

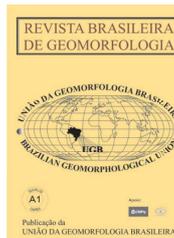


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, nº 4 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1235>



PROPOSTA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS COMO SUPORTE À EXPANSÃO URBANA E AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

PROPOSAL OF GEOMORPHOLOGICAL UNITS AS SUPPORT FOR URBAN EXPANSION AND TERRITORIAL ORDERING

Leonardo Andrade de Souza

*Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto
Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais. CEP: 35400-000. Brasil
Email: leonardo@zemlya.com.br*

Frederico Garcia Sobreira

*Departamento de Engenharia Ambiental, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto
Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais. CEP: 35400-000. Brasil
Email: sobreira@degeo.ufop.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
08/03/2017
Aceito (Accepted):
10/06/2017

Palavras-chave:

Unidades Morfológicas;
Parâmetros Morfométricos;
Aptidão à Urbanização.

Keywords:

Morphological Units;
Morphometric Parameters;
Ability for Land Occupation.

Resumo:

Os aspectos geológicos, geomorfológicos, hídricos e climáticos sempre condicionaram de alguma forma a ocupação do ambiente. A apropriação do espaço pela sociedade evidencia a importância do relevo, ora favorável à ocupação, ora apresentando feições e processos que restringem sua expansão. O relevo tem um caráter limitador configurando diferentes aptidões a determinados tipos de expansão urbana. Entretanto, embora o Brasil com o seu relevo tropical se caracterize por uma multiplicidade de feições singulares, poucos são os estudos visando o desenvolvimento de procedimentos e metodologias semiautomáticas que possam ser aplicadas diretamente em trabalhos visando a determinação da aptidão à urbanização dos terrenos. Nesse sentido, o que se propõe neste trabalho é uma abordagem que envolva a aplicação de metodologias para compartimentação topográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC), sem desconsiderar as especificidades locais e com posterior proposição de classes para a separação de domínios morfológicos. Inicialmente a análise geomorfológica foi realizada pelo método heurístico contribuindo para uma primeira leitura da BHRC, bem como a separação dos domínios principais. Para uma representação mais detalhada e um melhor entendimento da morfologia da bacia elaborou-se uma segunda análise da compartimentação do relevo, complementar à primeira, baseada nas métricas da superfície. Os parâmetros morfométricos derivados utilizados nessa análise foram altimetria, declividade e curvatura das vertentes. A terceira e última etapa para a compartimentação topográfica foi resultante da interpretação dos resultados alcançados com os métodos heurístico e de composição colorida dos parâmetros morfométricos, principalmente em relação às frequências de amplitude e declividade por unidade

morfológica. Como resultado final chegou-se a classificação de nove unidades morfológicas que foram utilizadas para apontar, em um primeiro momento, os terrenos com maior ou menor aptidão à urbanização, de forma a contribuir para futuros planejamentos envolvendo a expansão urbana dos municípios de Ouro Preto e Mariana. A proposição metodológica proposta para a BHRC foi construída para que possa ser aplicada e/ou adaptada em qualquer outro município, bacia hidrográfica, e/ou unidade administrativa, já que as amplitudes classificadas refletem as variações locais de altimetria e declividade.

Abstract:

Geological, geomorphological and water aspects have always somehow conditioned land occupation. The appropriation of space by society shows the importance of relief, sometimes favorable to occupation, sometimes presenting features and processes that discourage occupation expansion. Relief has a restrictive character, configuring different abilities to certain types of occupation. However, although Brazil with its typical tropical relief is characterized by a multiplicity of singular features, few studies have been aimed at the development of semiautomatic procedures and methodologies that could be directly applied in studies aiming at determining the suitability of land occupation. In this sense, the approach proposed in this study involves the application of different methodologies for the topographic compartmentalization of the Ribeirão do Carmo hydrographic basin (BHRC), without disregarding the local specificities with later proposition of classes for the separation of morphological domains. Initially, the geomorphological analysis was performed by the heuristic method, contributing to the first reading of the BHRC, as well as the separation of the main domains. For a more detailed representation and better understanding of the basin's morphology, a second analysis of relief compartmentalization was elaborated, complementary to the first, based on surface metrics. The derived morphometric parameters used in this analysis were altimetry, slope and curvature. The third and last step for the topographic compartmentalization was the result of the interpretation of results obtained in the compartmentalization processes obtained with the heuristic and color composition methods, mainly in relation to the amplitude and slope frequencies per morphological unit, which resulted in the classification of nine morphological units that were used to point out, in a first moment, lands with greater or less ability for occupation in order to contribute to future planning involving the urban expansion of municipalities of Ouro Preto and Mariana along the basin. The methodological proposal for the BHRC was constructed so that it can be applied and / or adapted to any other municipality, river basin, and / or administrative unit, since classified amplitudes reflect local altimetry variations.

Introdução

Embora o Brasil, com o seu relevo tropical se caracterize por uma multiplicidade de feições singulares, poucos foram os municípios que consideraram adequadamente as especificidades do meio físico no contínuo processo de expansão urbana, o que resultou em décadas de crescimento desordenado e aumento significativo de perdas e danos associados à ocorrência de desastres naturais. Um pequeno avanço em relação ao cenário caótico instalado deu-se apenas no início do século XXI, com a regulamentação da Lei Federal n.º 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, que passou a estabelecer normas de ordem pública e interesse social para regulamentar o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. O desafio então estabele-

cido foi a construção de metodologias para as análises do meio físico que possam ser replicadas e, principalmente, entendidas e utilizadas pelos técnicos responsáveis pelo planejamento urbano e rural dos municípios.

Já em 2012, a formulação do Plano Plurianual (PPA) 2012-2015, e a nova política estabelecida pela Lei 12.340/10 (que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC) trouxeram novas perspectivas para a consolidação de uma gestão adequada do meio físico. Para o PPA 2012 – 2015, entre os Programas Temáticos e de Gestão, ressalta-se o programa voltado ao planejamento urbano, cujas metas estão relacionadas: a instituição de conjuntos de instrumentos de gestão do solo urbano e de gestão ambiental em municípios com maiores carências urbanas e altos índices de crescimento demográfico; a instituição de Planos Diretores nos municípios com

obrigatoriedade legal para sua elaboração e de Planos de Expansão Urbana para aqueles que tenham essa previsão em seus Planos Diretores; e a instituição de Planos de Desenvolvimento Integrado em regiões metropolitanas e aglomerações urbanas com gestão consorciada. Tais instrumentos só corroboram para a importância de se estudar adequadamente o meio físico, suas restrições e aptidões, sendo as análises geomorfológicas importantes indicadores para o adequado uso e ocupação dos territórios.

Evans (2012) destaca as dificuldades inerentes à delimitação e representação das unidades geomorfológicas considerando a subjetividade metodológica e conceitual que é empregada no processo de obtenção desses dados.

Smith e Clark (2005) ressaltam que embora a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tenham trazido inúmeros benefícios nas análises do relevo, a densidade gráfica dos mapas geomorfológicos avançou muito pouco, o que pode representar uma barreira para usuários que não sejam especialistas.

Bishop *et al.* (2012), destacam a importância dos métodos semiautomáticos, pois além de permitirem a adoção de uma rotina de mapeamento consistente, permitem quantificar a análise da superfície terrestre (morfometria), além de evitar os inúmeros problemas advindos dos processos de digitalização baseados na interpretação visual de imagens.

Nesse sentido, se propõe neste trabalho uma abordagem que envolve a aplicação de metodologias para compartimentação topográfica de uma bacia hidrográfica, sem desconsiderar as especificidades locais, com posterior identificação de classes para a separação de domínios morfológicos, que foram individualizados por apresentarem características singulares, mas tomando-se como base, fundamentalmente, a análise das formas resultantes do processo evolutivo do relevo. Entretanto, a abordagem metodológica proposta pautou-se necessariamente na necessidade de simplificar tanto a obtenção das unidades geomorfológicas, quanto a aplicação dos respectivos resultados alcançados, em diferentes territórios, de forma a subsidiar, principalmente, a execução de estudos e planos onde o objetivo central seja a determinação das aptidões dos terrenos frente ao contínuo processo de urbanização.

A Bacia do Ribeirão do Carmo (BRHC)

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) é afluente do rio Doce e localiza-se nos municí-

pios de Ouro Preto e Mariana em Minas Gerais. Pertence à bacia regional do rio Piranga e é parte integrante da Bacia do Atlântico Leste, tendo uma área de 321,60 km² e um perímetro de 139,22 km (Figura 1). Engloba parte do distrito sede do município de Ouro Preto (agraciado pela UNESCO em 02 de setembro de 1980 como patrimônio Cultural da Humanidade), a totalidade do distrito sede do município de Mariana (tombada em 1945 como Monumento Nacional) e os distritos de Passagem de Mariana, Bandeirantes, Monsenhor Horta e Furquim, que pertencem ao Município de Mariana – MG. A população residente ao longo da BHRC ultrapassa 120.000 habitantes (IBGE, 2014).

A estruturação geológica corresponde a um segmento pertencente ao Cráton São Francisco Meridional, situado no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero e posicionado, segundo CPRM (1993), na zona limítrofe entre duas importantes províncias geológicas do escudo brasileiro, a Província Geotectônica São Francisco, a oeste, e a Província Geotectônica Mantiqueira, a leste. A Província Geotectônica São Francisco, que abrange a maior parte da área, reúne agrupamentos de idades e ambiências diversas, sendo que na área de Mariana ocorrem terrenos “granito-greenstone”, representados por uma sequência vulcano-sedimentar do Supergrupo Rio das Velhas, rochas granitoides do Complexo Santa Bárbara, a sequência clasto-química do Supergrupo Minas, a sequência predominantemente clástica do Grupo Itacolomi e as coberturas fanerozóicas terciárias e detríticas recentes, estas representadas por depósitos detríticos-lateríticos e aluviais. Já a Província Geotectônica Mantiqueira, ocorre em uma pequena faixa a leste da Bacia, reunindo gnaisés bandados do Complexo Mantiqueira e granulitos do Complexo Acaiaca.

Em relação ao uso do solo, as áreas urbanas das duas cidades localizam-se no setor centro-oeste da bacia. Entre os principais problemas causados pela urbanização dessa região destaca-se a suscetibilidade natural à ocorrência de processos geodinâmicos, a supressão da cobertura vegetal e a exposição dos terrenos, processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa nas áreas urbanas e seu entorno com geração contínua de sedimentos, a existência de diversos setores nas áreas urbanas sob risco geológico-geotécnico, o uso inadequado do solo frente a suas aptidões, o desperdício e sub-aproveitamento dos recursos hídricos, e a deficiência de áreas adequadas para expansão urbana.

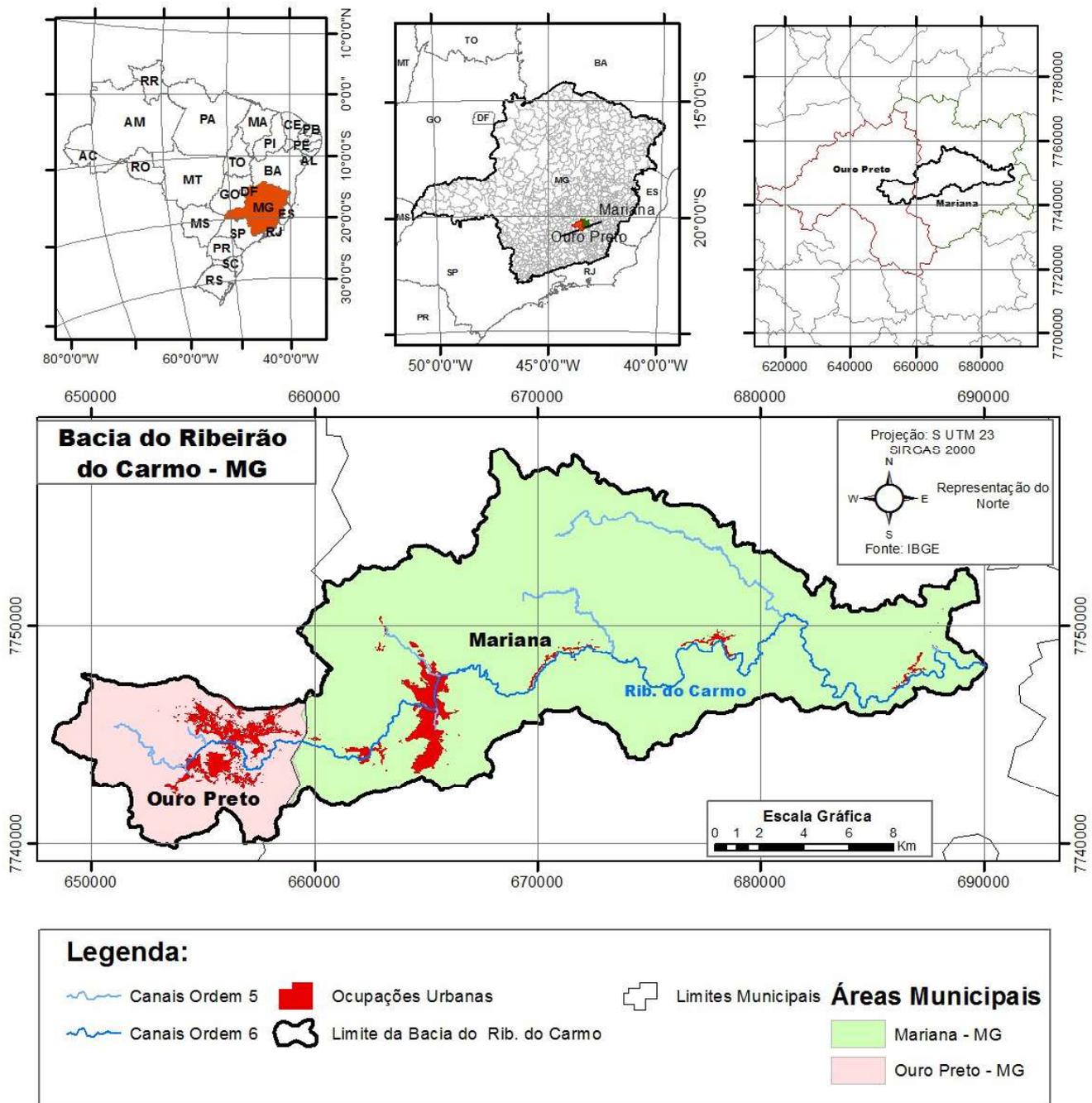


Figura 1 – BRHC no contexto de Minas Gerais, com os limites municipais e a ocupação urbana.

O clima encontra-se sob o domínio da circulação do anticlone subtropical do Atlântico Sul, caracterizado pela ocorrência de ventos predominantemente na porção nordeste-leste (CETEC, 1983). A umidade da região é transportada pelos ventos de nordeste, tendo as Serras do Espinhaço e da Mantiqueira como um anteparo físico e dinâmico ao transporte de umidade disponível. Localmente, segundo a CPRM (1993) e seguindo a classificação climática de Köppen, descrevem-se dois tipos climáticos distintos (Cwa e Cwb). O primeiro (Cwa) predomina

nas partes menos elevadas, compreendendo um clima úmido com verões quentes e pluviosidade média anual de 1.100 - 1.500 mm, estação seca curta e temperatura média anual entre 19,5 - 21,8 °C, enquanto o segundo (Cwb), predomina nas porções mais elevadas, caracterizando-se por verões mais brandos, temperatura média anual mais baixa (17,4 - 19,8 °C) e média do mês mais quente próxima a 22 °C. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os que registram as maiores precipitações.

Materiais e Métodos

Os relevos tropicais se caracterizam por uma multiplicidade de feições singulares dificultando a proposição de classificações que possam ser indistintamente replicadas. Entretanto, o emprego de modelos digitais de terreno e das métricas da superfície são comuns a todos os tipos de relevo possibilitando o desenvolvimento de procedimentos e metodologias semiautomáticas, para a classificação dos terrenos em unidades. Neste caso, os parâmetros morfométricos amplitude e declividade foram os escolhidos por serem comuns à uma primeira percepção humana e representarem o nível mínimo de discretização do relevo.

A análise geomorfológica da BHRC se enquadra no 4º táxon da metodologia proposta por Ross (1992), onde as formas de relevo são individualizadas em unidades, com padrão de formas semelhantes. Entretanto, o objetivo central foi buscar uma simplificação na caracterização e número de unidades para permitir a utilização dos resultados em análises de aptidão à urbanização, principalmente nas escalas entre 1:25.000 e 1:50.000. A sequência geral de trabalho adotada para a geração de informações foi a seguinte:

1 - Levantamento preliminar dos dados bibliográficos e cartográficos disponíveis da área da BHRC por meio de pesquisas bibliográficas e inventário de dados;

2 - Preparação da base cartográfica disponível:

- Cartas topográficas do IBGE disponíveis na região na escala 1:50.000 (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1);

3 - Elaboração do Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente – MDEHC, a partir das curvas de nível IBGE com equidistância vertical de 20 em 20 m, interpoladas pelo método Triangular Irregular Network (TIN), e posterior remoção das depressões fechadas (espúrias). A maior parte dos interpoladores utilizados pelos SIGs para a geração de modelos de elevação foram desenvolvidos para a representação de fatores cuja distribuição espacial é contínua. Entretanto, estes interpoladores têm sido empregados com frequência na representação do relevo, gerando distorções que devem ser corrigidas dependendo do emprego dos dados. No caso deste trabalho foram identificadas as depressões espúrias presentes no MDE gerado, utilizando o comando *Fill Sinks*. Essa correção faz com que o sentido preferencial do escoamento superficial nos modelos seja sempre considerado da maior para a menor elevação, de forma

a representar o fenômeno como observado na realidade;

4 - Elaboração de perfis topográficos representativos e trabalhos de campo para reconhecimento do meio físico, reconhecimento de feições e padrões morfológicos, e limites da BHRC;

5 – Incorporação da geologia à base cartográfica: - Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Escala 1:100.000, CODEMIG, 2005 - Mapa Geológico Mariana: Folhas parciais SF.23-X-B-I-3 e SF.23-X-B-IV-1 e Mapa Geológico Ouro Preto: Folha integral SF.23-X-A-III-4 e Folha parcial de SF.23-X-A-VI-2 escala 1:50.000. A cartografia geológica, principalmente em relação aos depósitos de cobertura foi complementada por trabalhos de campo realizados em toda a extensão da bacia;

6 – Compartimentação do relevo e elaboração da carta geomorfológica baseada em conhecimento especialista (Método Heurístico).

Este primeiro nível de informações sobre o relevo da BHRC foi obtido a partir de análise qualitativa subjetiva, por meio de julgamento especialista com conhecimento prévio. Esta compartimentação baseou-se essencialmente em levantamentos de campo, na elaboração de perfis topográficos e análise de dados cartográficos disponíveis.

Identificadas as unidades geomorfológicas foram analisadas as classes predominantes de altimetria e declividade para cada uma das unidades, através da elaboração de histogramas de frequência;

7 – Compartimentação do relevo a partir de composição colorida RGB e realce dos padrões de relevo:

Para uma representação mais detalhada e um melhor entendimento da morfologia da bacia hidrográfica, elaborou-se uma segunda análise da compartimentação do relevo, complementar à primeira, baseada nas métricas da superfície, a partir da geração de parâmetros morfométricos do terreno derivados da topografia. Os parâmetros morfométricos derivados utilizados nessa análise foram altimetria, declividade e curvatura. Segundo Borges (2007), a composição colorida é uma forma de sintetizar um número significativo de informações em uma única imagem, cujo resultado é a caracterização de ambientes distintos a partir dos diferentes padrões tonais e texturais gerados. Essa técnica realça as feições do relevo permitindo a sua interpretação com maior facilidade e vem sendo utilizada em vários estudos destacando-se, Hermuche *et al.* (2002), Dantas *et al.* (2003), Martins *et al.* (2004c), Ferreira *et al.* (2007), Lima *et al.* (2009), Couto Júnior *et al.* (2010), Passo *et al.* (2010), Saha *et al.* (2011), Vasconcelos *et al.* (2012), Sena-Souza *et al.* (2013).

Na composição colorida RGB dos parâmetros morfométricos, os dados de altimetria preencheram o canal do vermelho, a declividade o canal verde, e a curvatura o canal azul, agrupando todos os valores em uma só imagem. Essa ordem foi definida por convenção, já que a altimetria e a declividade definem as principais feições geomorfológicas. As unidades morfológicas (UM) foram mapeadas por meio da interpretação visual da composição, a partir do realce dos padrões de relevo. Após o reconhecimento dos padrões tonais foram gerados histogramas de frequência de cada uma das unidades morfológicas, para verificação das variações de altimetria e declividades em cada classe, que foram comparados com os dados geomorfológicos e com os resultados alcançados com a metodologia heurística;

8 – Proposta de metodologia de compartimentação do relevo adequada à BHRC, a partir dos resultados obtidos nas etapas 6 e 7:

A última etapa para a compartimentação do relevo foi resultante da interpretação dos resultados alcançados nas compartimentações obtidas com os métodos heurístico e de composição colorida, principalmente em relação às frequências de amplitude e declividade por unidade morfológica. Os referenciais teóricos para a construção da metodologia estão fundamentados em Ponçano *et al.* (1979), Ponçano *et al.* (1981) e Florenzano (2008).

Ponçano *et al.* (1979) propõem uma classificação taxonômica onde os fatos geomorfológicos empregam a noção de “sistemas de relevo” na busca de apreensão, para uma dada região, de áreas cujos atributos físicos sejam distintos das áreas adjacentes. Ponçano *et al.* (1981), em uma análise complementar à anterior propõem que os sistemas de relevo podem ainda ser subdivididos em porções menores do terreno denominadas “unidades de relevo”, as quais refletem formas simples, que ocorrem

sobre um único tipo de rocha ou depósito superficial, tais como feições de escarpas, morros, leques aluviais e colinas. Florenzano (2008) propõe critérios para a elaboração de uma carta de unidades morfológicas, destacando que a seleção da legenda, o nível de detalhamento e a escala dependem da resolução dos dados sensores remotos disponíveis, da realização de trabalho de campo, da disponibilidade de dados de outras fontes, das características da área de estudo e dos objetivos do mapeamento.

Para a BHRC e suas especificidades avaliadas em campo e por meio dos histogramas de frequência gerados nas compartimentações descritas anteriormente, a classificação das formas do relevo foi proposta considerando que as unidades morfológicas exprimem cada uma por si superfícies de terra formadas por processos naturais, com composição definida e conjunto de características físicas e naturais distintas, frente aos processos erosivos, intempéricos e tectônicos.

A cartografia das unidades morfológicas foi realizada considerando as seguintes Etapas:

Etapas 1 – Classificação da amplitude local da BHRC em três intervalos: amplitudes inferiores a 100 m; amplitudes variando de 100 a 300 m; e amplitudes superiores a 300 m;

Etapas 2 – Reclassificação dos intervalos de amplitude considerando a variação do gradiente predominante proposto: gradientes inferiores a 5%; gradientes variando entre 5 e 10%; gradientes variando entre 10 e 20%; e gradientes acima de 20%;

Etapas 3 – Classificação simplificada das formas de relevo conforme nomenclatura proposta.

Nove unidades morfológicas foram delimitadas a partir de métricas hipsométricas e clinográficas gerando a compartimentação proposta no Quadro 1:

Quadro 1: Classificação das formas de relevo para a BHRC.

Amplitude Local (m)	Gradiente Predominante	Formas de Relevo
< 100	< 5%	Suave a Plano
	5 a 10%	Rampa
	10 a 20%	Colina
	> 20%	Morrote
100 a 300	< 5%	Suave a Plano
	5 a 20%	Morro com encosta suave
	> 20 %	Morro
> 300	< 20%	Suave a Plano de Alta altitude
	> 20%	Montanhoso

Para a Etapa 1 os procedimentos algébricos e de superposição de camadas em ambiente SIG executados para a classificação das amplitudes foram os seguintes: 1 - Geração do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente com remoção das depressões fechadas (espúrias), e geração do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente invertido; 2 – Geração da direção de fluxo superficial de água e geração da direção de fluxo de água invertido; 3 - Geração da máscara de cumes e da layer de cumes propriamente dita, a partir da direção de fluxo invertida; 4 – Geração da layer que representa o domínio das elevações (bacias invertidas); 5 - Geração dos cumes máximos por estatística zonal; 6 – Determinação da altitude da base; 7 – Cálculo e classificação das amplitudes das elevações em relação a base; 8 – Análise de proximidade entre os pontos gerados; 9 – Geração das classes de amplitude; 10 - Validação dos polígonos a partir da comparação com a base topográfica; 9 - Elaboração da carta geomorfológica final com edição gráfica:

Para a elaboração do mapa de Unidades Geomorfológicas final, as classes de amplitude foram

reclassificadas considerando a variação do gradiente predominante. Considerando a impossibilidade de se caracterizar a unidade geomorfológica planícies aluvionares apenas a partir da amplitude e declividade dos terrenos, essa unidade foi extraída dos mapas geológicos existentes, sendo que seus limites foram redefinidos por trabalhos de campo, e posterior superposição em mapa desta unidade em relação as demais.

Resultados e Discussões

Compartimentação do Relevo Baseada no Método Heurístico

As análises heurísticas empregadas na avaliação da BHRC, embora qualitativas e subjetivas, possibilitaram a obtenção de um primeiro nível de informações sobre o relevo da bacia, por meio de julgamento especialista, a partir da avaliação dos dados cartográficos disponíveis e, principalmente, dos dados levantados em trabalhos de campo.

A Figura 2 retrata o resultado da compartimentação do relevo da BHRC em unidades geomorfológicas, a partir de análise heurística.

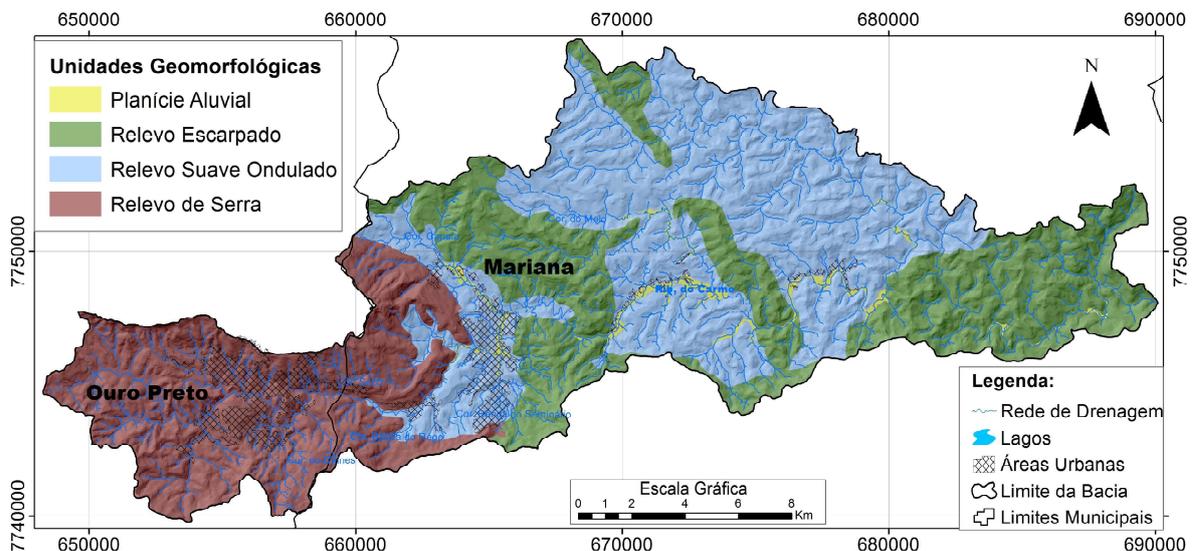


Figura 2 – Mapa de Unidades Geomorfológico da BHRC a partir de análise heurística.

A Figura 3 apresenta as classes predominantes de altimetria e declividade para cada uma das unidades, a partir da elaboração de histogramas de frequência.

A correlação entre a compartimentação do relevo pelo método heurístico, com os histogramas de frequência gerados para as unidades geomorfológicas delimitadas contribuíram para uma leitura da BHRC diferenciando

o relevo do Quadrilátero Ferrífero na porção oeste da bacia e os Planaltos Dissecados na porção leste. O relevo de Serra é evidenciado nas cabeceiras a oeste, condicionado estruturalmente, com substrato rochoso composto por formações metassedimentares neoproterozoicas características do Quadrilátero Ferrífero (filitos, quartzitos, xistos, formação ferrífera bandada e dolomitos) e

solos pouco espessos, predominando neossolos litólicos, cambissolos e afloramentos rochosos. Nesse relevo o ribeirão do Carmo é bem encaixado e com o leito mais declivoso. As altitudes médias variam entre 1.400-1.600 m, e o ponto culminante no Pico do Itacolomi (1.772 m). O controle estrutural na morfologia é marcante, e são descritos relevos tipo sinclinais suspensos e anticlinais esvaziados além de cristas estruturais do tipo hogback. Na porção centro-leste da BHRC, o relevo é mais dissecado e foi subdividido em relevo escarpado, suave ondulado e planície aluvial. O relevo predominante é suave ondulado, com predomínio de solos mais espessos (argissolos e latossolos) estando a região inserida a um domínio

morfoestrutural com exposição de rochas cristalinas, deformadas e deslocadas do embasamento, atingidas por sucessivos estágios de erosão e submetidos a processos intempéricos que produziram pacotes de alteração evoluídos. O intenso processo de dissecação fluvial foi responsável pela origem das formas de colinas e cristas com vales encaixados e/ou de fundo plano (CPRM, 1993). São mais frequentes pequenas planícies de inundação e quase não há saltos consideráveis ao longo do leito dos canais. Neste setor a drenagem ganha um padrão dendrítico e o curso principal recebe vários afluentes. As altitudes são muito variáveis, oscilando entre 1.000 e 1.200 m nas cristas e 500-800 m nos vales.

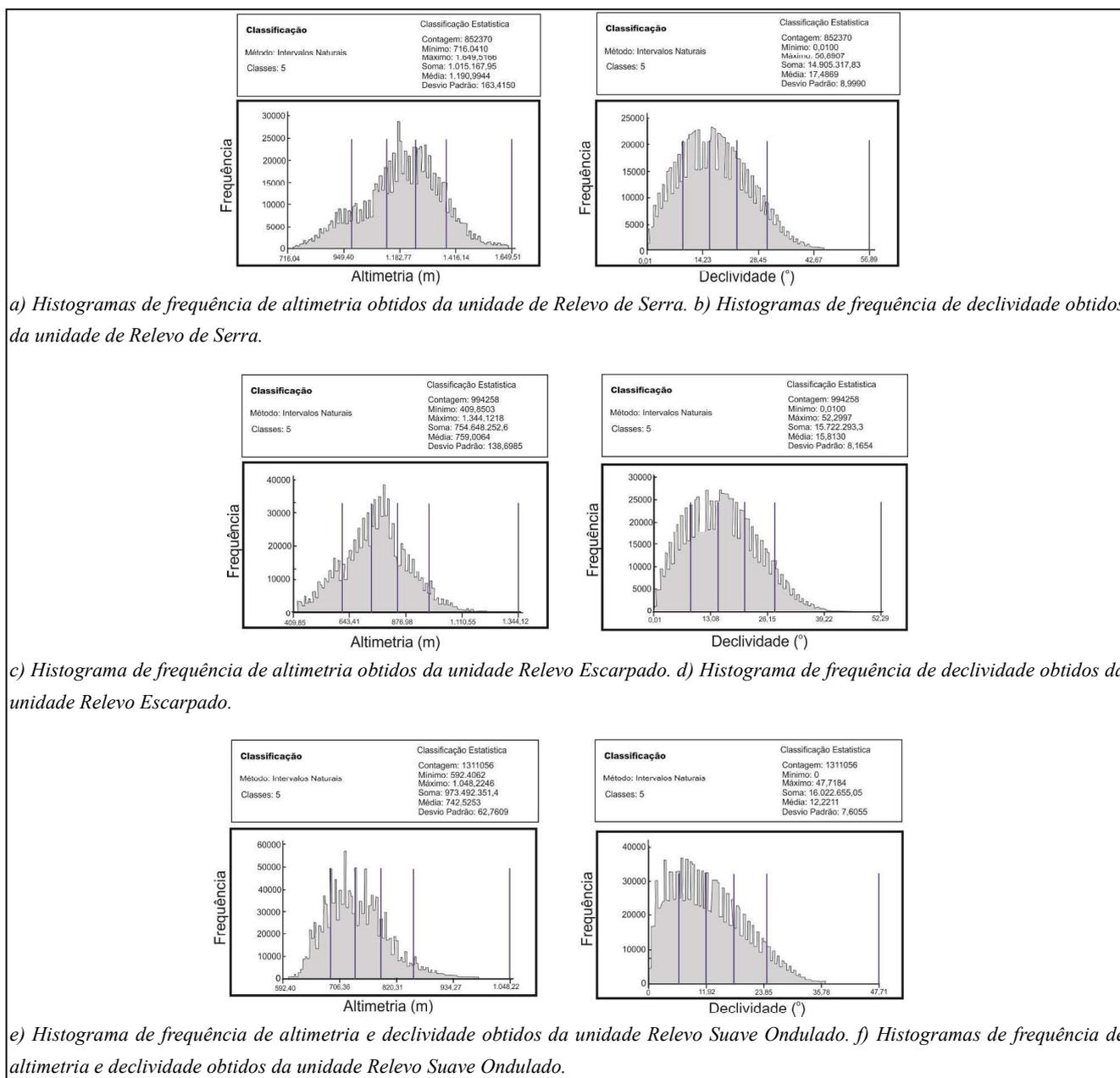


Figura 3 – Histogramas de frequência de altimetria e declividade obtidos das unidades morfológicas.

Compartimentação do Relevo a partir de Composição Colorida RGB e Realce dos Padrões de Relevo

A Figura 4 retrata a composição colorida RGB dos parâmetros morfométricos, onde os dados de altimetria preencheram o canal do vermelho, a declividade o canal verde, e a curvatura o canal azul, agrupando todos os valores em uma só imagem.

A partir da interpretação visual da composição

colorida as unidades morfológicas (UM) foram individualizadas, a partir do realce dos padrões de relevo (Figura 5).

Com o reconhecimento dos padrões tonais foram gerados histogramas de frequência de cada uma das unidades morfológicas, para verificação das variações de altimetria e declividades em cada classe, que foram comparados com os dados geomorfológicos e com os resultados alcançados com a metodologia heurística.

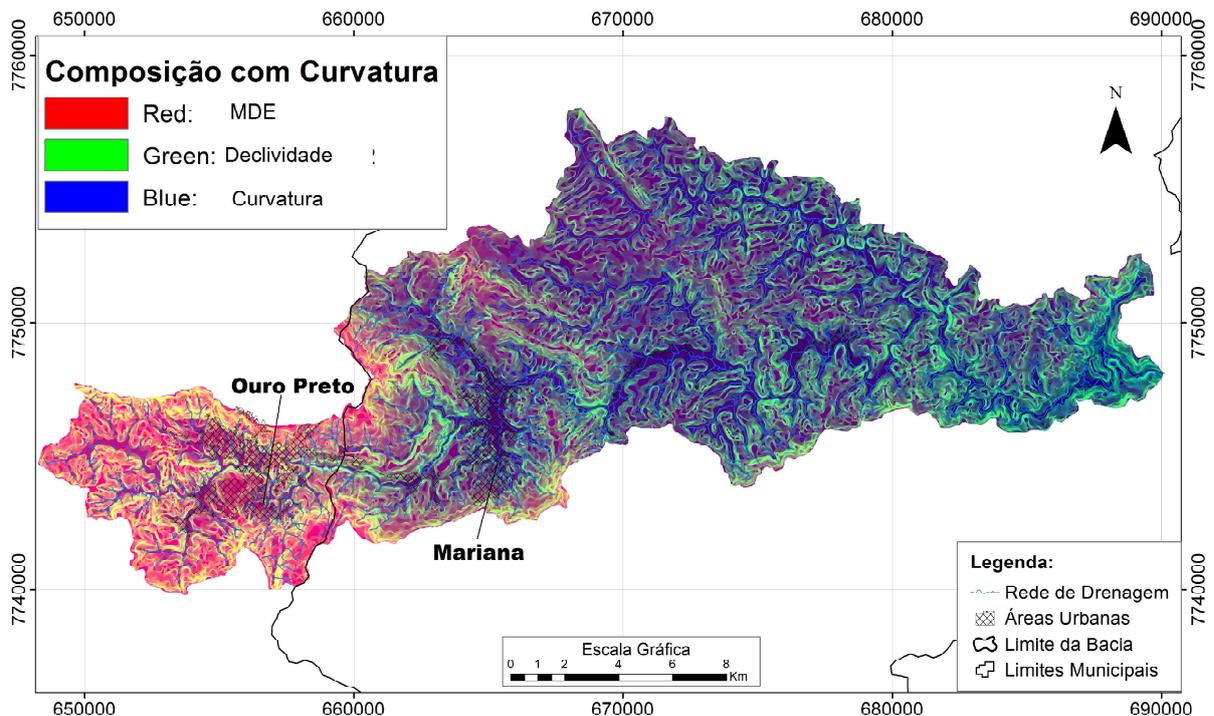


Figura 4 – Composição colorida RGB do MDE, declividade e curvatura da BHRC.

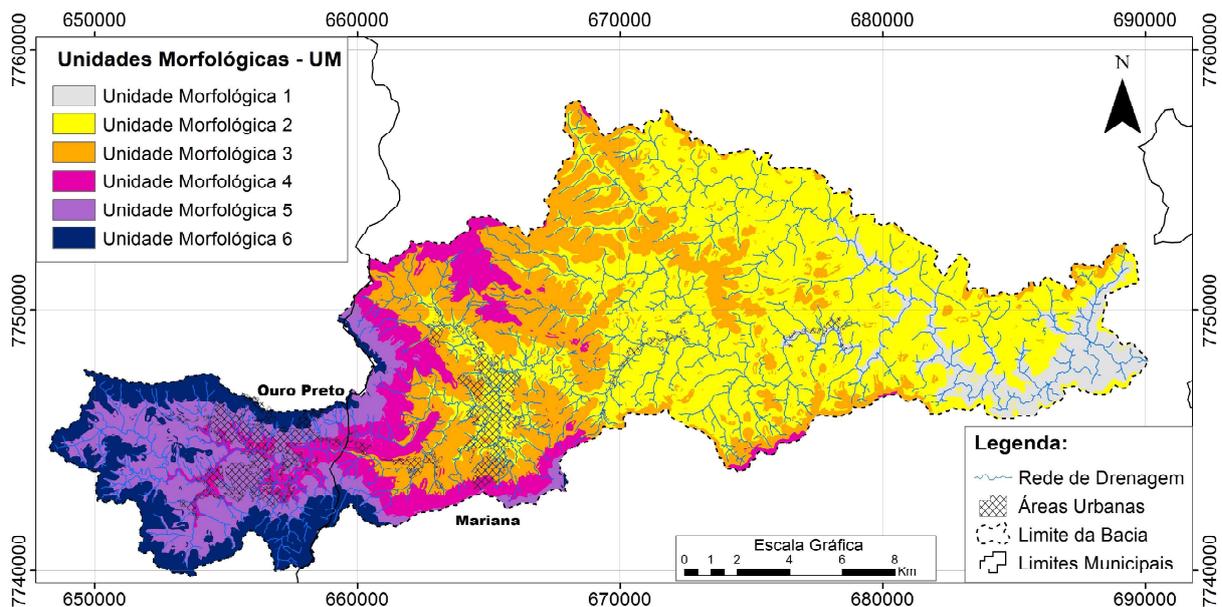


Figura 5 – Delimitação das unidades morfológicas (UM) a partir da composição colorida RGB, para geração dos histogramas de frequência.

Compartimentação Final do Relevo da BHRC

A última etapa para a compartimentação topográfica foi resultante da interpretação dos resultados alcançados nas compartimentações obtidas com os métodos heurístico e de composição colorida, em relação às frequências de amplitude e declividade por unidade morfológica.

A Figura 6 retrata a correlação entre a classificação da amplitude local da BHRC nos intervalos de ampli-

tudes inferiores a 100 m, amplitudes variando de 100 a 300 m, e amplitudes superiores a 300 m.

A correlação entre a classificação das amplitudes com os intervalos de gradiente propostos (gradientes inferiores a 5%, gradientes variando entre 5 e 10%, gradientes variando entre 10 e 20%, e gradientes acima de 20%) resultou na classificação das nove unidades morfológicas adotadas para a BHRC (Figura 7).

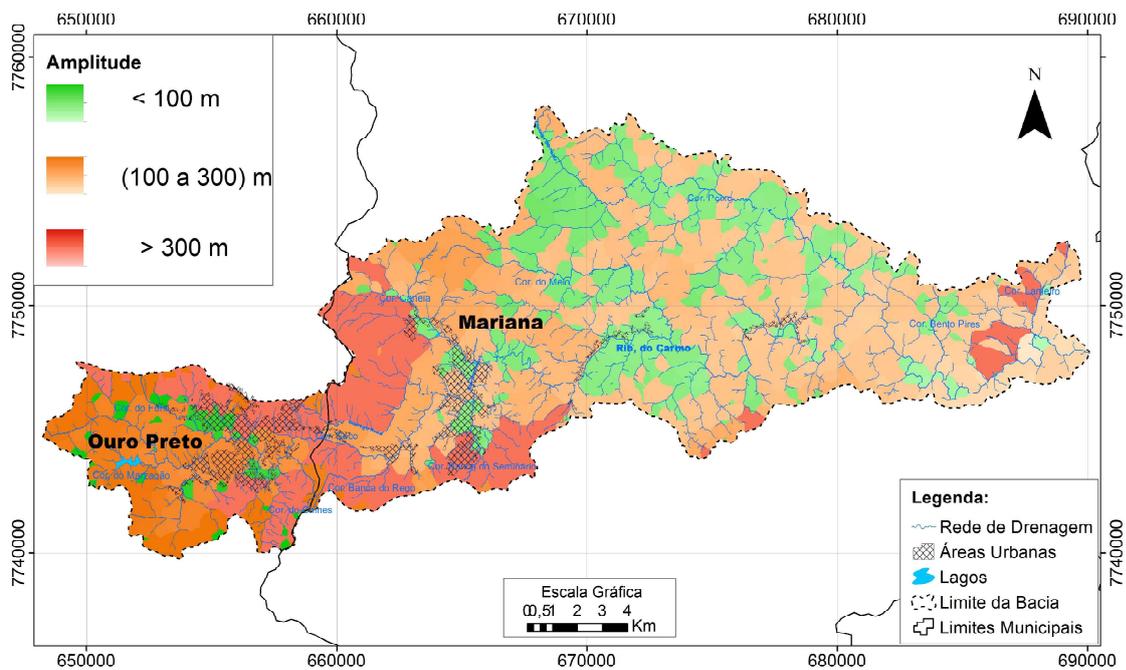


Figura 6 – Mapa de amplitudes relativas da BHRC.

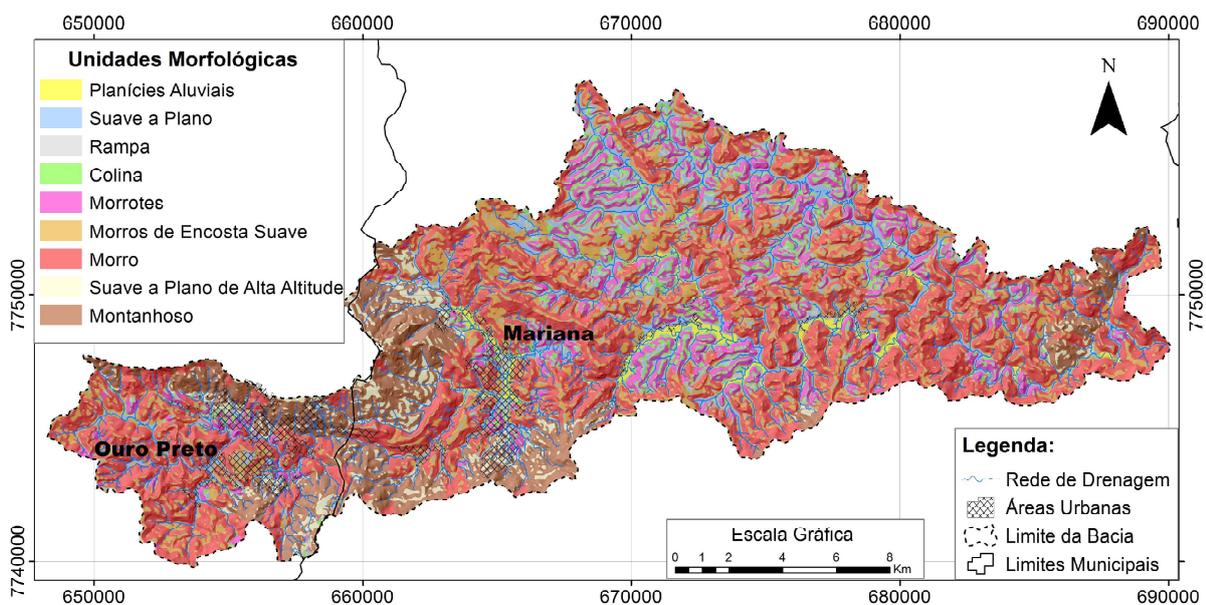


Figura 7 – Mapa de Unidades Morfológicas da BHRC.

A Unidade Relevo Montanhoso representa as porções do território com altitudes superiores a 750 m e declividades acentuadas, gradientes geralmente ultrapassando os 35%, chegando, às vezes, a valores superiores aos 100%. São comuns “paredões” rochosos que culminam em cristas ou plataformas que se destacam na paisagem. A estruturação geológica condiciona a rede de drenagem. Ocorre em aproximadamente 12% do território o que representa em área cerca de 39,34 km². As porções mais representativas são as Serras de Ouro Preto e Itacolomi, a oeste da Bacia, e a região do Distrito de Furquim, no extremo leste.

Embora seja a unidade que concentra a maior parte dos problemas relacionados a movimentos de massa no entorno da sede do município de Ouro Preto, sejam eles naturais ou sócio naturais, a omissão do poder público e a inexistência de um planejamento urbano adequado acaba por permitir a contínua ocupação desordenada dos terrenos. A Figura 8 exemplifica o processo de expansão urbana sobre as unidades de relevo Montanhoso, de Morro e de Planícies Aluviais, principalmente ao longo das últimas três décadas, unidades estas que podem ser consideradas, ao longo da BHRC, como as de menor aptidão a urbanização.

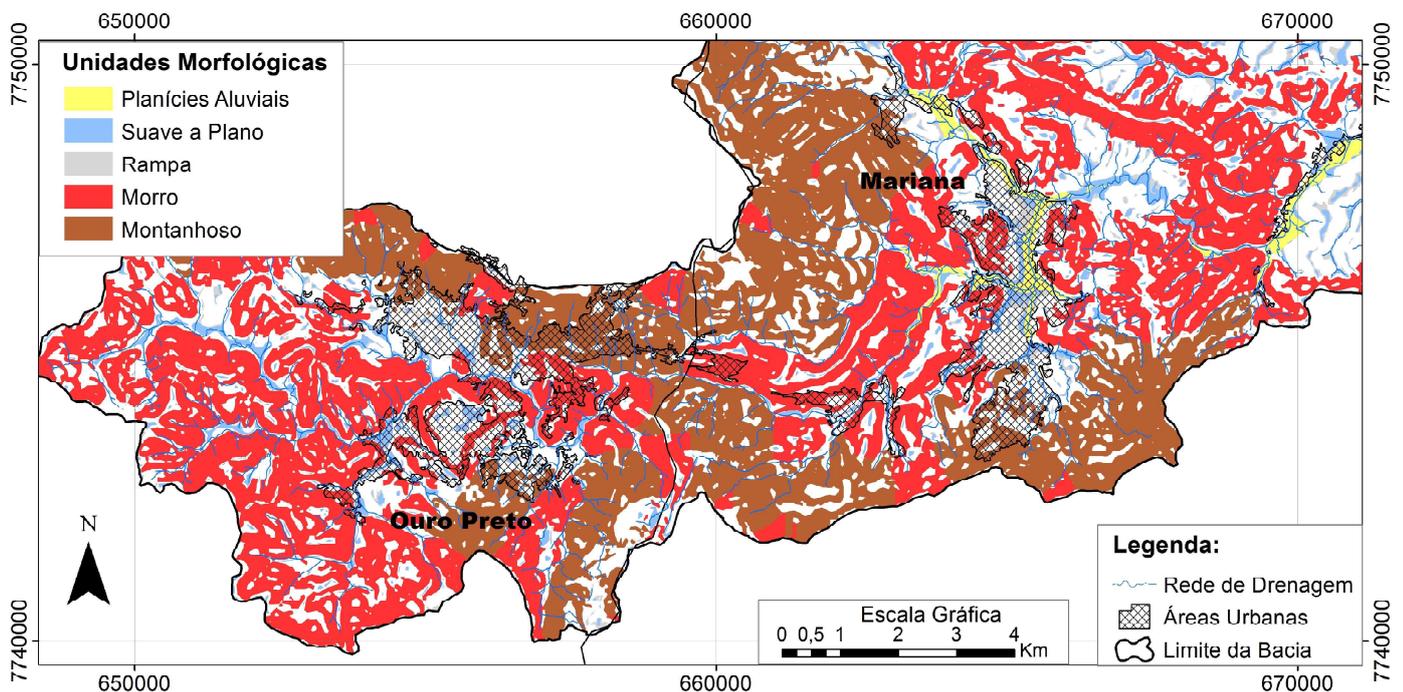


Figura 8 – Destaque para a expansão urbana das sedes dos municípios de Ouro Preto e Mariana sobre as unidades de relevo Montanhoso, de Morro e de Planícies Aluviais na BHRC, definidas como de menor aptidão à urbanização.

A Unidade Relevo de Morro é a unidade com maior recobrimento, ocorrendo em aproximadamente 38% do território (123 km²). É representada por uma extensa faixa que se estende de oeste, na cabeceira da BHRC nos contrafortes das Serras do Itacolomi na porção oeste, Serra do Gambo na porção central, e em toda porção noroeste da bacia. As elevações alongadas com vertentes íngremes e topos em crista são as feições mais marcantes. As altitudes predominantes estão entre 600 e 800 m e 1100 e 1300 m, com desníveis dos topos para os fundos dos vales entre 100 e 300 m. Os declives se encontram, predominantemente, na faixa dos 30% a

35%. O substrato geológico é formado pelo Supergrupo Rio das Velhas (quartzitos, xistos diversos e formação ferrífera), na porção oeste, e pelo Complexo Santo Antônio do Pirapitinga, na faixa que se estende a leste, condicionando a rede de drenagem com destaque para o padrão dendrítico.

A suscetibilidade natural dos terrenos a movimentos de massa se amplia principalmente nos trechos com ocorrência de xistos e filitos desconfiados ou semi-confiados, sendo este um importante indicativo para a proposição de condicionantes ao processo de expansão urbana e alteração do uso atual do solo.

A Unidade Morro com encosta suave representa 18% do território (59 km²), ocorrendo, de forma generalizada ao longo de toda a bacia. Os declives são inferiores a 20% nas pendentes, assumindo valores menores em direção ao topo ocorrendo em altitudes entre 500 e 1400 m. Juntamente com as unidades Morrote e Colinas, estas unidades geomorfológicas podem ser consideradas na escala de análise proposta, como as que possuem maior aptidão a ocupação, por se tratarem de regiões com suscetibilidades reduzidas à deflagração de processos geodinâmicos (Figura 9). Não obstante, estudos complementares devem ser executados nas escalas de detalhe para confirmação do uso mais ade-

quado dos terrenos. Figura 9 A Unidade Morrote ocorre principalmente no entorno da sede do município de Mariana e nas porções central e norte da BHRC em uma área aproximada de 32 km². Predominam declives próximos de 20%. O desnivelamento entre o topo e os vales da ordem das dezenas de metros, reflete as elevações típicas do Planalto Dissecado, formando mares de morros, com vertentes mais suaves que as unidades anteriores. O padrão de drenagem típico é o dendrítico. Quanto à distribuição litológica, o substrato é formado por rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapitinga e do Complexo Santa Bárbara (gnaisses diversos).

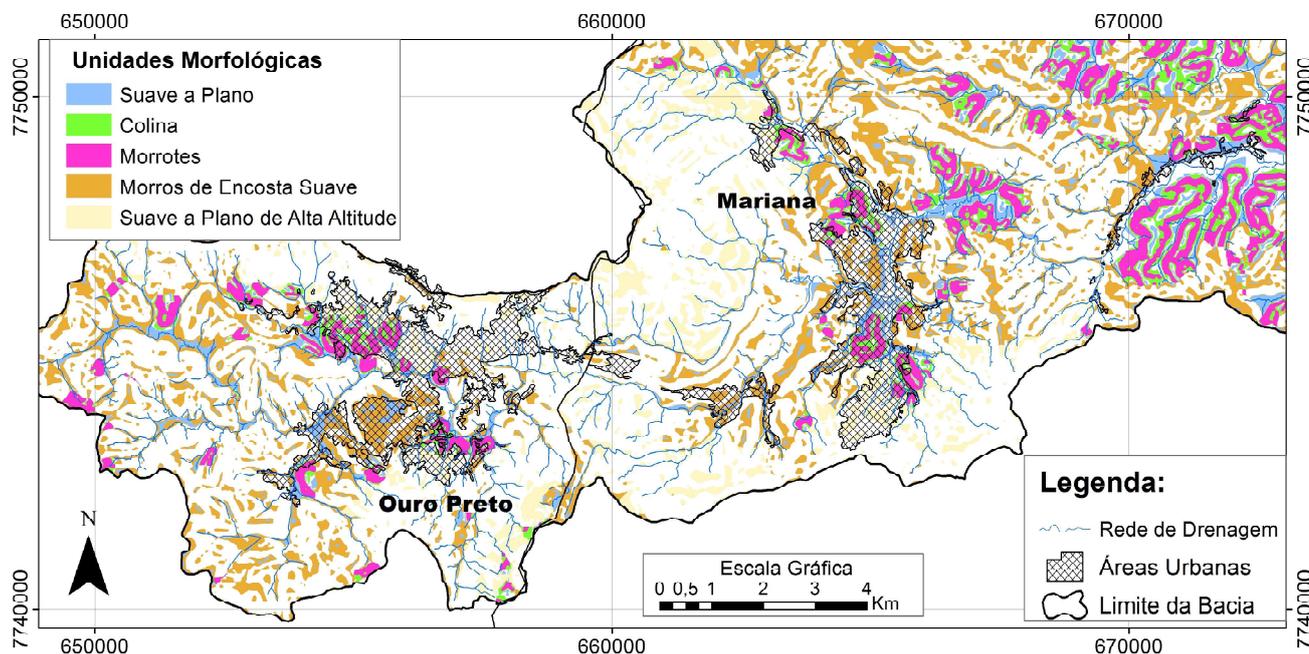


Figura 9 – Destaque para as unidades Colina, Morrotes, Morros de Encostas Suaves e Suave a Plano de Altitude no entorno das áreas das sedes dos municípios de Ouro Preto e Mariana, unidades estas caracterizadas como de maior aptidão à urbanização na BHRC.

As Colinas possuem um padrão multiconvexo e são remanescentes de Chapadas que estão no final do processo de erosão e transformação em Rampa de Colúvio. A pedologia presente nessa unidade é constituída por Latossolo Amarelo ou Cambissolo. Esta unidade ocorre em uma área pouco expressiva na BHRC (16,5 km²) associada com a unidade Morrote. Quanto à distribuição litológica, o substrato é formado por rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapitinga e do Complexo Santa Bárbara (gnaisses diversos).

As Rampas são caracterizadas por um relevo suave com uma leve inclinação em direção às linhas de dre-

nagens. Sua formação está associada ao ciclo de erosão Velhas (Novaes Pinto, 1986b). A ocorrência é pontual distribuindo-se principalmente na porção central e norte da bacia em uma área aproximada de 8,7 km².

A Unidade Relevo Suave a Plano representa os setores do território com amplitudes inferiores a 100 m e declividades inferiores a 5%, ocorrendo em uma área de 21,5 km², principalmente nas porções de baixada em associação com linhas de drenagem.

Já a Unidade Relevo Suave a Plano de Altitude se diferencia da unidade Relevo suave a plano apenas pelo fato de ocorrer em porções do território com amplitu-

des superiores a 100 m. Ocorre em uma área de 13,2 km² no setor oeste da bacia e no entorno do distrito de Furquim a leste, sempre associado a unidade de relevo Montanhoso. Os topos, caracterizados por relevo plano e suave ondulado com padrões multiconvexos e processos dinâmicos estáveis estão englobados nesta unidade.

As Planícies Aluviais são as zonas de aporte de materiais provenientes dos relevos maiores, representadas pelos fundos dos vales mais abertos. Possuem altitudes inferiores a 600 m e só representam 1,83% (5,9 km²) da área total da bacia. São importantes por condicionarem o desenvolvimento de alguns distritos, seja pela concentração de ouro de aluvião, seja pelo relevo mais plano.

Embora sua delimitação represente os terrenos naturalmente suscetíveis a processos de inundação, com histórico consolidado de ocorrências ao longo da bacia, os terrenos foram e continuam sendo ocupados, principalmente ao longo do Ribeirão do Carmo na sede do município de Mariana e dos distritos de Monsenhor Horta e Bandeirantes corroborando para a ampliação contínua das perdas e danos que este município poderá ser submetido quando da ocorrência de eventos de chuva.

O discurso sempre presente sobre a importância do uso da geomorfologia na elaboração dos planos diretores, planos de ordenamento territorial, entre outros, não sido aplicado na prática, onde apenas a declividade é utilizada pelos planejadores como elemento orientador e restritivo. Além disso, o uso da métrica declividade não leva em consideração o substrato e formas do relevo, mas apenas o que foi definido em Lei em relação às áreas de proteção permanente, bem como aos limites impostos para a implantação de vias urbanas e rurais.

Não obstante, as análises geomorfológicas envolvem diversos procedimentos e escalas, desde o levantamento bibliográfico até à elaboração das cartas propriamente ditas. Assim, simplificar as metodologias de avaliação e classificação dos sistemas naturais, para as escalas de planejamento urbano e ordenamento territorial contribui para que o poder público e os profissionais ligados a estas temáticas tenham maior interesse em utilizar os dados na construção de cenários mais adequados para a expansão urbana. Deve-se inicialmente buscar, sempre que possível, a priorização dos terrenos com maior aptidão à urbanização, em detrimento aos terrenos com menor aptidão à urbanização, sem deixar

de considerar as especificidades e a complexidade dos sistemas naturais em tais planejamentos.

Conclusões

A caracterização adequada dos terrenos, por meio de diagnósticos ambientais é imprescindível para que se possa determinar as atratividades para suportar os diversos usos, os impactos resultantes destes usos e as medidas que podem ser adotadas para a prevenção dos problemas.

Incorporar os diagnósticos do meio físico, destacando-se aqui as análises geomorfológicas, na definição dos limites propostos para a expansão urbana dos municípios mostra-se cada dia mais necessário, visando à previsão de condições potencialmente favoráveis à deflagração de processos geológicos e hidrológicos, bem como a adoção de medidas preventivas. Para isso tem que haver inicialmente a geração de documentos técnicos de fácil entendimento e aplicação, mas não menos importante, uma forte coordenação de governo, ações intersecretariais e parcerias com a sociedade para a transferência e utilização do conhecimento gerado sobre o meio físico das cidades.

Para a BHRC o método heurístico demonstrou a possibilidade de se gerar a escala e área proposta de trabalho um mapa geomorfológico preliminar. Já os histogramas de frequência, permitiram um melhor entendimento dos padrões de amplitude e declividade ao longo da bacia, e uma correlação direta dos dados com o arcabouço geológico. Embora os três mapas gerados estejam corretos em relação a leitura da geomorfologia, o nível de detalhamento obtido com a carta geomorfológica final dos terrenos da BHRC possibilita aos planejadores uma leitura do meio físico em uma escala adequada em relação à aptidão dos terrenos em relação à necessidade de expansão urbana. Entretanto, a simplificação da classificação não limita e/ou impede a aplicação de outros métodos, desde que estes se atenham as escalas necessárias e aos conjuntos de dados de entrada que devem ser gerados nas mesmas escalas, para as correlações que se fizerem necessárias.

As unidades Morros de Encosta Suave, Morrotes e Colinas foram definidas com as de maior aptidão à urbanização. A classificação e delimitação destas unidades não elimina a necessidade de que análises de detalhe sejam executadas quando da elaboração de projetos de parcelamento. Entretanto, a diferenciação destas

unidades morfológicas permite que seus limites sejam priorizados em relação as demais, quando da definição do polígono que representará as áreas de expansão urbana proposta para um município.

Em contrapartida, a delimitação das unidades morfológicas Planícies Aluviais, Suave a Plano, Morro e Montanhoso, classificadas como as de menor aptidão à urbanização, permitirá que o poder público construa um cenário de expansão urbana evitando os terrenos com maior recorrência de deflagração de processos geodinâmicos relacionados a movimentos gravitacionais de massa e a processos de inundação e/ou os terrenos de maior complexidade geotécnico.

A proposição metodológica para a leitura da geomorfologia ao longo da BHRC, além de retratar as especificidades locais, diferentemente da maioria das análises que apenas replicam estudos regionais propostos para escalas muito pequenas, também pode ser aplicada e/ou adaptada em qualquer outro município, bacia hidrográfica, e/ou unidade administrativa, já que as amplitudes classificadas refletem as variações locais de altimetria e não a amplitude altimétrica da bacia.

Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. n. 18, IG-USP, S. Paulo, 1969.
- BISHOP, M.P.; JAMES, L.A.; SHRODER Jr, J.F.; WALSH, S.J. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. **Geomorphology** 137. p. 5–26, 2012.
- BORGES, M. E. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; ARCOVERDE, G. F. B.; GOMES, R. A. T. Emprego do Processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. **Espaço e Geografia**, v. 10, n. 2, p. 401-429, 2007.
- CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 1v. (série de publicações técnicas, 10). 1983.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed. 188p. 1980.
- COUTO JUNIOR, A. F.; SOUZA, V. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; SANTANA, O. A.; FRETAS, L. F.; GOMES, R. A. T. Integração de Parâmetros Morfométricos e Imagem aster para a Delimitação das Fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 11, n. 1, 2010.
- CPRM, 1993. **Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1**. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orisvaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM. 196 p.
- DANTAS, M. E. Geomorfologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCOMI **Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal: fase I**. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 2, 2003. p. 1-29.
- DEMEK, J. **Handbuch der Geomorphologischen Detailkartierung**. Ferdinand Hirt: Viena, 1976.
- EVANS, I.S. Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? **Geomorphology** v.137, p. 94 – 106. Amsterdam, 2012.
- FERREIRA, I. L., SOUZA L. H. F., SÍLVIO C. R. 2007. Estudos Geomorfológicos em Áreas Amostrais da Bacia do Rio Araguari – MG: Destaque para a Importância da Cartografia Geomorfológica. **Espaço e Geografia**, Vol.10, Nº 1 (2007), 143:171.
- FLORENZANO, T. G (Org). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 318p.
- HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, É. S.; DRUCK, S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, N. B. F.; REATTO, A. **Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: Bacias Hidrográficas Assimétricas**. Documentos Embrapa - CPAC, Planaltina, v. 68, p. 23, 2002.
- IBGE – Fundação IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenadores: Nunes, B. de A; Ribeiro, M.I. de C.; Almeida, V.J. de; Natali Filho, T. Série Manuais Técnicos em Geomorfologia n. 5. Fundação IBGE, R. de Janeiro, 1995, 112 p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do censo 2014.
- LIMA, L. A. S.; MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CASTRO, K. B.; VASCONCELOS, V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. **Compartimentação Geomorfológica e suas relações com os solos na Bacia do Alto rio Preto, GO**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - CPAC, Planaltina, DF, v. 255, p. 24, 2009.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Unidades de Paisagem do Distrito Federal, escala 1:100.000**. Documentos. Embrapa Cerrados. [S.l.], p. 22. 2004c.

- PASSO, D. P.; CASTRO, K. B.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; REATTO, A.; LIMA, L. A. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. **Caracterização Geomorfológica do Município de São Desidério, BA, Escala 1:50.000**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - CPAC, Planaltina, DF, v. 283, p. 29, junho 2010.
- PONÇANO, W. L., BISTRICHI, C. A., CARNEIRO, C. D. R. **O Conceito de Sistemas de Relevo Aplicado ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. 1979. 10 pp.
- PONÇANO, W.L., CARNEIRO, C.D.R., BISTRICHI, C.A., ALMEIDA, F.F.M., PRANDINI, F.L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 94 p. (Publicação no. 1183).
- ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. Rev. **Geografia**. São Paulo, IG-USP, 1992.
- SAHA, K.; WELLS, N. A.; MUNRO-STASIUK, M. An object-oriented approach to automated landform mapping: A case study of drumlins. **Computers e Geosciences**, v.37, p.1324-1336, 2011.
- SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.; SHARMA, M., KUMAR, R. (2007). “GIS-based landslide hazard zonation: a case study from the Parwanoo area, Lesser and Outer Himalaya, H.P., India”. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment** 27, 129–137.
- SMITH, M.J.; CLARK, C.D. Methods for the visualization of digital elevation models for landform mapping. *Earth Surf. Process. Landforms* v. 30, p. 885-900, 2005.
- VASCONCELOS, V; CARVALHO JUNIOR, O. A; MARTINS, E. S; COUTO JUNIOR, A. F; GUIMARÃES, R. F; GOMES, R. A. T. 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**, v.13, n.2, (Abr-Jun) p.171-186, 2012.