

# ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO

<https://doi.org/10.4215/rm2020.e19003>

Paula Márcia Brasil Garcia <sup>a\*</sup> - Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin <sup>b</sup> - Pedro Benedito Casagrande <sup>c</sup>

(a) Dra. em Geografia. Professora da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), BELO HORIZONTE (MG), Brasil.

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7883-7594>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/4167569331663299>.

(b) Dra. em Geografia. Professora da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), BELO HORIZONTE (MG), Brasil.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3793-9989>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/1774474593379334>.

(c) Dr. em Geografia. Professora da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), BELO HORIZONTE (MG), Brasil.

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4515-1630>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/6024374437993139>.

## Article history:

Received 04 October, 2019

Accepted 19 October, 2019

Publisher 15 January, 2020

## (\* ) CORRESPONDING AUTHOR

**Address:** Avenida Prof. Mário Werneck, 1802/401, CEP: 30455610, Belo Horizonte (MG), Brasil. Telephone: (31) 98683-4820

**E-mail:** paulabrazilgarcia@yahoo.com.br

## Resumo

O crescimento sem planejamento adequado das cidades pode acarretar em áreas potencialmente de risco a movimentos de massa e erosão acelerada, o que se mostra presente em porções consideráveis de áreas urbanas do mundo subdesenvolvido e em desenvolvimento. É indício de que a questão ambiental não recebe a devida atenção nos vários tipos de planejamentos territoriais. Nesse sentido, é fundamental que o planejamento do território das cidades contenha elementos analíticos que induzam e facilitem a avaliação do potencial de uso e ocupação da terra, de maneira a prevenir e mitigar os problemas ambientais decorrentes da ocupação desordenada ou inadequada da terra. A utilização da geomorfologia como base da análise integrada do meio ambiente pode ser usada não apenas na etapa de planejamento das cidades, como também da sua gestão, uma vez que as dinâmicas da superfície e subsuperfície constituem o fundamento das transformações pelas quais o município passa, tornando-se uma ferramenta de fundamental importância para o estabelecimento de planos de ação envolvendo o desenvolvimento sustentável dessas áreas. O objetivo do presente trabalho é o de apresentar abordagens complementares das análises ambientais, no sentido de orientar e subsidiar o desenvolvimento de Planos Diretores e de outros instrumentos de planejamento territorial. Para isto, utilizamos o Índice Geomorfológico como subsídio ao planejamento urbano na indicação de áreas potenciais para ocupação no município de Itabirito, Minas Gerais.

**Palavras-chave:** Geomorfologia; planejamento territorial; análise ambiental.

## Abstract / Resumen

### GEOMORPHOLOGICAL INDEX AS SUPPORT TO URBAN PLANNING

Growth without adequate city planning can lead to potential risk areas for growth and accelerated erosion, which is present in considerable portions of urban areas of the underdeveloped and developing world. The clue to an environmental issue is not a conscious and complete task in territorial planning. In this sense, it is fundamental to apply the potential of land use and occupation, in order to prevent and mitigate the environmental problems of disorderly or inadequate occupation of land. The use of geomorphology as a basis for the analysis of metropolitan areas is in the stage of the planning of the planning of metropolitan building, by the date of the planning of the cities of the underground process by the county passes, to become a tool of importance fundamental for the establishment of action plans. The work is the first plan to choose environmental guidelines, there is no sense to guide and subsidize the development of plans and directors. For this, we use the Geomorphological Index as a subsidy to the urban occupation planning of areas of occupation in the municipality of Itabirito, Minas Gerais.

**Keywords:** Geomorphology; territorial planning; environmental analysis.

### ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO COMO SUBSIDIO A LA PLANIFICACIÓN URBANA

El crecimiento sin planificación adecuada de las ciudades puede acarrear en áreas potencialmente de riesgo a movimientos de masa y erosión acelerada, lo que se muestra presente en porciones considerables de áreas urbanas del mundo subdesarrollado y en desarrollo. Es indicio de que la cuestión ambiental no recibe la debida atención en los diversos tipos de planificaciones territoriales. En este sentido, es fundamental que la planificación del territorio de las ciudades contenga elementos analíticos que induzcan y faciliten la evaluación del potencial de uso y ocupación de la tierra, de manera a prevenir y mitigar los problemas ambientales derivados de la ocupación desordenada o inadecuada de la tierra. La utilización de la geomorfología como base del análisis integrado del medio ambiente puede ser usada no sólo en la etapa de planificación de las ciudades, sino también de su gestión, ya que las dinámicas de la superficie y subsuperficie constituyen el fundamento de las transformaciones por las que el municipio pasa, convirtiéndose en una herramienta de fundamental importancia para el establecimiento de planes de acción que involucren el desarrollo sostenible de esas áreas. El objetivo del presente trabajo es el de presentar enfoques complementarios de los análisis ambientales, en el sentido de orientar y subsidiar el desarrollo de Planes Directores y de otros instrumentos de planificación territorial. Para ello, utilizamos el Índice Geomorfológico como subsidio a la planificación urbana en la indicación de áreas potenciales para ocupación en el municipio de Itabirito, Minas Gerais.

**Palabras-clave:** Geomorfología, planificación territorial, análisis ambiental.

## INTRODUÇÃO

De acordo com Barthrellos (2007), cerca de 70% da população mundial vive hoje em cidades. O processo de urbanização no mundo, em função da sua intensidade trouxe em seu bojo, impactos ambientais que afetaram não somente os ecossistemas naturais, como também a população humana, mesmo que o grau, extensão e diversidade destes impactos tenham sido distintos em diferentes regiões e países (BARTHRELOS, 2007). Eles são em parte decorrentes do desaparecimento da cobertura vegetal e aumento da impermeabilização da superfície das vertentes, com efeitos sobre o aumento da frequência e intensidade das inundações nos centros urbanos (COOKE & DOORNKAMP, 1974; HUDSON, et al., 2015). Da mesma maneira, cidades cortadas por cursos de água, incluindo os de pequeno e médio porte, são submetidas a enchentes periódicas, levando à perda de bens materiais e de vidas humanas (WOLMAN & SCHICK, 1967; MONTGOMERY, et al., 1995; SKILODIMOU, et al., 2003; TOMINAGA, et al., 2009). Cada vez mais comuns são também as inundações e alagamentos associados à baixa taxa de infiltração decorrente da impermeabilização causada pelas construções, causando perdas econômicas relevantes nas áreas urbanas, em especial em zonas tropicais úmidas (THORNE, et al., 1997; GUPTA, 1999). Não menos importantes, são os frequentes deslizamentos registrados em zonas urbanas, mesmo em áreas consideradas estáveis do ponto de vista tectônico (GABET, 2007; GLADE & CROZIER, 2010; GIORDAN, et al., 2010). Além de comprometerem o equilíbrio ecossistêmico, as ações antrópicas, potencializadas pela densificação da população em áreas muitas vezes impróprias para edificações e construções, causam a o aumento da atuação de processos de erosão acelerada, em especial nas zonas periféricas das grandes cidades, com impacto não somente sobre as pessoas, mas também sobre as infraestruturas de coleta de água e sobre os cursos de água, contribuindo para seu assoreamento (SALA & INBAR, 1992; COOKE, 1976; MARANI, et al., 2001; URBAN, 2002; CLARKE, et al., 2003; THORNBUSH, 2015).

A ocupação da terra em áreas potencialmente de risco a movimentos de massa e a erosão acelerada presentes em porções consideráveis de áreas urbanas do mundo subdesenvolvido e em desenvolvimento, é indício de que a questão ambiental não recebe a devida atenção nos vários tipos de planejamentos territoriais (ALEXANDER, 1991; (GUPTA & AHMAD, 1999; ANTONY, et al., 2001; BOCCO et al., 2001; SKILODIMOU ET AL. 2003; FOOKES, et al., 2005; PARO & SMITH, 2008; GLADE & CROZIER, 2010; MONTZ & TOBIN, 2011; CASAGRANDE et al., 2017). Não menos importante, é o uso de sistemas fluviais para emissão de efluentes, com perda da capacidade dos rios de manter os ecossistemas aquáticos, com impacto negativo real na qualidade de vida das pessoas e dificuldades, cada vez mais frequentes, de captação de rios permanentes para captação de água potável. O processo de urbanização constitui, assim, um dos fatores mais ativos nas transformações das cidades e seus entornos (SALA & INBAR, 1992; URBAN, 2002) .

No Brasil, esse processo teve início na virada do século XIX para XX, quando deixou de ser monarquia e passou a ser república. De acordo com Nascimento, et.al., 2013, esse período foi caracterizado por significativas mudanças políticas, econômicas e sociais, como o fim da escravidão em 1888, ano em que foram modificados os modos de produção da época, o que acarretou na imigração de contingentes populacionais de origens europeia e em menor número, asiática. Esse contingente de imigrantes veio para substituir a mão de obra escrava, porém, paulatinamente, parte desses imigrantes optou por substituir o campo pelas cidades, participando do processo de industrialização e urbanização do país.

Reis (1995, apud NASCIMENTO et al., 2013), chama a atenção para o fato de que a queda da monarquia, promovida pelo golpe de Estado de origem militar, foi apoiada pelo movimento republicano que possuía base civil, constituída por uma parte da elite progressista, que atribuía à monarquia o atraso econômico e social a responsabilizando pelo baixo desenvolvimento do país. Através do projeto político republicano pretendia-se criar condições para o desenvolvimento capitalista tendo por referência, o modelo europeu cuja modernização possuía pilares positivistas, e era apoiado por militares e por uma burguesia urbana incipiente, composta por profissionais liberais e produtores agrícolas independentes da mão de obra escrava. Uma das mudanças políticas ocorridas neste processo foi à transformação das antigas províncias do Império em estados-membros de uma federação, os Estados Unidos do Brasil, e esses estados começaram a criar meios para obter controle político e de gestão dos seus respectivos territórios (NASCIMENTO et al., 2013).

O Brasil República, que possuía nos seus pilares ideológicos uma forte base positivista, buscava no início do século XX se transformar em um país moderno e urbano, ainda que se caracterizasse como um país basicamente agrícola. Objetivava iniciar uma nova era de progresso, industrialização, urbanização e aumento da racionalidade nas decisões políticas e administrativas, e esses anseios seriam materializados nas cidades. Elas deveriam ser o cenário dessa modernização (NASCIMENTO et al., 2013). Somente em meados do século XX o Brasil deixou de ser predominantemente rural e passa a ser urbano.

Segundo Holanda (2010), em 1940 a população urbana era de 26,35%, saltando em 1960 para 44,67% e alcançando, em 1970, a taxa de 55,92%. Na década de 1980 chega a 67,59%, em 1996 atinge 78,36% de urbanização e, conforme dados do IBGE (2015), a população urbana é de 84,72%, e a rural 15,28%. O forte processo de urbanização no Brasil gerou o fenômeno da metropolização, com o desenvolvimento de grandes centros metropolitanos, dentre eles o da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH.

A RMBH foi criada no ano de 1973 pela Lei Complementar Federal n.º 14/73 e, atualmente, é regulamentada por leis complementares do Estado de Minas Gerais - LEC n.º88/2006 e LEC n.º 89/2006. O município de Itabirito, apesar da proximidade com a capital, não faz parte da RMBH, mas compõe o Colar Metropolitano, formado por municípios do entorno da RMBH afetados pelo processo de metropolização, que busca integrar o planejamento, a organização e a execução de funções públicas de interesse comum. Por não fazer parte da RMBH propriamente dita, Itabirito não faz parte do planejamento metropolitano. Utiliza-se, no entanto, de outros instrumentos de planejamento como o Plano Diretor, regulado pela Constituição Federal de 1988 e o Estatuto das cidades (Lei Federal 10.257/2001) os quais determinam que municípios com população maior que 20.000 habitantes, como é o caso de Itabirito, adotassem este instrumento como norteador do ordenamento urbano.

Contudo, após dezessete anos de implantação das bases legais de um desses instrumentos, é necessário levantar-se questões relativas ao Plano Diretor do município. Uma das mais importantes refere-se à questão de como propor e conduzir políticas públicas no âmbito ambiental tendo como recorte o município, uma vez que a organização e estruturação dos elementos naturais, não tendem a obedecer aos limites político-administrativos adotados como base de planejamento no país. Mais ainda, de que forma os aspectos urbano-ambientais são tratados, e se estes são realmente efetivos. O que se verifica atualmente é a inobservância, ou atenção secundária, dos elementos naturais nos planos voltados para o direcionamento da ocupação urbana, considerados condição sine qua non para o desenvolvimento equilibrado das cidades.

Levando em consideração essas questões, é fundamental que o planejamento do território das cidades contenha elementos analíticos que induzam e facilitem a avaliação do potencial de uso e ocupação da terra, de maneira a prevenir e mitigar os problemas ambientais decorrentes da ocupação desordenada ou inadequada da terra (COATES, 1976; COOKE, 1976; SEAR, et al., 1995; BATHRELLOS, 2007; ADELI, & KHORSHIDDOUST, 2011; HUDSON, et al., 2015).

As formas naturais do relevo, ou mesmo as criadas ou induzidas pela atividade humana, constituem elementos da paisagem que integram em sua estrutura, fatores, elementos e características relativas à sua gênese e dinâmica. Pode-se assumir que o relevo natural constitui a síntese da atuação dos fatores climáticos, da fauna e da flora sobre as rochas, tendo como instrumentos a água e outros agentes (KIRKBY, 1978; THORNE et al., 1997; SOULSBY et al., 2006). Mais recentemente, tendo em vista a escala, abrangência, e intensidade da sua atuação, o homem também entrou nesta equação, respondendo pela alteração na dinâmica da superfície terrestre, que envolve a atuação de processos de erosão e de movimentos de massa, além da perda de recursos naturais, fundamentais para garantir qualidade de vida aos seus moradores (COOKE, 1976; BATHRELLOS, 2007; MARANI, 2001). A geomorfologia tem como objeto de estudos justamente o relevo em suas diferentes dimensões, desde a gênese, até sua dinâmica e evolução. Ela fornece, portanto, uma base teórico-metodológica consistente para a análise das formas da superfície terrestre, uma vez que estas constituem estruturas mais ou menos permanentes da paisagem natural que amalgamam características semelhantes em termos de variabilidade geológicas, das geocoberturas das vertentes, das coberturas vegetais, dos processos de superfície e subsuperfície, incluindo os fluviais e dos níveis freáticos (COOKE & DOORNKAMP, 1974; BROWN, 1996), além dos recursos hídricos, possibilitando vislumbrar várias dimensões das alterações ambientais no espaço urbano. Dessa maneira, a análise do relevo, seus componentes e dinâmicas, permite a avaliação dos

potenciais de uso das diversas áreas que compõem uma região.

A utilização da geomorfologia como base da análise integrada do meio ambiente pode ser usada não apenas na etapa de planejamento das cidades, como também da sua gestão, uma vez que as dinâmicas da superfície e subsuperfície constituem o fundamento das transformações pelas quais o município passa, tornando-se uma ferramenta de fundamental importância para o estabelecimento de planos de ação envolvendo o desenvolvimento sustentável dessas áreas (DOUGLAS, 1988; GUPTA & AHMAD, 1999; ANTHONY, 2001; WILCOCK, et al., 2003; BOHNET, 2010; MOHAPATRA, 2014; HUDSON, 2015).

O objetivo do presente trabalho é o de apresentar abordagens complementares das análises ambientais, no sentido de orientar e subsidiar o desenvolvimento de Planos Diretores e de outros instrumentos de planejamento territorial. Para isto, utilizamos o Índice Geomorfológico como subsídio ao planejamento urbano na indicação de áreas potenciais para ocupação no município de Itabirito, Minas Gerais.

## CARACTERÍSTICAS GERAIS E PROBLEMAS AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Itabirito (figura 1) encontra-se localizado na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte se integrando, juntamente com outros três municípios (Mariana, Diogo de Vasconcelos e Ouro Preto) à Microrregião de Ouro Preto. É composto pelos distritos Sede (antigo Arraial de Nossa Senhora da Boa Viagem de Itabira do Rio de Janeiro, e após 1745, Freguesia de Itabira do Campo), Acuruí (antiga Freguesia de Rio de Pedras), São Gonçalo do Baçõ e São Gonçalo do Monte (MOURA 2007). Possui uma população de 45.449 habitantes, de acordo com o censo de 2010. Como parte da província mineral denominada Quadrilátero Ferrífero, Itabirito tem historicamente a atividade mineraria como um dos motores de sua economia. A partir do século XX, esta atividade tem crescido em toda a região, apresentando grandes áreas exploradas e suas cavas, além de áreas consideráveis de resíduos estéreis. Esse processo acarreta, entre vários outros impactos, o assoreamento dos cursos de água, gerando todas as alterações ambientais dele decorrentes e que, de maneira secundária, mas não menos importante, afeta a disponibilidade de recursos hídricos. Parte desses impactos é resultante, da falta de gestão no controle da dinâmica de ocupação, o que gera problemas de expansão desordenada, aumento de áreas de risco, comprometimento de áreas de proteção ambiental e uso inadequado dos recursos naturais.

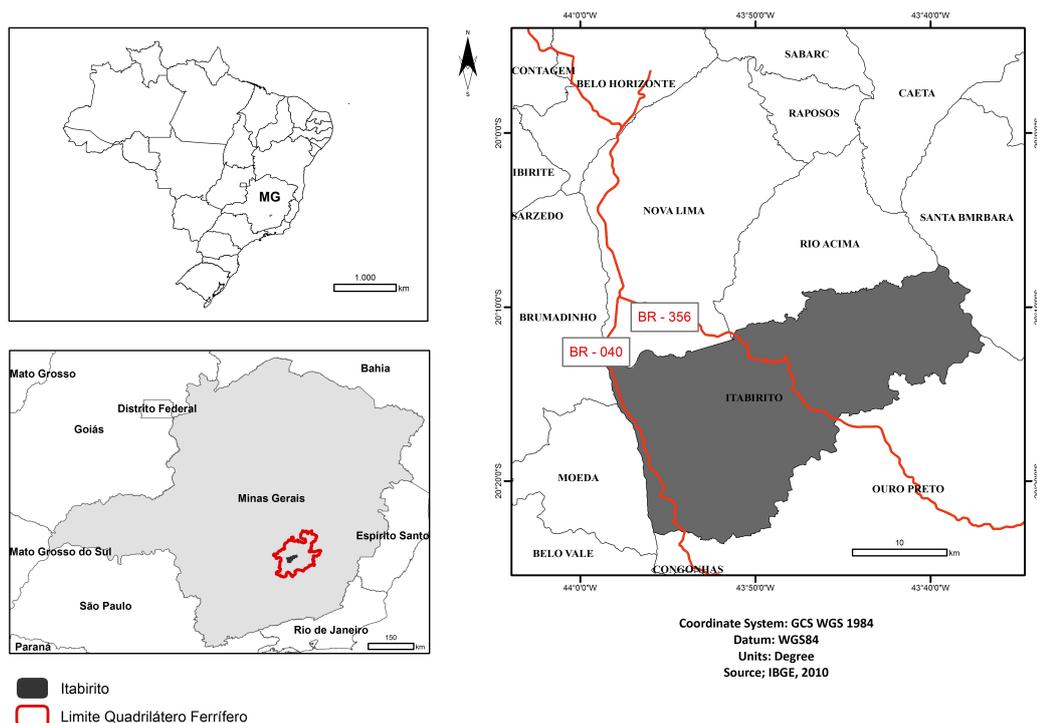


Figura 1 – Mapa de localização do município de Itabirito – MG (Fonte IBGE, 2010)

## CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO/GEOLÓGICO DE ITABIRITO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup>, formando um dos conjuntos orográficos mais importantes do estado de Minas Gerais. As altitudes variam em média entre 800 e 900 metros e em sua maioria possuem linhas de cristas que ultrapassam a cota de 1.200 metros. Ele é formado por complexa cadeia dobrada, na qual as camadas de quartzitos e itabiritos conformam um sistema de cristas localizadas em cotas altimétricas mais elevadas em relação às depressões alveolares, abertas nos granitos, xistos, filitos e gnaisses.

De acordo com Hader & Clamberlim (1915), o relevo do QF é oriundo da sua estrutura, aliada a erosão diferencial na qual os quartzitos e itabiritos formam o substrato das terras altas, os xistos-filitos constituem o substrato das terras com altitudes medianas e os granitos-gnaisses compõem as terras baixas. As porções mais altas constituem um conjunto de cristas e superfícies erosivas soerguidas que possuem uma forma próxima da quadrangular (quadrilátero), circundando as terras de altitudes mais baixas por onde corre o Rio das Velhas, formando o nível de base da porção central do QF.

O QF foi classificado por Varajão (1991) como um mosaico contendo seis províncias geomorfológicas, sendo elas: Serra do Caraça, Sinclinal Moeda, Serra de Ouro Branco, Serra do Curral, Complexo do Bação e Sinclinal Gandarela. As maiores altitudes do QF são encontradas na Serra do Caraça, atingindo 2.000 metros. De acordo com o mesmo autor, a paisagem do QF apresenta fortes traços de erosão diferencial, presentes em pequenas superfícies de erosão, com evidente controle litoestrutural. Processos de escoamento difuso e concentrado originando sulcos e ravinas e, eventualmente movimentos de massa ocorrem em áreas que sofreram intervenção antrópica. Os xistos e micaxistos constituem rochas vulneráveis ao intemperismo, formando um manto de alteração argiloso e pouco permeável, que favorece um intenso escoamento superficial nas áreas de vegetação menos densa.

## METODOLOGIA

Para elaboração do Mapa do Índice Geomorfológico de Potencial de Uso e Ocupação da terra (Figura 7), que tem por objetivo auxiliar no planejamento para ocupação de novas áreas, foram considerados os elementos: Geologia/Geotecnica, Índice de Hack, Índice de Concentração da Rugosidade, e Processos Erosivos Acelerados (voçorocamento) e Unidades Geomorfológicas, seguindo as etapas:

a)Elaboração do Mapa Geológico/Geotécnico (Figura 2), no qual a classificação dos componentes da legenda têm valores relacionados ao aspecto de litologia/resistência das rochas com notas de 0 a 10 (tabela 1), no qual a maior nota possui, segundo Parizzi et al. (2011), o maior potencial quanto à suscetibilidade ao intemperismo/erosão/movimentos de massa.

b)Mapa do Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), seguindo metodologia proposta por Sampaio & Augustin, (2014), conforme apresentado na figura 3. O uso do ICR tem como objetivo “quantificar e classificar as unidades de relevo tendo por base a distribuição espacial da declividade”, através da “compartimentação” e quantificação do relevo a partir da análise dos padrões de distribuição espacial da declividade (medidas indiretas da inclinação e do tamanho das vertentes), considerando seus valores no espaço tridimensional e não no bidimensional como no caso das análises via perfis” (SAMPAIO & AUGUSTIN, 2014, p. 52). Foram considerados os mesmos intervalos para unidades de relevo, utilizados pelos autores acima referidos, ou seja: plano: valores de ICR abaixo de 2,5; suavemente ondulado – valores ICR de 2,5 a 6; ondulado – valores ICR de 6 a 14; fortemente ondulado – valores ICR de 14 a 30; escarpado – valores ICR de 30 a 45; fortemente escarpado – valores ICR acima de 45.

Unidades Litológicas	
Componentes de legenda	Notas
Lateritas	2,0
Dolomito	4,0
Filito, dolomito	5,0
Filito	5,5
Metarenito	6,0
Itabirito	7,0
Granito	8,0

Tabela 1 - Notas referentes às unidades litológicas/resistência ao intemperismo/erosão/transferência gravitacional (Fonte: PARIZZI et al. 2011).

c)Mapa do Índice de Hack, calculado a partir de valores do índice, que consiste em um parâmetro expressivo do ponto de vista quantitativo uma vez que está relacionado à potência do fluxo de água/rio para carrear material de dada granulometria (competência dos fluxos) e as características do canal. Segundo Fonseca e Augustin (2011), esse índice, foi proposto por Hack (1957a, p. 87-90) com “base em evidências empíricas” durante seus estudos na bacia do rio Potomac (EUA), nas quais “observou que o valor do produto declividade do canal (S) por seu comprimento (L), encontra-se diretamente relacionado à competência do rio”. Essa relação é representada de acordo com Hack (1957, apud FONSECA & AUGUSTIN, 2011), por:

$$S = 25 * M^{0,6} / L$$

sendo que “M representa o diâmetro médio das partículas no leito do rio”, havendo uma relação funcional entre essas variáveis: correspondente aumento no diâmetro das partículas depositadas no rio com relação ao também aumento no valor de SL. Para a elaboração do índice, foram utilizadas: a) as ferramentas Knickpoint Finder desenvolvidas por Salamuni, et al. (2013), que acoplado ao software Arcgis, buscam pontos que sinalizam rupturas no terreno, e foi portanto utilizado na busca de anomalias de relevo com inferências na drenagem; b) o algoritmo River Merge também desenvolvido por Salamuni et al. (2013) para unificar segmentos de drenagem; c) o software Arcgis 10.5 para o sistema de unificação das informações e plataforma de funcionamento do Knickpoint Finder; d) imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) NASA, as quais foram processadas por interpolação pelo método de convolução cúbica pelo projeto Topodata apresentando resolução espacial de 30 metros.

d) Mapa de densidade de Voçorocas: Identificação dos processos erosivos acelerados (voçorocamento) por imagem de satélite e vetorização dos mesmos em softwares de geoprocessamento (Figura 5). Para a identificação de ocorrências de processos erosivos utilizou-se do software google earth (2018) e obteve-se a os dados relacionados a esta variável por vetorização manual.

e) Mapa Unidades Geomorfológicas do Município de Itabirito na escala de 1: 50.000 (Figura 7), elaborado a partir da interpretação do relevo, tendo como instrumento de apoio: a) a hipsometria; b) declividade; c) análise de perfis longitudinais que permitiram a identificação de cinco grandes estruturas da paisagem física (“landscapes”) que compõem a área de estudo. Estas foram utilizadas como base para a elaboração do Mapa do Índice Geomorfológico do Potencial de Uso e Ocupação da Terra. A classificação dos componentes de legenda foi realizada partir da obtenção de pesos correspondentes dos componentes das Unidades Geomorfológicas tendo em vista o uso e ocupação da terra (Tabela 2). A legenda apresenta valores que correspondem à classificação dos componentes com notas de 0 a 10, sendo que quanto maior a nota, maior o potencial de uso da respectiva unidade. Para a composição das notas, foi utilizado o método Delphi. Conforme Moura (2007), este consiste na obtenção dos pesos baseado na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e tanto melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que hierarquizem ou coloquem as variáveis em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado. Neste caso, obteve-se a resposta de 17 especialistas para a calibragem dos valores das notas, apresentadas na tabela baixo, ou seja, com as notas referentes aos componentes de legenda do mapa geomorfológico:

Unidades Geomorfológicas	
Componentes de Legenda	Notas
Superfície Dissecada Rebaixada	8
Nível Residual Dissecado	6
Vale Fluvial Preenchido	4
Nível Intermediário de Topo Achatado	3
Superfície Residual Elevada	1

Tabela 2 - Notas - referentes às Unidades Geomorfológicas do município de Itabirito-MG.

f) Mapa do Índice Geomorfológico do Potencial de Uso e Ocupação da Terra no Município de Itabirito (Figura 9) é resultante da classificação e ponderação de todas as cinco variáveis listadas acima (Índice das Unidades do Relevo Geologia/Geotecnia, Índice de Concentração de Rugosidade, Índice de Hack e Identificação dos processos erosivos (voçorocamentos), para integração das mesmas através do método de Análise de Multicritérios. Proposto como base para auxiliar na ordenação territorial, leva em consideração, a integração das demais variáveis que são intrinsecamente associadas entre si, e que refletem a organização espacial da área. O Mapa foi elaborado a partir da classificação e ponderação das cinco variáveis, como apresentado na Tabela 3.

O procedimento é baseado no mapeamento das variáveis por planos de informação e na definição do grau de pertinência de cada um bem como de seus componentes de legenda, e a matemática utilizada foi a Média Ponderada (MOURA, 2007). O emprego da Média Ponderada cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação foi realizada por "knowledge driven evaluation", e a composição dos pesos de cada variável também pelo Método Delphi. Após a ponderação, as variáveis foram normalizadas com intervalos de valores numéricos entre 0 a 1. Os menores valores estão associados ao baixo potencial e os maiores valores ao alto potencial de uso e ocupação da terra, como consta na tabela 3 abaixo:

Índice Geomorfológico do Potencial de Uso e Ocupação da Terra	
Variáveis	Pesos
Geomorfologia	35%
Índice de Concentração da Rugosidade	25%
Índice de Hack	17%
Geologia	13%
Voçoroca	10%

Tabela 3 - Pesos das variáveis que compõe o Índice Geomorfológico do Potencial de Uso e Ocupação da Terra do município de Itabirito – MG

No estabelecimento dos pesos para análise de multicritérios, a variável geomorfologia recebeu o maior peso, de 35%, pois se assume que as formas de relevo constituem uma maneira integrada de resposta aos diversos fatores e variáveis envolvidos na dinâmica da superfície da Terra, sendo afetada, e afetando, todos os elementos que compõem a paisagem, incluindo os antrópicos (COOCKE & DOORNCAMP, 1974; VERSTAPPEN 1983; GUPTA & AHMAD, 1999; BOCCO, et al., 2001; BARTHELOS, 2007).

## RESULTADOS

As variáveis utilizadas para a obtenção do Índice Geomorfológico do Potencial de Uso e Ocupação da Terra (Unidades Geomorfológicas, Geologia/Geotecnia, Índice de Hack, Índice de Concentração da Rugosidade, e Processos Erosivos Acelerados-voçorocamentos), expressam características relativas ao modelado do relevo, suas principais propriedades e potenciais de uso na área de estudo, como podem ser observados na tabela síntese (Tabela 4).

Unidades Geomorfológicas	Variáveis do Meio Físico			
	Geologia	Índice de Rugosidade	Índice de Hack	Processos Erosivos
Superfície Residual Elevada	Itabiritos, filitos	Fortemente escarpado	Muito alto	Baixo
Nível Intermediário de topo achatado	Quartzito ferruginoso, filitos, dolomitos	Ondulado a fortemente ondulado	Muito baixo a baixo	Alto
Nível Residual Dissecado	Metarenitos, filitos dolomitos, granitos	Fortemente ondulado a escarpado	Alto a muito alto	Muito alto
Superfície Dissecada Rebaixada	Filitos/dolomitos na porção sudoeste; granitos e metarenitos, quartzitos	Fortemente ondulado	Médio a alto	Alto
Vale Fluvial Preenchido	Granitos/Metarenitos	Ondulado	Muito baixo a baixo	Médio

Tabela 4 - Síntese das características do meio físico por unidade geomorfológica do município de Itabirito – MG.

Os resultados do Mapeamento das Unidades Geológicas/Geotécnicas do Município de Itabirito (Figura 2) são importantes indicadores das condições para ocupação da área por construções e obras civis. Refletem-se também no Mapa de Unidades Geomorfológicas (Figura 7), pois indicam a susceptibilidade das rochas aos processos de elaboração do relevo, embora outros fatores também estejam associados à evolução da paisagem, fazendo com que não haja superposição real entre geologia e formas de relevo.

O Mapa Geológico/geotécnico do município indica, segundo classificação de Parizzi et al. (2011) utilizada na legenda, o predomínio de rochas graníticas do Cristalino nas porções centrais, topograficamente mais baixas do município. Essas rochas, quando submetidas às condições climáticas úmida com temperaturas elevadas sofrem intenso processo de intemperismo químico e também mecânico, levando à formação de espessas geocoberturas que favorecem a atuação de processos erosivos e de movimentos de massa, em especial em vertentes íngremes, sem, ou com pouca cobertura vegetal (YOUNG, 1972; OLIVA, et al., 2003; GABET, 2007)

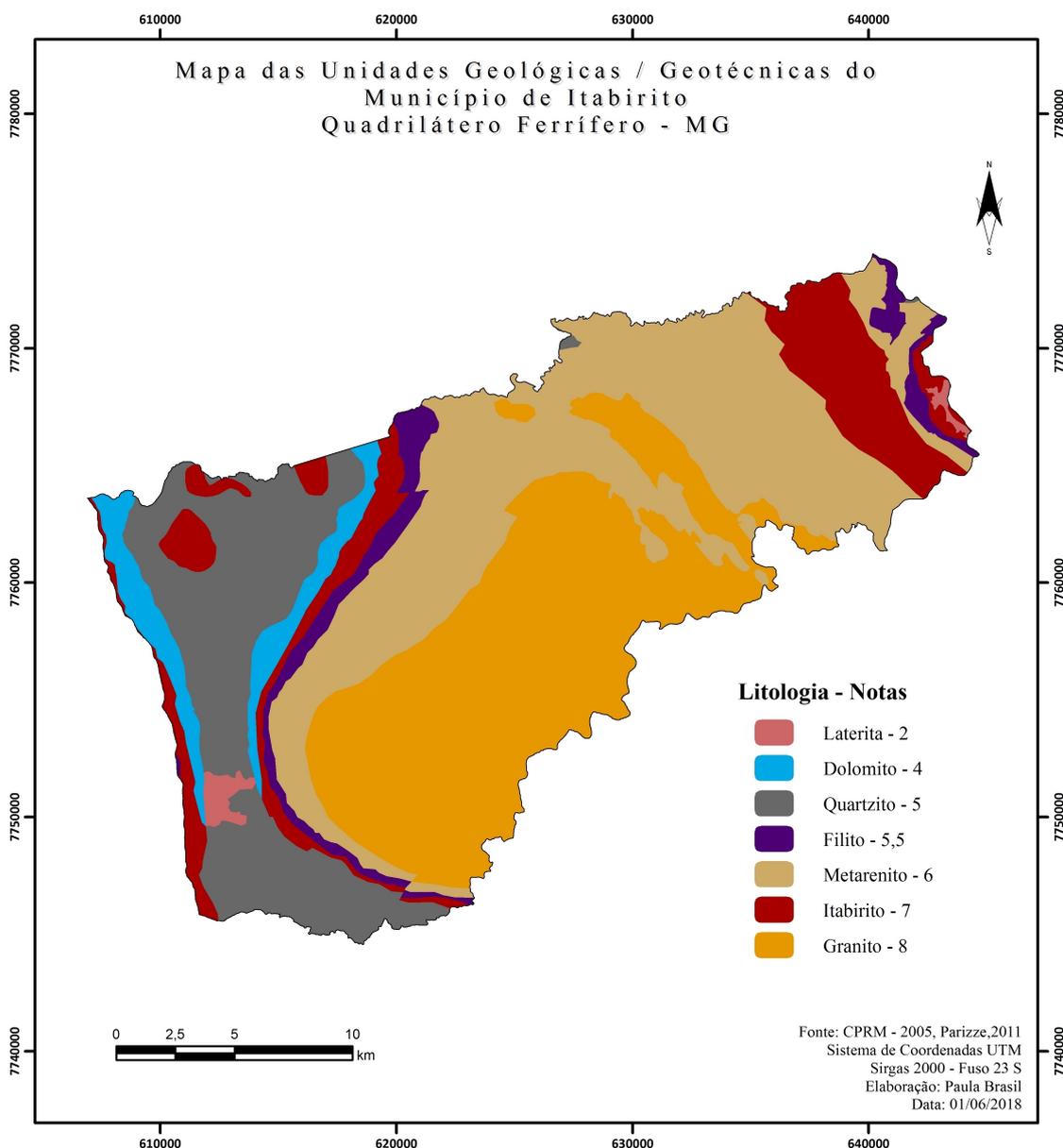


Figura 2 - Unidades Geológicas/ Geotécnicas do Município de Itabirito – MG. FONTE: Com base em Parizi et al. (2011); CPRM, 2005.

O substrato rochoso que ocupa toda a porção central do município é formado por migmatitos, gnaisses de composição granítica, tonalítica e granodiorítica do Complexo Bação, que apresenta aspecto dômico e características de cisalhamento nas bordas (DORR, 1969). O segundo domínio é formado por rochas do Supergrupo Rio das Velhas, intensamente metamorfisadas, que inclui rochas verdes, lavas riolíticas e rochas sedimentares intercaladas, sendo que o itabirito ocorre nas unidades metassedimentares nas quais são encontradas Formações Ferríferas Bandadas (BIF) (ROSIÈRE, & CHEMALE, 1991). O terceiro domínio é constituído por rochas do Supergrupo Minas, que é uma sequência metassedimentar, constituída por quatro grupos, sobreposta em desconformidade ao Supergrupo Rio das Velhas.

Na base, são encontrados quartzitos e conglomerados do Grupo Caraça, recobertos pelos filitos da Formação Batatal. Sobrepondo, está o Grupo Itabira, caracterizado pela BIF da Formação Cauê, gradando para a Formação Gandarela, com a presença de rochas carbonáticas. Por último, sobrepondo toda a sequência, ocorre o Grupo Piracicaba, com várias Formações nas quais predominam sedimentos deltaicos/metapelíticos (ALKMIM, 1998). Em função de características litoestruturais, essas rochas vão se tornando mais resistentes à medida que se afastam da área central, em um modelo de disposição mais

ou menos semiconcêntrico, até as regiões mais externas, embora ocorram intercalações de rochas menos resistentes nestas sequências. De uma maneira geral, subsidia a disposição das Unidades Geomorfológicas (Figura 7), no que se refere às Unidades mais elevadas, embora não demonstre esta estreita relação com as demais Unidades. Isto indica como apontado por (BARTHRELLOS, 2007), que a inter-relação entre litologia, forma de relevo e a ocorrência de processos geomorfológicos precisa ser relativizada, na medida em que outras variáveis passam a controlar esses processos a partir do momento em que o vale é aberto e as encostas são formadas, o solo é desenvolvido e as coberturas vegetais ocupam as vertentes e fundos de vale. Da mesma maneira, a variação dos domínios climáticos ao logo da evolução de um relevo, varia, com respostas diferentes em termos de dominância de processos de alteração da rocha e seus efeitos sobre a dinâmica do relevo.

O Mapa com os resultados do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), que visa quantificar e classificar as unidades de relevo tendo por base a distribuição espacial da declividade (Figura 3) indica a presença de valores mais elevados coincidentes, em geral, em contato entre as rochas de diferentes resistências.

No entanto, as áreas de maiores ICR correspondem aos relevos das áreas de nascentes e entalhes mais efetivos das encostas, o que favorece a presença de relevo mais acidentado e íngreme. Os maiores índices de Concentração de Rugosidade (ICR) são encontrados acompanhando as bordas internas da Serra do Itabirito voltadas para o vale do Rio das Velhas e na porção nordeste do município, nos domínios do Sinclinal do Gandarela. São áreas de intensa dissecação decorrente do grande número de nascentes e da declividade mais acentuadas. Outra observação refere-se aos valores mais baixos do ICR, que correspondem às porções mais baixas do vale do rio das Velhas, onde as declividades tendem a se tornar menores em função da deposição e acumulação dos sedimentos em terraços, embora ocorra, em trechos dos rios, encaixamento recente de canais, estes são ainda insuficiente para serem mapeados nesta escala de trabalho. Também são observados valores menos elevados do ICR (Figura 4) na região onde se concentram as voçorocas em vertentes com declividades mais suaves, submetidas ao intenso uso da terra, com possíveis efeitos nos níveis de base dos rios e na perda da cobertura vegetal, levando à intensificação desse tipo de erosão acelerada. Na composição dos pesos para a Análise de Multicritérios, esta variável recebeu o peso 25%, pois locais onde a declividade é muito acentuada, pois uma vez ocupados, se transformam em áreas potenciais de risco.

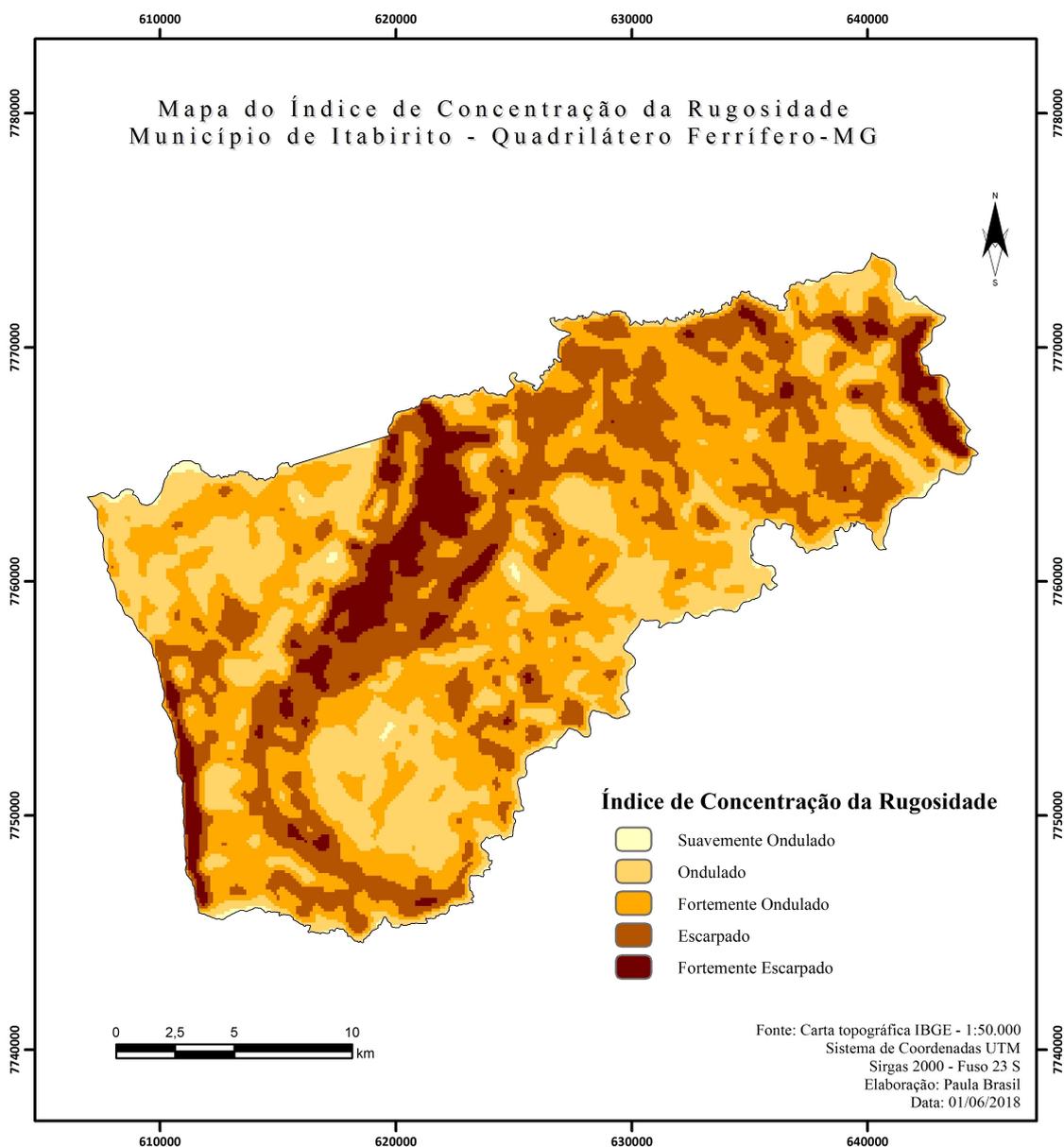


Figura 3 - Mapa do Índice de Rugosidade do Município de Itabirito – MG.

O Mapa do Índice de Hack (Figura 4) traduz, em síntese, a energia das bacias de drenagem (FONSECA & AUGUSTIN, 2011), constituindo um importante atributo da análise geomorfológica, uma vez que a energia das bacias é um dos componentes morfométricos mais amplamente utilizado para a compreensão da dinâmica da superfície continental da Terra. Este índice foi estabelecido por Hack (1957), no qual relaciona a declividade e a extensão dos cursos d'água, através da representação bivariada entre a cota altimétrica e o comprimento de um determinado curso fluvial de montante para jusante.

Por isto, estão associadas à presença de knick points, que justamente apontam rupturas abruptas do relevo, e possibilitam a formação de cachoeiras, quando ocorrem perpendiculares ao canal. Os valores intermediários do IH ocorrem também em regiões de cabeceiras, onde se espera encontrar maior energia de dissecação, em função da declividade, que tende a ser mais elevada nestas áreas. Os knickpoints mais representativos estão presentes em áreas de contato, ou entre litologias diferentes, ou entre áreas mais declivosas e fundos de vales, em muitos casos, ocorrendo de maneira abrupta, como no Platô da Moeda. Os menores valores dos IH, correspondem às áreas nas quais a dissecação é dificultada pela presença de canga, ou nas porções mais baixas da bacia do rio das Velhas, áreas que apresentam

também uma menor quantidade de knickpoints.

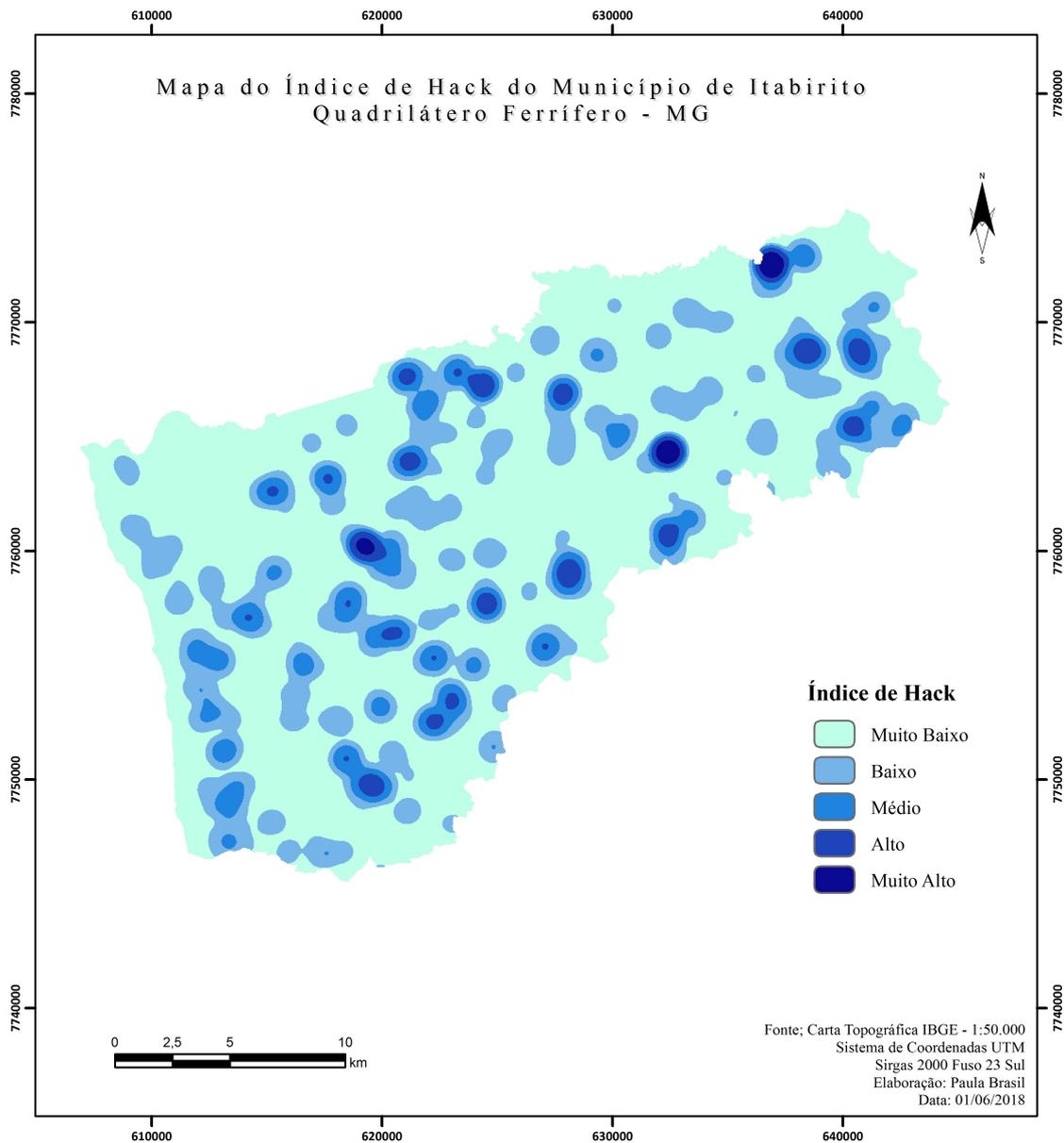


Figura 4 - Mapa do índice de Hack do Município de Itabirito-MG.

O mapa de concentração de voçorocas (Figura 5) foi desenvolvido devido à alta concentração deste processo geomorfológico no município, sobretudo na porção sul, próximo ao distrito de São Gonçalo do Bação. Neste local, dominado por colinas com altitudes inferiores a 1000 metros, observa-se uma das maiores concentrações de voçorocas no Brasil (LIMA, 2016). Silva (2007) atribui essa aglomeração à presença de um ambiente morfologicamente instável, com diferentes tamanhos e formatos, nos terrenos sustentados por granito-gnaiss. Para Bacellar (2000) o surgimento dessas feições ocorreu desde o início do ciclo do ouro, com a instalação de práticas agrícolas rudimentares que objetivava produzir alimentos para as províncias auríferas de Vila Rica, Mariana e Sabará, o que pode ter corroborado para o surgimento dos processos erosivos na região do Complexo do Bação. O mesmo autor encontrou cicatrizes de voçorocas na região, mas grande parte das atuais, ativas e inativas, se formaram nos últimos dois séculos, reforçando a interpretação da interferência antrópica. Parizzi et al. (2011) afirma que quando intemperizadas, as rochas graníticas e gnáissicas produzem solo residual silto-arenoso ou argilo-arenoso siltoso, que por sua baixa coesão, têm alta susceptibilidade a erosão e a processos análogos. Trabalho de Figueiredo et al (1999), no entanto, indica a existência de mecanismos

associados ao efeito do ferro na estruturação das argilas em partículas maiores, aumentando a colapsividade da estrutura das geocoberturas.

Augustin & Aranha (2006) apontam que este mecanismo favorece a ação da pore pressure, facilitando o piping e a formação de voçorocas. Para Parizzi et al. (2011), nesses ambientes, deve-se ter cautela ao executar cortes, terraplanagens e desmatamentos cuja consequência é a exposição destes solos a ação das águas pluviais, sobretudo em regiões de relevo colinoso com superfícies côncavas e bem drenadas, como a região das voçorocas de Itabirito. Estas apresentam ainda encostas profundas, com variação de cores e promovem o processo de adaptação de novas formas de vida vegetal nas áreas erodidas desenvolvendo dessa forma um ecossistema local (Silva, 2007). Na região de estudo, esta área possui ocupações esparsas, mas se encontra em processo de expansão, que caso não houver uma intervenção por parte do poder público no manejo de uso e ocupação destas áreas, as edificações já instaladas estão suscetíveis a riscos, como pode ser observado na figura 6 (a, b), casas próximas a uma voçoroca ativa. Esta variável recebeu peso de 10% na Análise de Multicritérios devido a ocorrer em área menor no município, além de estar condicionada a ocorrer devido a outros fatores, como uso e ocupação, geologia e geomorfologia.

O Mapa de Unidades Geomorfológicas busca atender à proposição de uma visão mais integrada e contextualizada dos aspectos biofísicos da área de estudo, (Figura 7) expressando a estruturação das formas do relevo da área de estudo, formas estas que se encontram intrinsecamente associadas aos processos que nelas atuaram e ainda atuam, e aos seus materiais de composição, sejam eles rocha ou geocoberturas, incluindo o solo. Foram identificadas cinco Unidades componentes da paisagem, cada uma com suas próprias características geológicas, de geocoberturas, vegetação e suscetibilidade à atuação dos processos erosivos e de movimentos de massa.

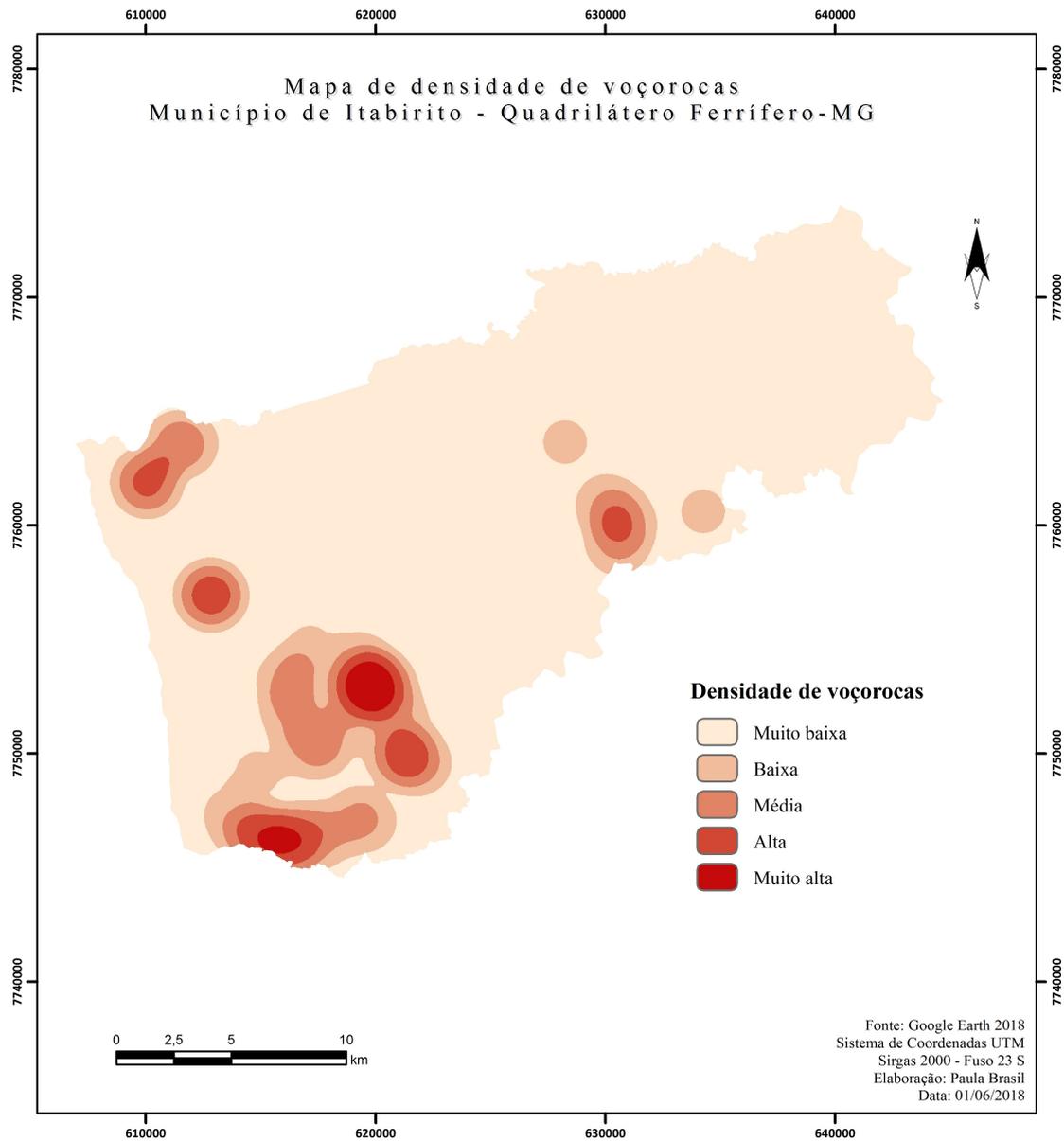


Figura 5 – Mapa de densidade de voçorocas do Município de Itabirito-MG (Fonte: Google Earth, 2018)

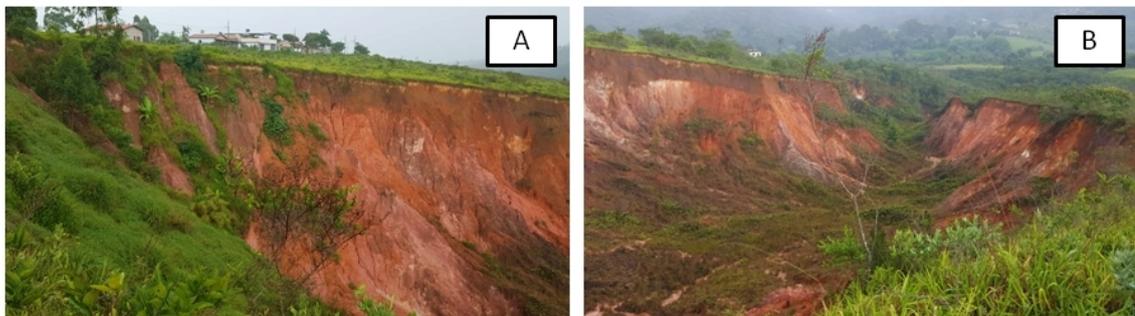


Figura 6 (a.b) – Voçoroca localizada próxima ao distrito de São Gonçalo do Bação e edificações. Pode ser observado que os taludes são íngremes e ocorrência de pequenos movimentos de massa, além de uma distribuição heterogênea da vegetação com predominância de pequenos arbustos na porção média e inferior da voçoroca, insuficientes para conter o processo geomorfológico. Este avança mais em direção à remontante (A), enquanto a jusante, ela é estreita e encaixada (B).

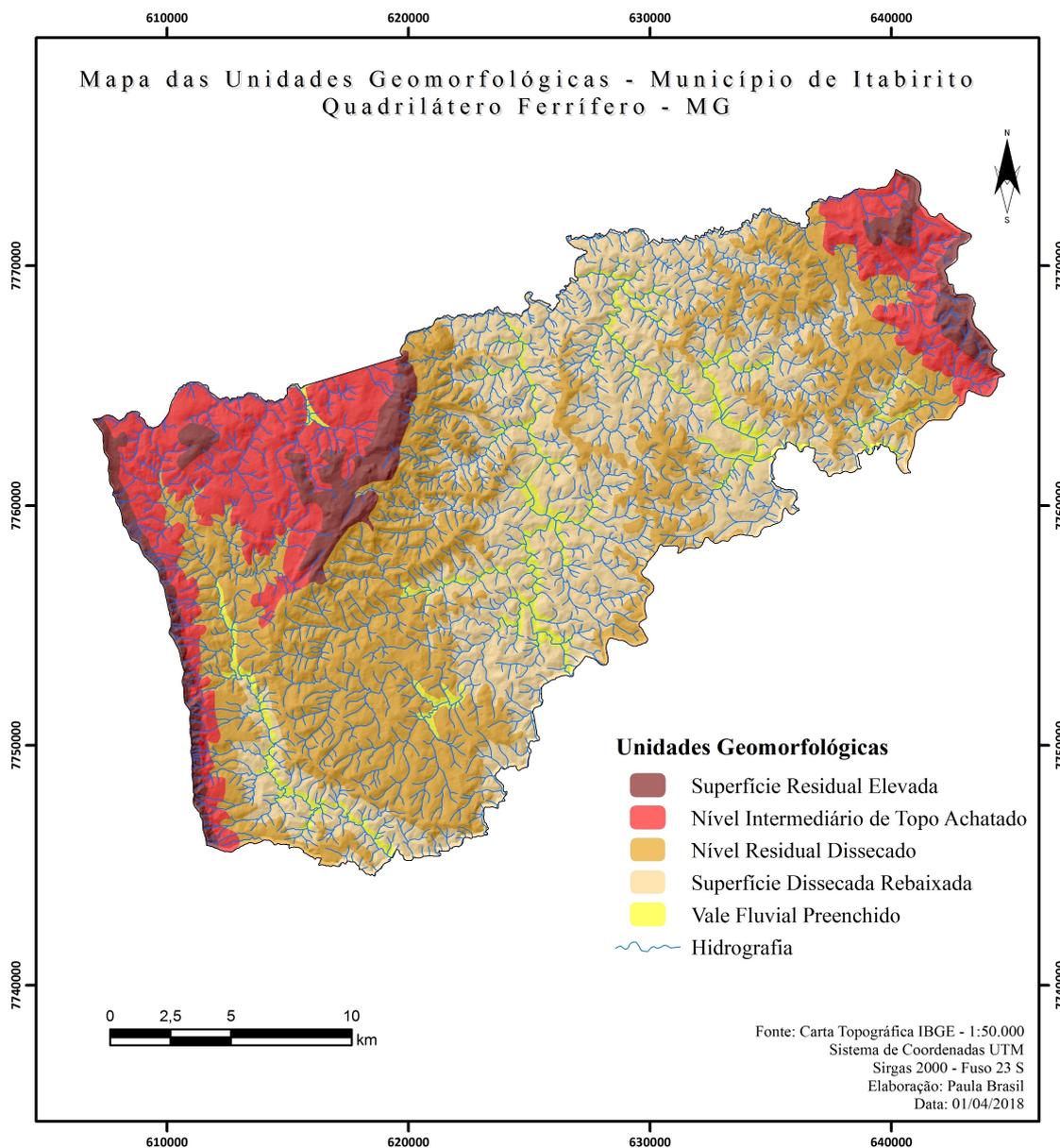


Figura 7 – Mapa das Unidades Geomorfológicas do Município de Itabirito-MG

Por serem facilmente identificáveis em qualquer meio de representação da superfície terrestre (instrumentos de geoprocessamento) e também apresentarem feições que mesmo alteradas pelo homem, tendem a permanecer na paisagem, as formas de relevo e suas representações constituem elementos importantes quando se trata de compor uma base de dados confiável para fins de análise espacial para diversos fins (HAANTJENS, et al., 1972; COOKE & DOORNKAMP, 1974; AUGUSTIN, 1979; CARTON, et al., 2005). São elas:

a) Superfície Residual Elevada – formadas pelos topos das cadeias dobradas de rochas de itabiritos da Formação Cauê do Grupo Itabira, e quartzitos da Formação Moeda do Grupo Caraça, encontram-se localizadas nas bordas leste e oeste do município, e são representadas respectivamente pelo Sinclinal Gandarela e pela Serra de Itabirito. Essas serras, com altitudes entre 1620 e 1740m são, segundo Barbosa (1980), sinclinais alçados, remanescentes de estruturas antigas geológicas submetidas à inversão de relevo. Apresenta baixas taxas de denudação geoquímica em relação às demais unidades devido à extensa presença de lateritas lato sensu (l.s), nos termos propostos Augustin, et al. (2013), o que contribui para a manutenção das porções mais elevadas do relevo. A presença das cangas, ou

lateritas (l.s), e a relativa convexidade dos mesmos influenciam nas baixas taxas de infiltração da água de chuva. Em função da resistência dessas coberturas e ainda dos quartzitos ao processo de intemperismo químico, mesmo em condições quentes e úmidas na maior parte do ano, apresentam relevo com vários afloramentos, em especial no domínio quartzítico. Neste, predominam solos Neossolos Litólicos, enquanto nas áreas de rochas itabiríticas, são as lateritas expostas, formadas por fragmentos de rocha consolidados por matriz rica em ferro, as feições mais recorrentes da paisagem natural, embora também estejam presentes os Neossolos Litólicos, caracterizados por cor vermelho escura, ricos em ferro e muita pedregosidade. Carvalho Filho, et al., (2010, p. 915), destacam-se, ainda que, “os solos relacionados aos dolomitos ferruginosos, da Formação Gandarela, apresentam também conteúdos muito elevados de óxidos de manganês, aos quais estão associadas cores muito escurecidas”. Juntamente com a altitude, a presença das cangas e de solos muito ricos em ferro, favorece a ocorrência de vegetação rupestre ferruginosa e de campos de altitude, embora as cangas também contem, como observado pelos autores acima citados, cobertura de líquens. A vegetação de maior porte, de arbustos e gramíneas, ocorre apenas os fundos de vales incipientes de cursos de água temporários que conseguiram erodir a cobertura de canga, expondo os xistos e itabiritos dolomíticos. Em função das maiores altitudes, os elementos dessa Unidade funcionam como grandes divisores de água.

b) Nível Intermediário de Topo Achatado ocupa os extremos noroeste e nordeste do município, com altitudes intermediárias entre 1618 e 1373m, formando níveis topográficos mais baixos do que os do domínio anterior. São áreas nas quais se destacam os patamares erosivos mais elevados do vale do ribeirão do Silva que foram e continuam sendo modeladas pela incisão da drenagem e reafeiçoamento das encostas, embora apresentem menor densidade de drenagem do que as demais Unidades, como pode ser observado no mapa de densidade de drenagem na figura 8.

A presença dessas formas de relevo em porções topograficamente mais baixas do que a Unidade I (Superfícies Residuais Elevadas) decorre não somente da maior susceptibilidade dessas rochas, predominantemente filitos, dolomíticos, itabiritos, e cangas ao processo de intemperismo, e conseqüentemente à erosão, mas também pelo fato de estarem localizadas estratigraficamente abaixo das rochas que compõem as partes mais elevadas do relevo (itabiritos, cangas e quartzitos). Por se encontrarem em espaço contíguo aos dos topos dos sinclinais, contam com declividades acentuadas nos fundos de vale, embora seus topos sejam largos e achatados, indicando a possibilidade de que sejam relevos residuais de antigos pedimentos preservados em função da dificuldade de incisão da drenagem.

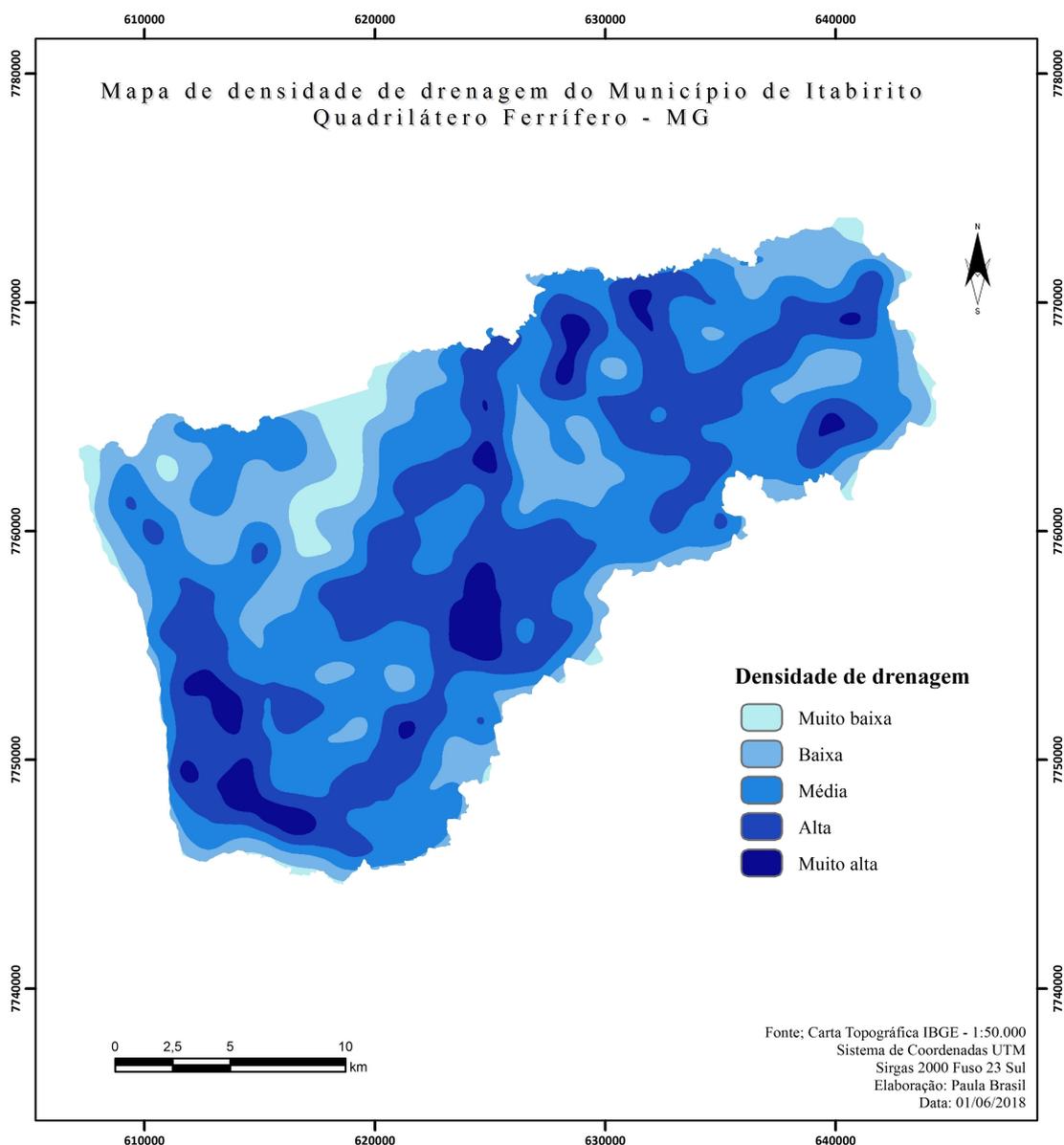


Figura 8 – Mapa de densidade de drenagem do Município de Itabirito-MG

Esse fato é corroborado por Carvalho Filho, et al. (2010), que indicam a presença de solos pouco desenvolvidos e formados pela acumulação pedimentar, o que lhes confere alta percentagem de pedregosidade, destacam-se os Neossolos Litólicos e Cambissolos de caráter perférricos, “com teores de ferro extremamente elevados, distintivos do caráter perférrico”, “intensa cor vermelha, em alguns casos com tonalidade bastante escurecida” (p. 907). Em parte da Serra da Moeda, foi também identificados pelos mesmos autores, presença de espessas massas soldadas por matriz ferruginosa, com solos que podem ser classificados como Plintossolos Pétricos concrecionários, bem como a presença de Latossolos Vermelhos perférricos. Outro fator que contribui para a manutenção dessas superfícies são as geocoberturas ricas em ferro, em grande parte oxidadas. São encostas ocupadas por vegetação do tipo campo rupestre ferruginoso, em especial nas áreas com a presença das massas pedregosas soldadas por matriz ferruginosa que se alternam com cerrado baixo, de arbustos esparsos, com predominância de gramíneas em áreas de afloramento do itabirito muito intemperizado. Por causa das matrizes ferruginosas, que em partes das vertentes encontram-se endurecidas formando lateritas (l.s.), os processos de escoamento superficial da água de chuva atuam solapando a base e contribuindo para seu colapso e queda. São áreas que, em função da sua localização entre os topos e as bases da Unidade I, topograficamente mais elevada, e da maior declividade (Figura 3). Elas são muito susceptíveis à atuação

de processos erosivos, embora as geocoberturas tendam em curto e médio prazo, a aumentar a coesão devido à oxidação do ferro, elemento presente em todo o perfil alterado, seja este elúvio, ou colúvio.

São áreas, portanto, que do ponto de vista geotécnico, têm potencial de uso para ocupação por construções, mas que do ponto de vista do conjunto de fatores em análise, deveriam ser preservadas. No entanto, a erosão provocada pelos fluxos temporários da água de chuva formam cabeceiras nas bordas dos domínios das cangas e/ou itabiritos, tanto do lado interno, quanto externo das serras, retirando as porções superficiais concrecionadas do ferro (cangas), solapando suas bases e levando à quebra e, eventualmente, ao seu deslocamento pelo efeito da gravidade. Essas áreas são, portanto, pouco adequadas para uso e ocupação, pois oferecem riscos de movimentos de blocos de cangas. Além disso, constituírem áreas de nascentes, que deveriam ser preservadas como potencial futuro para fornecimento de água potável. Em função da declividade menos acentuadas dos topos, da litologia e das características estruturais da região, que foi submetida a expressivas deformações, há tendência de maior infiltração da água de escoamento superficial, transformando essas áreas em bons retentores de água que alimentam as nascentes de córregos e ribeirões da área estudada. São áreas de reservas hídricas apresentando, portanto, potencial de uso de recursos naturais para abastecimento de água para a área urbana.

c) Nível Residual Dissecado – constitui patamares topograficamente mais baixos da Unidade II (Nível Intermediário de Topo Achatado), já erodido e dissecados, devido à alta concentração da drenagem, com altitudes entre 940 a 1.460 m. Esse nível é formado principalmente sobre metarenitos, xistos e filitos dolomíticos e apresenta taxas médias de denudação geoquímica. Constitui a segunda maior Unidade em termos de área e ocupa todas as porções do platô interno da Serra da Moeda e da bacia do rio das Velhas. Nesses domínios, Carvalho Filho, (2010), aponta a predominância de Cambissolos cascalhento, de textura argilosa, ricos em ferro e, mais raramente, de Latossolos vermelhos a amarelos encontrados em deposições colúvias, nas baixas encostas da Serra da Moeda e do Itabirito. Nas porções mais declivosas, o autor (op. cit.) identificou a presença de Litossolos Litólicos e Regolíticos.

A cobertura vegetal das áreas inseridas nesta Unidade varia em função da disponibilidade de água e do desenvolvimento do solo. Predominam as gramíneas, do tipo campo limpo, vegetação rupestre ferruginosa, com a presença de matas acompanham os fundos de vale mais encaixados. Os processos geomorfológicos mais frequentes, em parte decorrentes da cobertura vegetal mais aberta e da declividade acentuada em vertentes de vales encaixados, são: a erosão dispersa, provocada pelo escoamento superficial da água de chuva e, em algumas vertentes, o voçorocamento.

Em função dessa maior vulnerabilidade, combinação da presença de rochas mais susceptíveis ao intemperismo químico, declividade por vezes acentuada, solos predominantemente pouco desenvolvidos, e ocorrência de erosão concentrada da água de escoamento superficial, são áreas cujo uso urbano pode se tornar problemático.

d) Superfície Dissecada Rebaixada – unidade caracterizada por relevo de colinas arredondadas e vales encaixados, localizados em patamares topograficamente mais baixos das bacias dos rios do Peixe, ribeirão Mata Porcos, posteriormente denominado de rio Itabirito que deságua no rio das Velhas, estão entre as altitudes de 760 a 1.120 m. Essas são áreas de domínio de rochas cristalinas do batólito do Itabirito, que apresentam intenso intemperismo químico. Ocupando as posições topográficas intermediárias entre os fundos de vale e Nível Residual Dissecado essa Unidade tem, por vezes, vales encaixados, de paredes abruptas, indicando retomada erosiva recente.

Os solos, de acordo com Carvalho Filho et al. (2010, p. 46), acompanham o relevo, com o predomínio de Latossolos Vermelhos em encostas convexas e de Cambissolos Háplicos em áreas côncavas e fundos de vale, “ambos com textura argilosa e baixa fertilidade”. Também é uma Unidade na qual ocorrem as voçorocas, associadas às atividades de mineração no passado (ROESER & ROESER, 2010) e mesmo às agrícolas. A presença de voçorocas compromete o uso e ocupação da terra, bem como contribui para o assoreamento dos fluxos de água da área.

e) Vale Fluvial Preenchido – unidade caracterizada pelos processos fluviais sazonais de erosão, deposição, apresentando elevada carga sedimentar, em parte resultante do material erodido proveniente da densificação de voçorocas, em grande parte causada por ações antrópicas, entre elas, uso e ocupação inadequado de áreas para a construção, aberturas de estradas vicinais, mudanças nos cursos dos rios, ribeirões e córregos, mineração entre outros, apesar de, como apontado por Bacellar (2000; BACELLAR

et al., 2001), sua ocorrência tenha forte condicionamento das litologias cristalinas do Complexo do Bação. Esta Unidade conta com duas sub-unidades: os terraços e os canais fluviais. Embora todos ocorram em área de influência da dinâmica fluvial, os terraços tendem a estar submetidos também aos processos das encostas, com deposições de sedimentos provenientes das suas porções superiores. Em ciclos excepcionais de alta pluviosidade, podem sofrer erosão dos fluxos fluviais, sendo áreas potenciais de riscos em função de enchentes. Nos terraços mais antigos, estáveis, menos submetidos às enchentes sazonais, podem ser encontrados Cambissolos e mesmo Latossolos Vermelhos, enquanto nos mais recentes, os Gleysolos; mais próximos aos canais e mesmo dentro, os Neossolos Flúvicos, em geral arênicos.

## MAPA DO ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO DO POTENCIAL DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Esse mapa é resultado de abordagem vem ao encontro de aspectos apontados por Zahra & Khorshiddoust (2011) e Bathrellos (2007, p.1360), para quem tem havido uma simplificação nos estudos sobre a geomorfologia urbana, com ênfase na geologia, ou seja, nos aspectos do comportamento físico dos materiais, que contam com leis gerais de operacionalidade. Isto, porque, segundo o último autor citado (p.1360), “as alterações nos ambientes urbanos, provocadas pelos seres humanos é de tal monta que suplanta ou suprime os processos naturais, que se torna necessário a adoção de novas técnicas”. Para este autor:

Urban geomorphology combines the ambient geology, landforms, and geomorphological processes with the evaluation of impacts brought to these by urbanization. The practitioners of urban geomorphology tend to concentrate on alteration, using the ambient physical environment as a baseline. A number of case studies from different parts of the world (dealing with topics such as slope instability, seismic hazards, increased flood problems, and land subsidence) have demonstrated the utility of urban geomorphology to engineers, city managers, and urban planners (GUPTA & AHMAD, 1999).

Assim, o Mapa (Figura 9) representa de maneira integrada os potenciais de usos dos diferentes componentes da paisagem, tendo como base a compreensão de que as formas de relevo congregam em si vários aspectos importantes do meio ambiente, pois influenciam e condicionam: 1) o escoamento/infiltração da água de chuva com efeitos sobre: o potencial erosivo nas vertentes (MORISAWA, 1959; YOUNG, 1972; CARSON & KIRKBY, 1972; GRENWAY 1987; ALEXANDER, 1991; TUCKER & BRAS, 1998; BARBOSA & AUGUSTIN, 2000; HUDSON et al., 2015; BACELLAR, et al., 2001; SOULSBY, et al., 2006; WIITALA, 1961); 2) a instabilidade das encostas e suas respostas sob forma de movimentos de massa, mesmo em maciços rochosos; (MORISAWA et al., 1994; ALCANTARA-AYALA, 2002; GABET, 2007; MONTZ & TOBIN, 2011); 3) o transporte/assoreamento dos canais fluviais (WOLMAN & SCHICK, 1967; LEOPOLD, 1968; GUPTA, 1984,1999; EBISEMIJU 1989; MONTGOMERY, et al., 1995; SEAR et al., 1995; TRIMBLE, 1997; TUCKER, et al., 1998; BOOTH & HENSHAW, 2001; URBAN, 2002; CLARKE et al., 2003; SKILODIMOU, et al., 2003; DOWNS & GREGORY, 2004; ALBERTI, et al., 2007; GREGORY et al., 2008); 4) o nível freático, que tende a acompanhar o relevo (RODRÍGUEZ-ITURBE & VALDES, 1979; BROWN, 1996; RAJAVENI, et al., 2017); 5) o desenvolvimento das geocoberturas, entendidas aqui como todo o material presente na vertente, da superfície à rocha sã, incluindo o solo pedológico e, dessa maneira, na 6) cobertura vegetal, afetando tanto os ecossistemas (QUEIROZ NETO, 1989), como o potencial de ocupação urbana (CARSON & KIRKBY, 1972; CHRISTIAN, 1982; ANTONY, 2001; CUNHA, et al., 2003; ALBERTI, et al., 2007; BATHRELLOS, et al., 2012). Também, as unidades/formas de relevo em razão do seu caráter integrador (BRUNSDEN & THORNES, 1979; THORNE, et al, 1997; ANTONY, et al., 2001; BONHNET & PERT, 2010; BATHRELLOS, 2012; THORNBUSH, 2015) são utilizadas como elementos de análise espacial do potencial do manejo da terra (VERSTAPPEN, 1983; HUDSON, 2015; THORNBUSH, 2015); 7- os recursos naturais, como indicam metodologias baseadas em unidades taxonômicas geomorfológicas de escalas variadas que possibilitam o mapeamentos do potencial de uso e ocupação da terra (HAANTJENS, et al., 1972; LOFFLER, et al., 1972; SAUNDERS, 1973; GRANT & FINLAYSON, 1978; AUGUSTIN, 1979; BURROUGH, 1986; BOCCO, et al., 2001; PARO & SMITH, 2008; DOWNSAND & BOOTH, 2011). Nesse sentido, Cooke

(1976, p. 59) chama a atenção para o fato de que a geomorfologia pode auxiliar no

manejo e desenvolvimento das áreas urbanas de duas maneiras: uma, na avaliação dos recursos potenciais e adequabilidade das áreas sendo consideradas para o desenvolvimento urbano. A outra seria através “do monitoramento dos sistemas de processo-respostas, e suas alterações durante e após o desenvolvimento urbano, com vistas ao estabelecimento de um corpo teórico e de dados empíricos que possam subsidiar a estratégia de manejo e ao mesmo tempo, auxiliar na predição de mudanças que talvez apareçam a partir do crescimento urbano no futuro. (COOKE, 1976, p. 59)

Conforme pode ser observado no mapa final (figura 9), a região que obteve o maior potencial, é a do complexo do Bação, região que apresenta rochas graníticas, com características geotécnicas favoráveis a ocupação. Porém, destaca-se na porção sul do mapa, que esta região obteve potencial de médio a baixo, em especial onde se localiza o distrito de São Gonçalo do Bação. Apesar das condições favoráveis do ponto de vista geotécnico e apresentar baixo índice de rugosidade, como indicado no Mapa de Unidades Geomorfológicas, trata-se de região que apresenta intensos processos erosivos que dificultam o uso e ocupação urbana. Nesse sentido, os resultados obtidos para essa região justificam-se devido à nota referente ao componente de legenda da variável geomorfológica – Superfícies Rebaixadas Dissecadas – ter sido alta, além do peso da própria variável – Geomorfologia – também ter sido alta.

Os mais baixos potenciais de uso concentram-se na Unidade Nível Intermediários de Topos achatados, que contam com baixa densidade de drenagem e são áreas de nascentes. São áreas que podem, em função da localização geomorfológica abaixo Superfícies Residuais Elevadas, serem consideradas de potencial de risco, em função de deslocamentos de blocos de cangas, como indicado na análise das Unidades Geomorfológicas do Relevo (Figura 7). Também são áreas com concentração de atividades minerárias inadequadas, portando, para expansão urbana.

Interessante notar que os valores do ICR (Figura 3) na porção noroeste, no domínio do Nível Intermediário de Topos Achatados, não são tão elevados quanto na parte da borda não seria leste da Serra do Itabirito, onde dominam metarenitos indicando que, apesar da altitude elevada, há dificuldade da drenagem em dissecar rochas dessa litologia. Os maiores ICR englobam tanto a Unidade de Topos Residuais como parte do e do Nível Residual Dissecado.

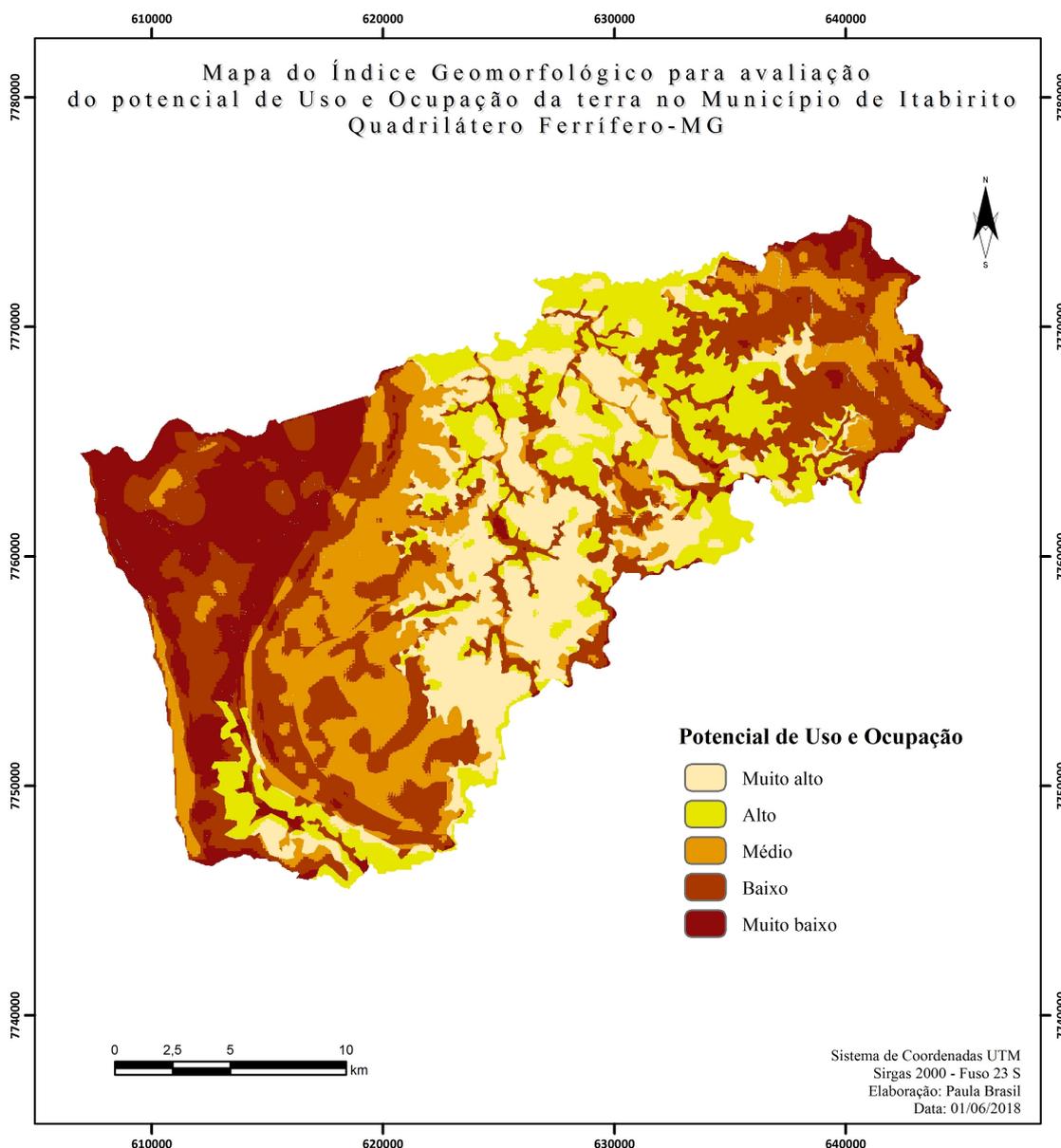


Figura 9 – Mapa do Índice Geomorfológico do Potencial de Uso e Ocupação da terra no Município de Itabirito – MG.

## CONCLUSÕES

Os instrumentos de planejamento e gestão urbanos, principalmente os planos diretores não contemplam de forma adequada as variáveis de ordem física, como o relevo. O conhecimento deste, bem como dos seus agentes modeladores, é imprescindível, principalmente para evitar a ocupação em locais inadequados e potenciais para formação de áreas de risco, o que posteriormente se transforma em um desafio para a gestão das cidades, uma vez que se tornam áreas consolidadas.

Através do levantamento de dados e a produção das variáveis utilizadas na elaboração do Índice Geomorfológico, pode-se afirmar que no processo de planejamento das cidades, faz-se necessário um conhecimento sobre as variáveis geomorfológicas e ligadas ao meio físico. Este conhecimento permite traçar prognósticos de situações de risco tais como áreas suscetíveis à inundação, escorregamentos, deslizamentos, dentre outros.

Desta maneira há necessidade de conhecimento do seu território se faz necessária para que o

município possa melhor explorar seu uso e ocupação do solo a fim de gerar melhorias para a população e traçar seu Plano Diretor com elevado conhecimento em função do local geográfico a qual está inserido.

## REFERÊNCIAS

ALKMIM, F.F.; MARSHAK.S. Transamazonian Orogeny in the southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, vol. 90, p. 29-58, 1998.

ADELI, Z.; KHORSHIDDOUST, A. Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 19, p. 662–667, 2011.

ALBERTI M.; BOOTH, D.B.; HILL, K.; COBURN, B.; AVOLIO, C.; COE, S. The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: an empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape and Urban Planning*, vol. 80: 345–36, 2007.

ALCANTARA-AYALA I. Geomorphology, natural hazards, and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47: 107–24, 2002.

ALEXANDER, D. Applied geomorphology and the impact of natural hazards on the built environment. 1991. *Natural Hazards*, vol. 4, p. 57-80, 1991.

ANTHONY, D.J.; HARVEY, M.D.; LARONNE, J.B.; MOSLEY M.P (Eds). *Applying Geomorphology to Environmental Management*, 2001. 504p.

AUGUSTIN, C.H.R.R. A preliminary integrated survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain. 1979. 327p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Geography Department, Sheffield University, Sheffield, UK, 1979.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; ARANHA, P.R.A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 7, nº 1, p. 09-18, 2006.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; LOPES, M.R.S.; SILVA, S.M. lateritas: um conceito ainda em construção. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol.14, n.3, (Jul-Set) p. 241-257, 2013.

BACELLAR, L.A.P. Condicionantes geológicas, geomorfológicas e Geotécnicas dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG. 2000. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

BACELLAR, L.A.P.; COELHO NETO, A.L.; LACERDA, W.A. Fatores condicionantes do voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Maracujá, Ouro Preto, MG. In: VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia. CD Rom. São Paulo: ABGE, 2001. v. 1.

BARBOSA, V.C.C.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Estudo preliminar da variação de microformas e da cobertura vegetal na geração do runoff e perda de solo em vertente do município de Gouveia/MG. *Geonomos*, vol. 8, no. 2, p. 1-7, 2000.

BARBOSA, G. V. Superfícies de Erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 10, n. 1, p.89-101, 4 dez. 1980.

BATHRELLOS, G.D.; GAKI-PAPANASTASSIOU, K; SKILODIMOU, H.D.; PAPANASTASSIOU, D.; CHOUSIANITIS, K.G. Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological parameters. *Environmental Earth Sciences*, vol. 66, p. 537–48, 2012.

BATHRELLOS, G.D.I. An overview in urban geology and urban geomorphology. *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXX, 2007. In: *Proceedings of the 11th International Congress*, Athens, May, 2007.

- BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELÁZQUEZ, A. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries *Geomorphology*, vol. 39, p. 211–219, 2001.
- BOHNET, I. C.; PERT P.L. Patterns, drivers and impacts of urban growth: a study from Cairns, Queensland, Australia from 1952 to 2031. *Landscape and Urban Planning*, vol. 97, p. 239–48, 2010.
- BOOTH, D.B.; HENSHAW, P.C. Rates of channel erosion in small urban streams, in Wigmosta M and Burges S (eds), *Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas*. vol. 2. AGU Monograph Series, Water Science and Applications. Washington, DC, p. 17–38, 2001.
- BRASIL. LEI COMPLEMENTAR nº 14, de 8 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza.
- BRASIL. Constituição Federal nº 14, de 5 de outubro de 1988.
- BRASIL. Estatuto das Cidades Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- BROWN, A.G. 1996. *Geomorphology & Groundwater*, John Wiley & Sons, Chichester. 212 f. 1996.
- BRUNSDEN, D.; THORNES, J.B. Landscape sensitivity and change, *Transactions of the Institute of British Geographers*, NS 4, p. 463–84, 1979.
- BURROUGH, P.A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford University Press, Oxford, p. 193, 1986.
- CASAGRANDE, P. B.; FONZINO, F.; LANFRANCHI, E.; FONSECA, B. M; DE SENA, Í. S. PROPOSTA DE ÍNDICE DE RISCO GEOLÓGICO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE NORCIA, ITÁLIA. XXVII congresso brasileiro de cartografia - Rio de Janeiro, Brasil, 2017.
- CARSON, M.A.; KIRKBY, M.J. *Hillslope form and process*. New York: Cambridge University Press, 1972.
- CARTON, A; CORATZA, P.; MARCHETTI, M. Guidelines for Geomorphological site mappings: examples from Italy. *Géomorphosites: définition, évaluation et cartographie*, vol. 3, p. 209-218, 2005.
- CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo e paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, vol. 45, no.8, p. 903-916, 2010.
- CHRISTIAN, C.S. The Australian approach to environmental mapping. In: F. C. Whitmore, and M. E. Williams, Eds. *Resources for the twenty-first century*. Professional Paper 1193. US Geological Survey, Washington, DC. p. 298-316, 1982
- CLARKE, S.J.; BRUCE-BURGESS, L.; WHARTON, G. Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 439–50, 2003.
- COATES, D. *Urban Geomorphology*, Colorado, US.A. Geological Society of America, Sp. Paper 174, 166 f. 1976.
- COOKE, R.U. *Urban Geomorphology*. *The Geographical Journal*, Vol. 142, No. 1 (Mar., 1976), p. 59-65, Published by: geographicalj DOI: 10.2307/1796025. 1976.
- COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. *Geomorphology in Environmental Management*. Oxford: Clarenton Press.413p. 1974.
- CUNHA, C. M. L., MENDES, I. A., & SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 4, nº 1, p. 01-09, 2003.
- DOUGLAS, I. Urban planning policies for physical constraints and environmental change. In: J.M.

- Hooke (ed.), *Geomorphology in environmental planning*. New York, John Wiley & Sons, 1988.
- DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional Paper 641-A, 2. ed., USGS/DNPM, 1969.
- DOWNS P.W.; GREGORY K.J. *River Channel Management: Towards Sustainable Catchment Hydrosystems*. London: Arnold, 2004.
- DOWNSAND, P.W.; BOOTH, D.B. *Geomorphology in Environmental Management*. IN: Gregory, J.K. & Goudie, A.S. *The SAGE Handbook of Geomorphology*, Chapter 5, p. 81-107. London: SAGE Publications LTD. 648p, 2011.
- EBISEMIJU, F.S. Patterns of stream channel response to urbanization in the humid tropics and their implications for urban land use planning: a case study from southwestern Nigeria. *Applied Geography* 9: 273–86, 1989.
- FIGUEIREDO, M.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FABRIS J.D. Mineralogy, size, morphology and porosity of aggregates and their relationship with soil susceptibility to water erosion. *Hyperfine Interactions*, vol. 122, p. 177–184, 1999.
- FONSECA, B.M; AUGUSTIN, C.H.R.R. Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil. In: *International Geographic Union Regional Geographic Conference - UGI 2011, Santiago. Resumos...* Santiago: Military Geographic Institute of Chile (IGM), 2011 .vol. 1, p. 1-12.
- FOOKES, P.G.; LEE, E.M.; MILLIGAN, G. *Geomorphology for Engineers*. Caithness: Whittles, 2005.
- GABET, E.J. A theoretical model coupling chemical weathering and physical erosion in landslide-dominated landscapes. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 264, p. 259–26, 2007.
- GLADE, T.; CROZIER, M.J. (eds.). *Landslide geomorphology in a changing environment*, *Geomorphology*, vol. 120, nos. 1-2, p. 1-90, 2010.
- GRANT, K.; FINLAYSON, A.A. The application of terrain analysis to urban and regional planning. *Proceedings of the III International Congress of the International*, 1978.
- GREENWAY, D.R. Vegetation and slope stability. In: *Slope Stability*, p. 187-230, 1987.
- GREGORY. K.J.; BENITO. G.; DOWNS. P.W. Applying fluvial geomorphology to river channel management: background for progress towards a palaeohydrology protocol. *Geomorphology*, vol. 98, p. 153–72, 2008.
- GUPTA, A. Urban hydrology and sedimentation in the humid tropics. In: E. Costa and J.P. Fleisher (eds), *Developments and applications of geomorphology*, Berlin, Springer-Verlag 240-267, 1984.
- GUPTA, A.; AHMAD, R. Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage, *Geomorphology*, vol. 31, p. 133-149, 1999.
- HAANTJENS, H.; HEYLIGERS, P.; LOFFLER, E.; SAUNDERS, J. Land resources of the Vanimo area, Papua New Guinea. Appendix 1. Definition or explanation of descriptive terms and of classes of land Attributes. *Land Research Series. CSIRO Australia*, vol.31, p.119-126, 1992.
- HACK, J.T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. U.S. Geol. Survey, Professional Paper 294, p. 45-97, 1957.
- HADER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. The geology of Central Minas Gerais. *J. Geol.*, 23:341- 424, 1915.
- HOLANDA, V. C. C. *Urbanização Brasileira: Um Olhar Pelos Interstícios Das Configurações Espaciais Seletivas. Múltiplos Olhares Sobre A Cidade e o Urbano: Sobral E Região Em Foco*. 1ed.Sobral: Ed.UECE, p. 253-272, 2010.
- HUDSON P.; GOUDIE, A.; ASRAT, A. Human impacts on landscapes: sustainability and the role of

geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. 59, p. 1–5, 2015.

IBGE. Região de influência das cidades – REGIC. Rio de Janeiro, IBGE. Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 2015.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

KIRKBY, M.J. (Ed). *Hillslope Hydrology*. Great Britain: Wiley, Interscience, 389 p, 1978.

LEOPOLD, L.B. *Hydrology for Urban Land Planning – a Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use*, Circular 554. Washington, DC: United States Geological Survey, 1968.

LIMA, P.G. Mecanismos de Evolução de Voçorocas e quantificação dos impactos associados por modelagem matemática: estudo de caso da voçoroca Mangue Seco, São Gonçalo do Bação (MG). 2016. 130 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Geotecnia) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

LOFFLER, E.; HAANTJENS, H.; HEYLIGERS, P.; SAUNDERS, J.; SHORT, K. Land resources of the Vaimo area, Papua New Guinea. *Land Research Series*. CSIRO Australia(31): 126p, 1972.

MARANI, M.; ELTAHIR, E; PARSONS, R.M.; RINALDO, A. Geomorphic controls on regional base flow. *Water Resources Research*, vol. 37, no. 10, p. 2619-2630, October, 2001.

MOHAPATRA, S.N.; PANI, P.; SHARMA, M. Rapid Urban Expansion and Its Implications on Geomorphology: A Remote Sensing and GIS Based Study. *Hindawi Publishing Corporation Geography Journal*, Vol. 2014, p. 1-10, 2014.

MONTGOMERY, D.R.; GRANT, G.E.; SULLIVAN, K. Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. *Water Resources Bulletin*, 31, p. 369-85, 1995.

MONTZ, B. E.; TOBIN, G.A. (2011). Natural hazards: an evolving tradition in applied geography. *Applied Geography*, vol. 31, no. 1, p. 1-4, 2011.

MORISAWA, M. (Eds.). *Geomorphology and Natural Hazards*. Proceedings of the 25th Binghamton Symposium in Geomorphology, Held September 24–25, 1994 at SUNY, Binghamton, USA. Elsevier. 355p. 1994.

MORISAWA, M.E.: Relation of morphometric properties to runoff in the Little Mill Creek, Ohio, drainage basin, Tech rept 17, Columbia Univ, Dept Geol, ONR, New York, 1959.

MOURA, A. C. M.. Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil. Abril de 2007. P.2899-2906.

MOURA, M.G.A. Itabirito, um centro urbano emergente, seu papel e suas transformações. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Ambientais). PUC MINAS, Belo Horizonte, 2007.

NASCIMENTO, n.o.; BERTRAND-KRAJEWSKI, j.l.; BRITTO, a.l. Águas urbanas e urbanismo na passagem do século xix ao xx. *rev. UFMG*, Belo Horizonte, v. 20, n.1, p.102-133, jan./jun. 2013.

OLIVA, P.; VIERS, J.; DUPRE, B. Chemical weathering in granitic environments. *Chemical Geology*, vol. 202, p. 225–256, 2003.

PARIZZI, M.G.; MOURA, A.C.M.; MEMÓRIA, E.; MAGALHÃES, D.M. Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: 13 Congresso de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2011, São Paulo 2011.

PARO, P.; SMITH, M.J. Editorial: Applied Geomorphological Mapping. *Journal of Maps*, p.197-200, 2008.

QUEIROZ, N.J.P. Vegetação fator de proteção do solo. In: Encontro Nacional de Estudos do Meio Ambiente, 1989, Santa Catarina. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 1989. p. 267 – 277.

RAJAVENI, S. P.; BRINDHA, K.; ELANGO, L. Geological and geomorphological controls on groundwater occurrence in a hard rock region *Appl Water Sci* (2017) 7:1377–1389 DOI 10.1007/s13201-015-0327-6, 2017.

REIS, N. G. Notas sobre urbanismo no Brasil. Segunda parte, séculos XIX e XX. *Cadernos de Pesquisa do LAP*, São Paulo, set./out. 1995.

RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; VALDES, J.B. The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. *Water Resources Research*, vol. 15, no. 6, p. 1409-1420, 1979. DOI: 10.1029/WR015i006p01409, 1979.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. *Geonomos*, v. 18, p. 34-37, 2010.

ROSIÈRE, C. A. & CHEMALE, F. Jr.. Textural and structural aspects of iron ores from Iron Quadrangle, Brazil. In Pagel, M. & Leroy, J. L. (eds.). *Source, Transport and Deposition of Metals*, Amsterdam, Balkema, 485 – 488, 1991.

SALA, M.; INBAR, M. Some hydrologic effects of urbanization in Catalan rivers. *Catena*, vol. 19, nos 3-4 p. 363-378, 1992.

SALAMUNI, S., NASCIMENTO, E. R.do; SILVA, P. A. H. da; QUEIROZ, G. L.; SILVA, G. da; Knickpoint Finder: ferramenta para busca de geossítios de relevante interesse para o geoturismo. *Boletim Paranaense de Geociências*, v.70, p. 200-208, 2013.

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

SAUNDERS, J. Land-form types and vegetation of Eastern Papua. Pt.7. Forest resources of eastern papua (see 74/150). *Land Research Series. CSIRO Australiano*. 32, pp. 126-140, 1973.

SEAR, D.A.; NEWSON, M.D.; BROOKES, A. Sediment related river maintenance: the role of fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, p. 629-47, 1995.

SILVA, R.F. A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia. Dissertação de Mestrado. 2007. 144 f. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SKILODIMOU, H.; LIVADITIS, G.; BATHRELLOS, G.; VERIKIOU-PAPASPIRIDAKOU, E. Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to urban geomorphology. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, vol. 85, p. 197–204, 2003.

SKILODIMOU, H.; LIVADITIS, G.; BATHRELLOS, G.; VERIKIOU-PAPASPIRIDAKOU, E. Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to Urban Geomorphology, *Geografiska Annaler*, 85A, 2, 197-204, 2003.

SOULSBY, C.; TETZLAFF, D.; RODGERS, P.; DUNN, S.; WALDRON, S. Runoff processes, stream water residence times and controlling landscape characteristics in a mesoscale catchment: An initial evaluation. *Journal of Hydrology*, vol. 325, p. 197-221, 2006.

THORNBUSH, M. Geography, urban geomorphology and sustainability. *Area*, vol. 47, no 4, p. 350–353, 2015. doi: 10.1111/area.12218, 2015.

THORNE C.R., HEY R.D.; NEWSON, M.D. (eds.). *Applied Fluvial Geomorphology in River Engineering Management*. Chichester: John Wiley and Sons, 1997. 388p.

THORNE, C.R., NEWSON, M.D.; HEY R.D. Application of applied fluvial geomorphology: problems and potential. In: Thorne C.R., Hey R.D. and Newson M.D. (eds.), *Applied Fluvial Geomorphology in River Engineering Management*. Chichester: John Wiley and Sons, p. 365–70, 1997

- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente Governo do Estado de São Paulo, Instituto Geológico, 2009, 196 p.
- TRIMBLE, S.W. Contribution of Stream Channel Erosion to Sediment Yield From an Urbanizing Watershed. *Science* 278: 1442–4, 1997.
- TUCKER, G.E.; BRAS, R.L.: Hillslope processes, drainage density and landscape morphology, *Water Resour Res*, vol. 34, no.10, p. 2751-2764, 1998.
- URBAN, M.A. Conceptualizing anthropogenic change in fluvial systems: drainage development on the Upper Embarras River, Illinois. *Professional Geographer*, vol. 54, p. 204–17, 2002
- VARAJÃO, C.A. A questão da ocorrência das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21: p.131-145, 1991.
- VERSTAPPEN, H.TH. *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*, Elsevier, Amsterdam, 1983.
- WIITALA, S.W. Some aspects of the effect of urban and suburban development upon runoff. U.S. Geol. Survey open-file rept., 28 f. 1961.
- WILCOCK P.R.; SCHMIDT J.C.; WOLMAN M.G.; DIETRICH W.E.; DOMINICK D.; DOYLE M.W.; GRANT, GORDON E.; IVERSON, R.M.; MONTGOMERY, D.R.; PIERSON, T.C.; SCHILLING, S.P.; WILSON, R.C. When models meet managers: examples from geomorphology. IN: Wilcock P.R. & Iverson R.M. (eds), *Prediction in Geomorphology*, Geophysical Monograph 135. Washington, DC: American Geophysical Union, pp. 27–40, 2003
- WOLMAN, M.G.; SCHICK, A.P. Effects of construction on fluvial sediment: urban and suburban areas of Maryland. *Water Resources Research*, vol. 3, p. 451-464, 1967.
- YOUNG, A. *Slopes*. Clayton, K. (Ed.). London: Longman. 288p. 1972.
- ZAHRA, A.; KHORSHIDDOUST, A. Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection. *The 2nd International Geography Symposium GEOMED, 2010, Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 19. p. 662–667, 2011.