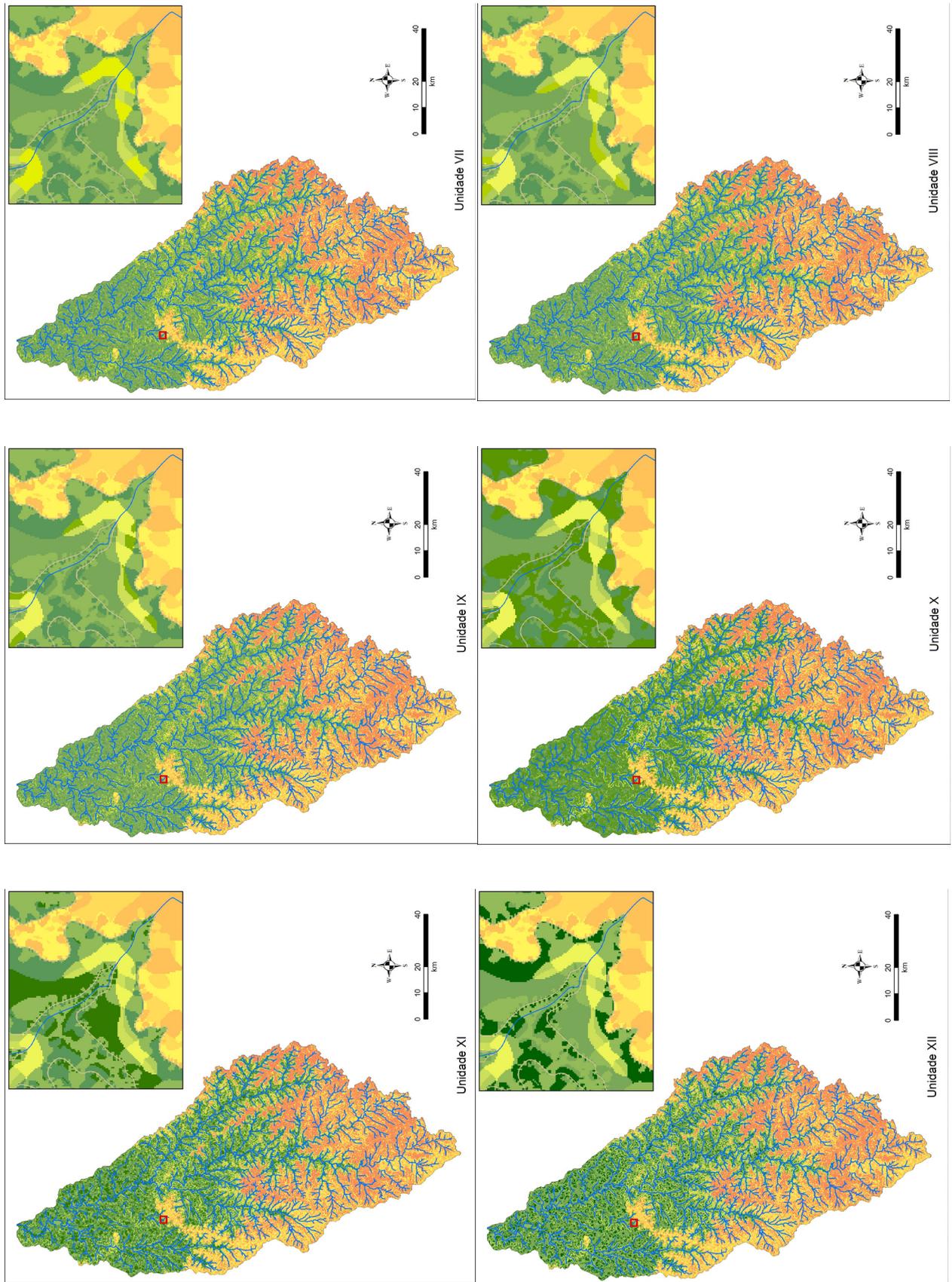


Figura 6 – Unidades geomorfométricas VII a XII na bacia hidrográfica do Rio Ibirapuitã

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estabelecimento de critérios com parâmetros fixos, utilização de MDTs para o cálculo de variáveis permitem o mapeamento do relevo, diminuindo a subjetividade para a identificação e a delimitação das feições.

O cruzamento das informações utilizando-se a árvore de decisão com os parâmetros de altitude, declividade, perfil e plano de curvatura das vertentes permitiu identificar 12 unidades representativas na bacia do rio Ibirapuitã.

Como características gerais, constatou-se que a bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã apresenta uma área de baixas altitudes e com declividades inferiores a 5%, o que se constata na definição das unidades X, XI e XXI que são as que ocupam as maiores áreas e juntas somam cerca de 46% do total da área de estudo.

O produto cartográfico obtido possibilita considerar que a metodologia utilizada é adequada para a caracterização das vertentes da área de estudo e a espacialização dos processos presentes, com potencial para suporte em trabalhos que relacionem as características do relevo com outros atributos ambientais e de uso do solo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.
- BELTRAME, Â. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Variáveis geomorfométricas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO). *Acta Amazônica*, v. 39, n. 01, p-81-90, 2009.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em Microbacias hidrográficas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. d.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997: política nacional de recursos hídricos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM>. Acesso em novembro de 2013.
- CÁTEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R. S. Pedometria aplicada à predição de classes de solos utilizando de regressões logísticas múltiplas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 25-30, 2009.
- CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. Viçosa, 2006. 223p. (Doutorado -Universidade Federal de Viçosa - UFV).
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 313 p.
- DIKAU, R. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Ed.). **Three-dimensional applications in geographic information systems**. New York: Taylor and Francis, p.51-77, 1989.
- FRANKLIN, S. E., and D. PEDDLE, 1987, Texture analysis of digital image data using spatial cooccurrence, **Computers & Geosciences**. 13(3): 293-311.
- GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain Analysis: Principles and applications**. New York: John Wiley, p.51-85, 2000.
- GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia - Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996.
- GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da. **A questão ambiental - Diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.
- GUERRA, A. T. e GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

- HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. **Proceedings of the IEEE**, n. 69, v. 01, p. 14-47, 1981.
- HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 106, 211-232, 1989.
- HUTCHINSON, M. F. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. In: **International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, National Center for Geographic Information and Analysis**. 3. 1996, Santa Bárbara. Proceedings... Santa Bárbara: University of California, 1996. CD-RON.
- HUTCHINSON, M. F. Adding the Z dimension. In: WILSON, J. P.; FOTHERINGHAM, A.S. **The handbook of geographic information science**. 1. ed. Blackwell Publishing Ltd. 2008. p. 144-168.
- IPPOLITI, G. A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C. E.G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R.; SOUZA, E. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacias na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.269-276, 2005.
- IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology** 86(3-4): 409-440, 2007.
- MACMILLAN, R. A. e SHARY, P. A., Chapter 9 Landforms and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. (eds), **Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science**, vol. 33, Elsevier, Amsterdam, 2009. Pag. 227-254.
- McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.
- MOORE, I. D.; GESSLER, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of Hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.
- MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. 112p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. **Soil and Tillage Research** 69 (1-2), 15-26, 2003.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SCHMIDT, J., DIKAU, R. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models — semantics, methods, future needs. In: Dikau, R., Saurer, H. (Eds.), **GIS for Earth Surface Systems — Analysis and Modelling of the Natural Environment**. Schweizbart'sche Verlagsbuchhandlung, pp. 153-173, 1999.
- SHARY, P.A., SHARAYA, L.S., MITUSOV, A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. **Geoderma** 107 (1-2), 1-32, 2002.
- SILVEIRA, C.T.; SILVEIRA, R.M.P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Vitória/ES. 2013.
- SILVEIRA, C. T. OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C; SIRTOLI, A. E.; SILVA. Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.125-137, 2012.
- SILVEIRA, C. T. OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes. **Revista Geoderma** 195-196, p. 165-172, 2013.
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v.9, n.3, p.317-329, 2008.
- SPEIGHT, J.G. Parametric description of landform. In: Stewart, G.A. (Ed.), **Land Evaluation: Papers of a CSIRO Symposium**. Macmillan, Melbourne, pp. 239-250, 1968.



VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VALERIANO, M. M.; CARVALHO JÚNIOR, O, A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v 4, n.1, p.17-29, 2003.

VELOSO, A. A importância do estudo das vertentes. **Geographia**, v. 4, n. 8, p 1-5, 2002.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis, chapter 1. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

ZEVENBERGEN, L.W.; THORNE, C.R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.12, p.47-56, 1987.

Trabalho enviado em maio de 2016

Trabalho aceito junho de 2016