

Modelagem da geodiversidade para o anticlinal de Mariana, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil

Geodiversity modelling for the Anticlinal de Mariana, Southeast of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil

Stênio Toledo Nascimento¹ , Paulo de Tarso Amorim Castro¹ 

¹Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Caixa Postal nº 140, Campus Morro do Cruzeiro, CEP 35400-000, Ouro Preto, MG, BR (steniotoledo@gmail.com; ptacastro@gmail.com)

Recebido em 17 de julho de 2017; aceito em 18 de dezembro de 2018

Resumo

Os estudos que envolvem o conceito de geodiversidade e metodologias de quantificação desta são relativamente recentes. Neste trabalho, foram utilizadas variáveis geológicas em formato *raster* para a criação de um mapa que reflete índices de geodiversidade para a região do Anticlinal de Mariana, no sudeste do Quadrilátero Ferrífero. Esse anticlinal é uma estrutura regional localizada na região central do Estado de Minas Gerais, entre os municípios de Ouro Preto e Mariana. Essa estrutura é formada por rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas no seu núcleo e pelo Supergrupo Minas, proterozoicas, nas bordas dessa grande dobra. Nos domínios do Supergrupo Minas, observam-se valores superiores de geodiversidade em consequência principalmente da variação litológica que condiciona as características físicas do meio natural. A região passou por — nos últimos três séculos — e ainda registra atividades de mineração de ouro, bauxita, topázio imperial e quartzitos, gerando feições antrópicas em pontos identificados neste trabalho como aqueles que possuem maiores índices de geodiversidade.

Palavras-chave: Geodiversidade; Anticlinal de Mariana; Quantificação.

Abstract

Studies involving the concept of geodiversity and methods of quantification are relatively recent. In this work, we used geological variables in raster format for creating a map that reflects geodiversity rates for the region of Anticlinal de Mariana, southeastern Quadrilátero Ferrífero. Anticlinal de Mariana is a regional structure in the central region of the state of Minas Gerais, between the towns of Ouro Preto and Mariana. This structure is formed by Archean rocks of the Supergrupo Rio das Velhas at its core and the Supergrupo Minas, Proterozoic, the edges of this great fold. In the areas of the Supergrupo Minas, higher values of geodiversity are observed as a result mainly of a lithological variation that affects the natural environment's physical characteristics. The region still records mining activities for gold, bauxite, imperial topaz and quartzites in the last three centuries, creating anthropic forms in points identified in this study as those with higher levels of geodiversity.

Keywords: Geodiversity; Anticlinal de Mariana; Quantification.

INTRODUÇÃO

O termo geodiversidade apareceu pela primeira vez no fim do século XX e, desde então, vários significados foram atribuídos a esse conceito. Segundo Gray (2004), o vocábulo surgiu durante a Conferência de Malvern, no Reino Unido, quando geólogos e geomorfólogos tratavam sobre conservação geológica e paisagística.

Segundo Martínez et al. (2008), geodiversidade é a diversidade do meio natural, em número, frequência e distribuição dos elementos, bem como dos processos geológicos, sendo, portanto, esses elementos passíveis de tratamento matemático.

Para Serrano Cañadas e Ruiz-Flaño (2007), a expressão refere-se à variabilidade da natureza abiótica, contendo os elementos de naturezas litológica, tectônica, geomorfológica, pedológica, hidrológica e topográfica e os processos físicos da superfície da Terra, dos mares e dos oceanos em conformidade com os processos naturais endógenos e exógenos.

A quantificação da geodiversidade foi alvo de estudo nos trabalhos de Xavier-da-Silva et al. (2001), Benito-Calvo et al. (2009), Hjort e Luoto (2010) e, mais recentemente, Pellitero (2012), Manosso e Ondicol (2012), Pereira et al. (2013), Argyriou et al. (2016), Santos et al. (2017) e Stepišnik e Trenchovska (2018).

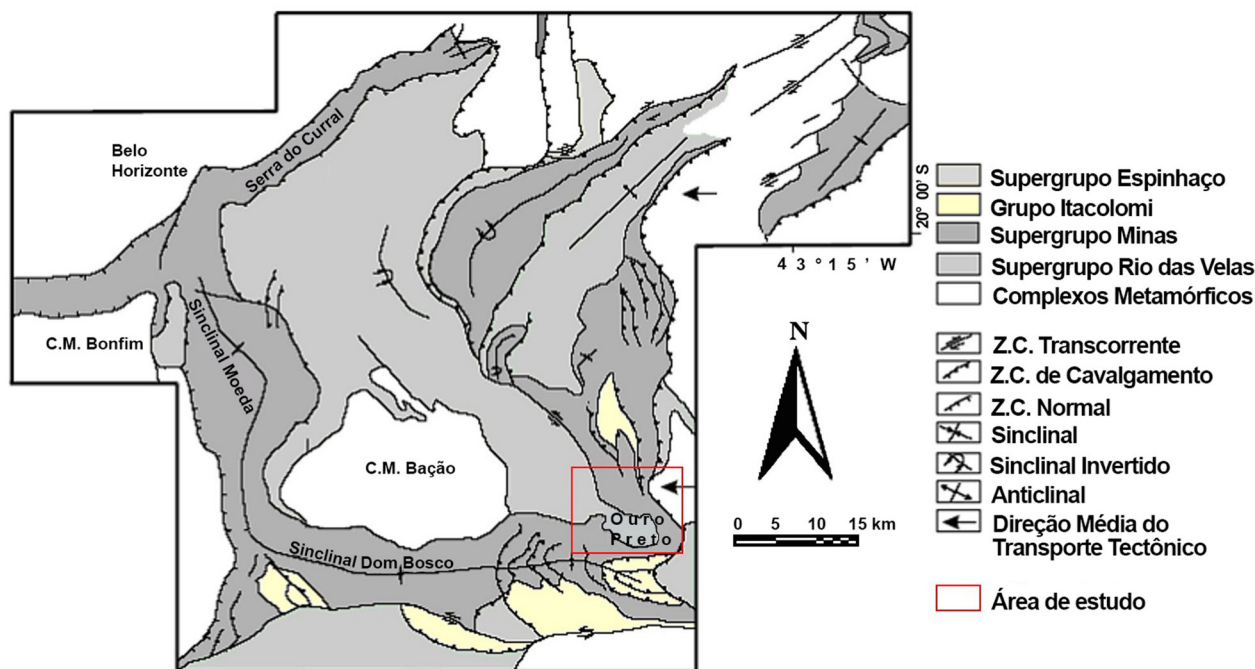
O objetivo precípuo deste trabalho é quantificar a geodiversidade do anticlinal, na porção sudeste do Quadrilátero

Ferrífero, por meio do cálculo de índices. Como objetivos específicos, estão a análise, a avaliação e a classificação dessa geodiversidade no contexto regional da área de estudo.

Área de estudo

O Quadrilátero Ferrífero (QF), ao sul do Cráton São Francisco, foi a região brasileira que mais produziu ouro no século XVIII, principalmente na área delimitada pelas localidades de Ouro Preto, Mariana, Congonhas do Campo, Nova Lima, Raposos, Sabará, Caeté, Santa Bárbara e Ponte Nova (Ladeira, 1988). Os depósitos de ouro da região foram estudados em diversos trabalhos, como os de Henwood (1871), Eschwege (1979) e Guimarães (1931). A cartografia geológica integrada foi alvo de estudo nos trabalhos integrados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e da United States of Geological Survey (USGS), resumidos em Dorr (1969), e em estudos mais recentes, como o de Alkmim e Marshak (1998).

No modelado atual da região, destaca-se o Anticlinal de Mariana, formado por rochas arqueanas do Supergrupo Minas, que se encontram justapostas (Ladeira, 1988). O Anticlinal de Mariana é uma estrutura regional que se encontra na porção sudeste do QF (Figura 1), enquanto a Serra de Ouro Preto se localiza no flanco sul do anticlinal, a serra de Antônio



Fonte: extraído de Guerra (2010), adaptado de Alkmim e Marshak (1998).
Z.C.: zona de cisalhamento; C.M.: complexo metamórfico.

Figura 1. Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero mostrando a área de estudo.

Pereira, no flanco nordeste e a Passagem de Mariana, na zona de charneira desse anticlinal.

Segundo Alkmim e Marshak (1998), o QF apresenta, litoestratigraficamente (Figura 2), os seguintes conjuntos rochosos: os complexos metamórficos que formam embasamento cristalino arqueano (Belo Horizonte, Caeté, Bonfim, Santa Bárbara e Bação), o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas e suas intrusivas e o Grupo Itacolomi.

No contexto do anticlinal, ocorrem o Supergrupo Rio das Velhas, representado pelo grupo Nova Lima, e o Supergrupo Minas, representado pelos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, distribuídos ao longo de toda a estrutura antiformal. Do ponto de vista estrutural, na área são observadas estruturas regionais como o próprio Anticlinal de Mariana e as Falhas de São Vicente, Alegria, Água Quente, Faizão e Fundão, como mostra a Figura 3.

O valor patrimonial do Anticlinal de Mariana é objeto de estudo de Fonseca et al. (2001), que tratam do sítio arqueológico do Morro da Queimada, e de Sobreira (2014), que relaciona as mudanças ocorridas na paisagem do Anticlinal de Mariana à mineração de ouro nos últimos três séculos. A Serra de Antônio Pereira, flanco nordeste do anticlinal, tem seu valor espeleológico salientado por Munaro (2011),

que discorre sobre a presença de cavidades naturais e antrópicas próximas aos sítios arqueológicos Morro Santana e Morro Santo Antônio.

MATERIAIS E MÉTODOS

As bases cartográficas dos mapas envolvendo a geologia e as unidades hidrogeológicas em formato digital foram obtidas do projeto “Geologia do Quadrilátero Ferrífero — Integração e Correção Cartográfica em SIG”, resultante da compilação dos dados realizada pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) (Lobato et al., 2005).

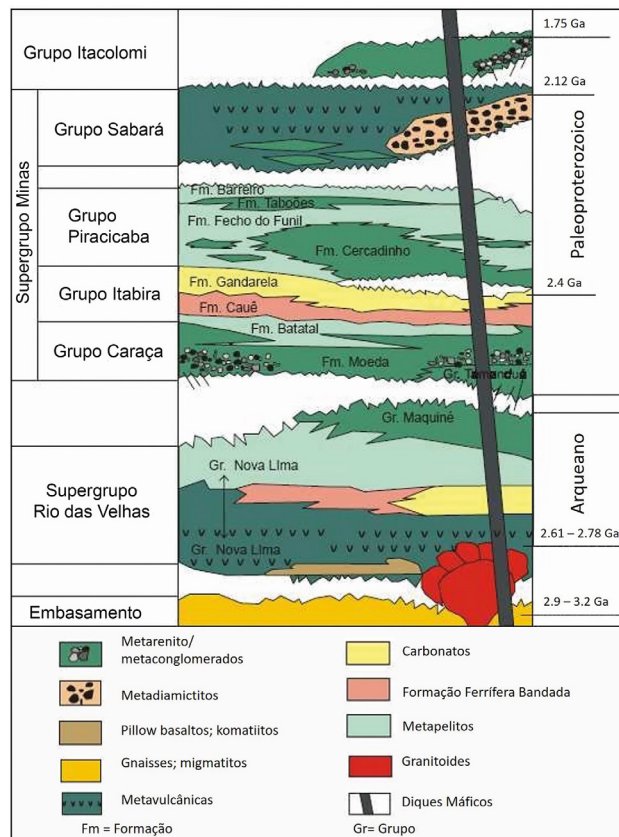
Os estudos geomorfológicos utilizaram como base imagens de radar e satélite com auxílio do *software* Google Earth Pro e os dados topográficos digitais *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução em *pixels* de 1 *arc-second*, aproximadamente 30 m, de livre acesso no site do USGS. Nascimento e Castro (2016) determinaram a compartimentação geomorfológica-estrutural da área de pesquisa, a qual foi utilizada neste trabalho.

A compartimentação do Anticlinal de Mariana foi definida com base nos elementos geomorfológicos analisados vetorialmente (Figura 4), com o objetivo de se representar as unidades com especificidades geológico-estruturais semelhantes. Dessa forma, seis compartimentos foram delimitados, e observa-se que o Anticlinal de Mariana apresenta uma paisagem bastante diversificada, com características associadas às inúmeras combinações das estruturas geológica e geomorfológica existentes.

O compartimento 1 (C1) representa o flanco sul do Anticlinal de Mariana, enquanto o 2 (C2), o flanco nordeste, formando as bordas desse anticlinal. Ambos os compartimentos são, geologicamente, formados pelas unidades Formação Cauê, Formação Batatal, Formação Gandarela, Formação Cercadinho, Formação Moeda, Formação Barreiro, Formação Fecho do Funil, Grupo Sabará e Grupo Nova Lima, além dos depósitos recentes. Considerando-se a geomorfologia, são caracterizados predominantemente por topos de morros e escarpas.

A zona de charneira do anticlinal é delimitada pelo compartimento 3 (C3), porção sudeste da área de estudo. A geologia do local apresenta tanto as rochas do Supergrupo Minas quanto do Supergrupo Rio das Velhas. A geomorfologia da região é composta das unidades topos com morros arredondados, escarpas, topos de morros, relevo de planaltos e relevo ondulado.

O compartimento 4 (C4) representa o vale do Rio das Velhas. Predomina na região as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, rochas mais antigas expostas devido ao esvaziamento do anticlinal. A geomorfologia desse compartimento representa o vale do Rio das Velhas e suas encostas.



Fonte: Leão (2016), adaptado de Alkmim e Marshak (1998).

Figura 2. Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.

O compartimento 5 (C5) apresenta um relevo de planalto onde está situada a sede do município de Mariana. A Formação Sabará predomina nesse compartimento, embora as demais formações dos Supergrupos Minas e Rio das Velhas também ocorram na área.

Enfim, no compartimento 6 (C6), há a representação da transição dos domínios QF e Planaltos Dissecados e a presença do Complexo Santo Antônio, além das rochas do Supergrupo Minas. Observando a geomorfologia, ocorrem os terrenos com relevos ondulados, planaltos e morros com topos arredondados.

As ocorrências minerais foram obtidas por intermédio do banco de dados do Serviço Geológico Brasileiro (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM), no endereço eletrônico www.geobank.cprm.gov.br, no qual é possível se obter a *shapefile* da área desejada em livre acesso.

Todas as bases cartográficas foram trabalhadas e integradas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) no *software* ArcGis 10.1®, no qual se definiram as variáveis utilizadas na pesquisa para o cálculo da geodiversidade no Anticlinal

de Mariana: geologia, hidrografia, geomorfologia e ocorrência mineral. Essas variáveis foram escolhidas devido à disponibilidade dos dados, à relevância em relação à área de estudo e à uniformidade da escala de trabalho (1:50.000), e se utilizou como padrão o sistema de projeção Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) 2000.

As bases cartográficas foram individualizadas gerando-se uma *shapefile* para cada classe de todas as variáveis. Para essas classes, foram atribuídos um valor único e aleatório, e o polígono referente à área de estudo recebeu o valor 0. Foram, então, unidas as classes individualizadas com as áreas de estudo e, posteriormente, convertidas em imagens do formato *raster*. As variáveis com suas classes escolhidas para o cálculo de geodiversidade estão representadas na Tabela 1 e apresentadas em mapas da seguinte forma: a Figura 3, mostrada anteriormente, refere-se à classe geologia; a Figura 5, à variável geomorfologia; a Figura 6 apresenta o mapa de drenagens presentes no Anticlinal de Mariana; e, na Figura 7, está a distribuição das ocorrências minerais na área de estudo.

Mapa geológico-estrutural do Anticlinal de Mariana

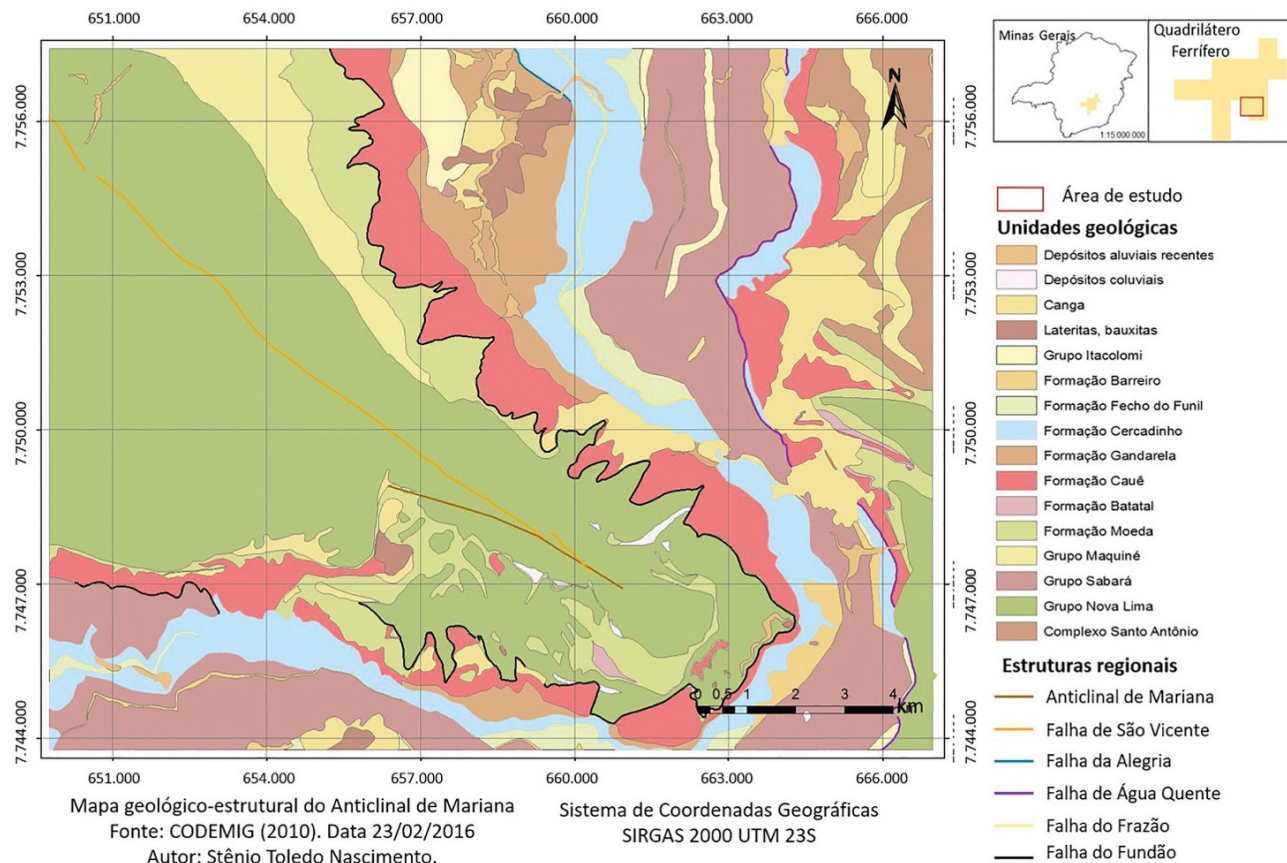


Figura 3. Mapa geológico-estrutural no qual estão definidas as estruturas regionais presentes na área de estudo.

O cálculo do índice de geodiversidade foi realizado por meio da metodologia proposta por Serrano Cañadas e Ruiz-Flaño (2007), adaptada por Hjort e Luoto (2010) e utilizada por Pellitero (2012), Manosso (2012) e Pereira (2014).

São identificados e avaliados os elementos que compõem a geodiversidade associados à geologia, à geomorfologia, à hidrologia e à ocorrência mineral, pois permitem a análise em diferentes escalas, desde a geodiversidade de partículas e de elementos até os lugares e as paisagens.

A quantificação da geodiversidade é dada pela Equação 1:

$$G=(N \times R) / \ln S \quad (1)$$

Em que:

G = índice de geodiversidade;

N = o número de elementos físicos da unidade;

R = a rugosidade;

S = a superfície real da área.

Neste trabalho, optou-se pelo cálculo do índice de geodiversidade por intermédio de mapas no formato *raster*, padronizando

as imagens com células de 30 × 30 m. Sendo assim, a variável $\ln S$ foi excluída, uma vez que esta é empregada quando existem diferentes tamanhos de área da superfície.

Tabela 1. Variáveis × número de classes.

Variáveis	Classes	Número de classes
Geologia	Litologia	32
	Idades geológicas	7
	Formação geológica	16
Geomorfologia	Densidade de lineamentos	5
	Unidades naturais	8
	Declividade	6
	Rugosidade	10
Hidrografia	Orientação da vertente	8
	Densidade de drenagens	5
Ocorrência mineral	Ocorrência mineral	18
Total de elementos		115

Mapa de compartimentação do Anticlinal de Mariana

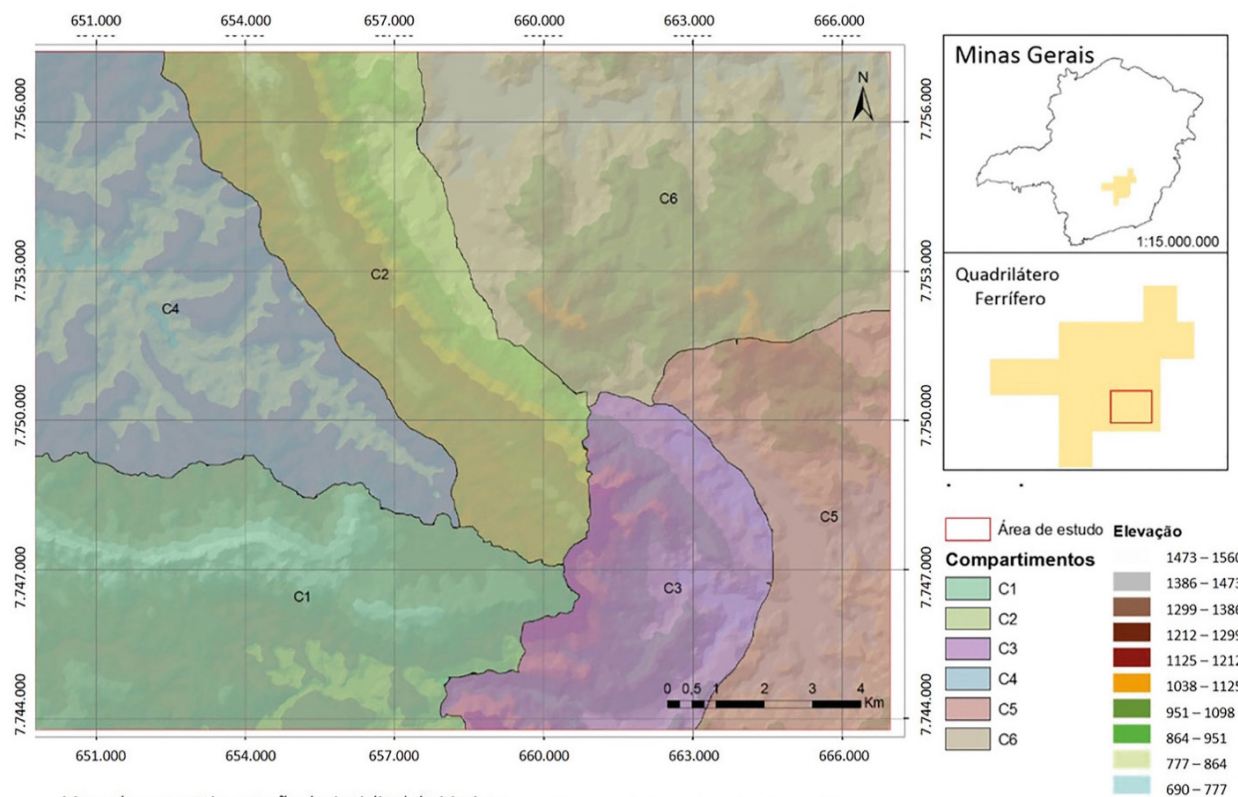


Figura 4. Mapa de compartimentação do Anticlinal de Mariana.

A equação é calculada com o uso do *software* ArcGis 10.1[®]: as variáveis de entrada são carregadas na ferramenta Cell Statistic, no pacote de ferramentas Spatial Analyst Tools, tendo como resultado o mapa de geodiversidade no formato *raster*, que representa a sobreposição de todas as classes das variáveis em uma mesma área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantificação da geodiversidade é resultado das operações matemáticas definidas por Serrano Cañadas e Ruiz-Flaño (2007) que permitem a confecção de mapas. O índice de geodiversidade indica os valores absolutos de 0 a 10 de acordo com a quantidade de elementos diferentes que aparecem em cada célula.

O cruzamento de dados envolveu as variáveis geologia, geomorfologia, hidrografia e ocorrência mineral a fim de se obter uma análise do índice de geodiversidade natural, totalizando-se 115 elementos em 10 classes.

O resultado da operação de cálculo do índice de geodiversidade para a região do Anticlinal de Mariana (Figura 8) indica que existe uma tendência a se encontrarem altos valores do índice de geodiversidade na área, o que condiz com o contexto regional, uma vez que o QF é uma região no Estado de Minas Gerais conhecida pela diversidade dos elementos abióticos.

No mapa da Figura 8, fica ressaltado o contorno da borda do Anticlinal de Mariana, referente a C1, C2 e C3, com os maiores valores de geodiversidade — variando entre 9 e 10. Nesses compartimentos, afloram as rochas do Supergrupo Minas. Nesse mapa, também se observam valores entre 7 e 9 para o vale do Rio das Velhas (C4), evidenciando o controle geomorfológico no esvaziamento do anticlinal, que favorece o afloramento do Supergrupo Rio das Velhas. Valores menores — abaixo de 6 — são encontrados na região nordeste do mapa, coincidente com o domínio geomorfológico Relevo de Planalto (C6).

Os valores mais altos estão nas regiões com maior rugosidade, maior declividade e naquelas onde há mais densidade de lineamentos e de drenagens. Esse dado mostra que

Mapa das unidades geomorfológicas do Anticlinal de Mariana

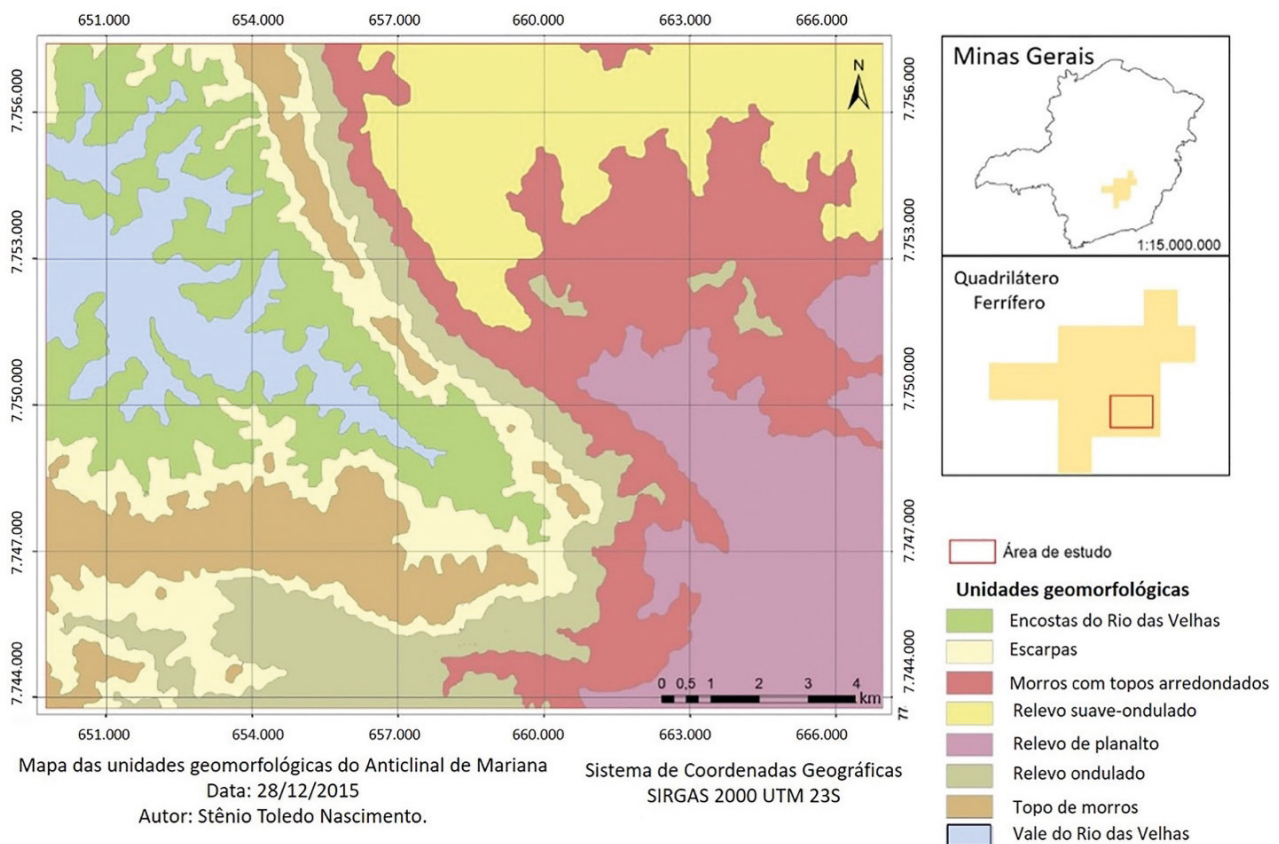


Figura 5. Mapa da variável geomorfologia do Anticlinal de Mariana.

as bordas do Anticlinal de Mariana (C1 e C2) e sua zona de charneira (C3) são as que apresentam maior diversidade de elementos geológicos. Valores intermediários são encontrados no vale do Rio das Velhas, núcleo do anticlinal, enquanto os menores valores são encontrados no domínio dos Planaltos Dissecados (C6), onde os terrenos são menos rugosos, as ocorrências minerais aparecem em menor volume e a hidrografia apresenta pouca variação.

Os locais onde os índices de geodiversidade aparecem com os maiores valores são aqueles que, historicamente, estão associados a intensas atividades de mineração nos últimos três séculos, que acabaram por gerar formas antrópicas no relevo.

Os baixos valores do índice de geodiversidade indicam que locais com menor variabilidade de elementos geológicos, muitas vezes, estão relacionados àqueles ambientes onde nem o relevo nem a ação antrópica permitem exposição ou promovem uma variação relevante dentro das células analisadas dos elementos geológicos.

Os resultados apresentados convergem aos identificados por Pereira (2014), que aplicou a metodologia para uma outra área, a de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana

de Belo Horizonte, norte do QF. Ambos os trabalhos apresentam valores relativamente altos de índices de geodiversidade no contexto do mesmo domínio, o QF.

A metodologia aplicada, a escala utilizada e os resultados apresentados estão em conformidade com o que sugerem os trabalhos de Serrano Cañadas e Ruiz-Flaño (2007) e Pellitero et al. (2015). A escolha de dados geológicos, geomorfológicos, hidrográficos e de ocorrências minerais para a determinação do índice de geodiversidade do Anticlinal de Mariana é representativa para a escala de trabalho adotada.

A Figura 9A mostra atividades de extração do topázio imperial (Figura 9B) no distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto. A mineração de bauxita (Figura 9C) ocorreu na Serra da Brígida, no C1, flanco sul do Anticlinal de Mariana. As pedreiras de quartzito (Figura 9D) são comuns nos domínios leste do C1 e oeste do compartimento C3. No Morro Santo Antônio, em Passagem de Mariana, o ouro foi explorado, deixando formas antropogênicas tabulares, como mostra a Figura 9E.

O mapa apresentado serve como um guia para identificação dos locais em que a variabilidade dos elementos abióticos condiciona a atividade de mineração no Anticlinal

Mapa de drenagens do Anticlinal de Mariana

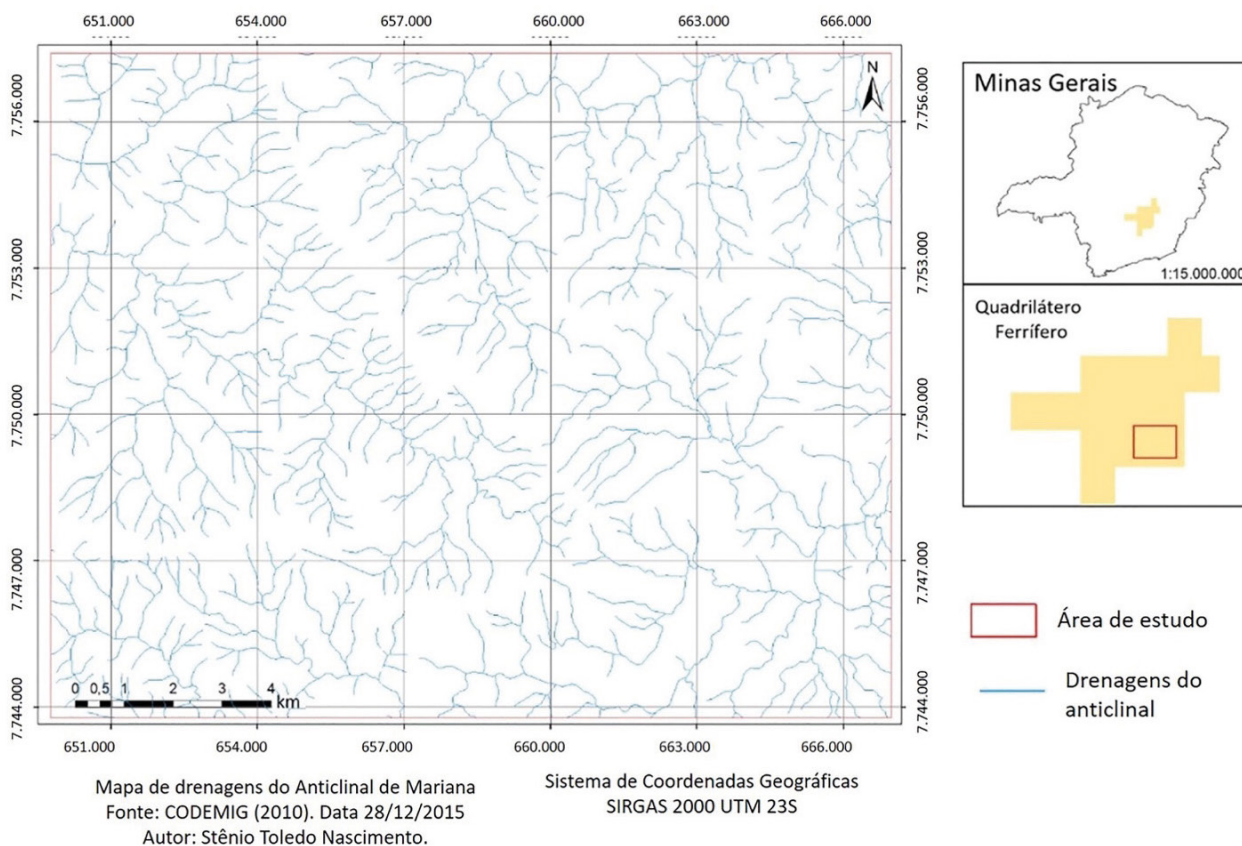


Figura 6. Mapa da variável hidrografia do Anticlinal de Mariana.

de Mariana. Embora nem em todos os locais onde o índice de geodiversidade apareça com valores elevados se registre mineração, os sítios onde houve ou ainda há exploração de bens minerais sempre aparecem com altos índices de geodiversidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada e os resultados obtidos mostraram-se eficazes no cálculo do índice de geodiversidade para o Anticlinal de Mariana.

Por causa das características geológicas do QF, foi possível constatar que existe um padrão de altos valores de índice de geodiversidade quando se trata da área como um todo. Entretanto, nas bordas e na zona de charneira do Anticlinal de Mariana — áreas dominadas pelo Supergrupo Minas —, há a predominância dos maiores valores encontrados para a geodiversidade local, condicionados pela variedade litológica, geomorfológica e estrutural da região. O núcleo do anticlinal, vale do Rio das Velhas, embora apresente valores intermediários para a geodiversidade, destaca-se

pela influência das variáveis hidrografia e geomorfologia, mostrando o controle da paisagem pelos elementos físicos.

A análise pode ser mais precisa, caso haja banco de dados com resoluções espaciais maiores que as disponíveis atualmente ou ainda que possibilite o uso de diferentes variáveis, como a pedologia, que foi excluída devido à ausência de estudos que cubram a área de estudo. Além disso, o cálculo do índice de geodiversidade envolve variáveis distintas que podem ser combinadas das mais diversas maneiras. O método indica a variabilidade dos elementos geológicos de maneira quantitativa, deixando exposto o limitante qualitativo que pode ser minimizado por meio de avaliações de trabalhos de campo.

Foi identificada uma relação direta entre os altos valores de geodiversidade e os sítios nos quais se encontram registros de mineração na região, mostrando que a influência antrópica está condicionada à variabilidade dos elementos geológicos do Anticlinal de Mariana.

O índice de geodiversidade é um guia; sendo assim, o trabalho visa subsidiar futuros estudos de geoconservação, bem como de planejamento e uso da área que utilizam dados geológicos para serem realizados.

Mapa de ocorrências minerais do Anticlinal de Mariana

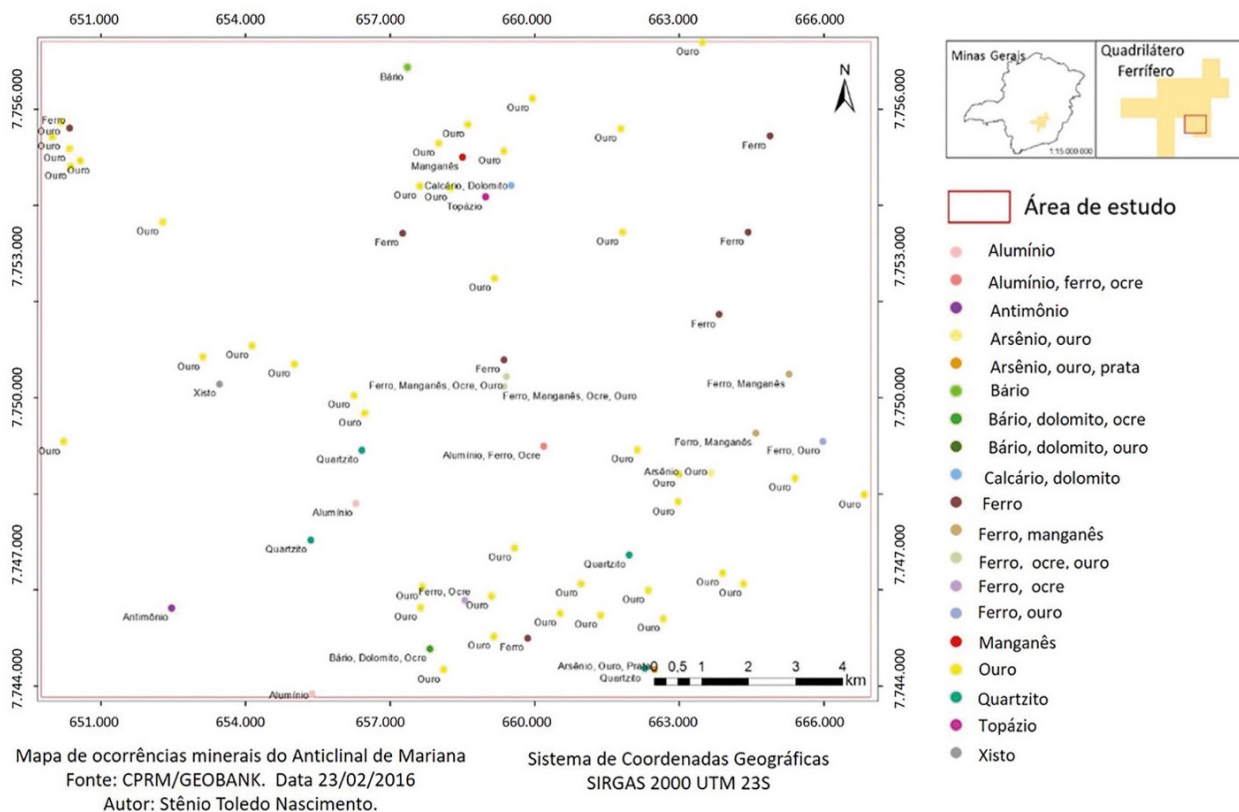


Figura 7. Mapa da variável ocorrências minerais do Anticlinal de Mariana.

Mapa do índice de geodiversidade do Anticlinal de Mariana

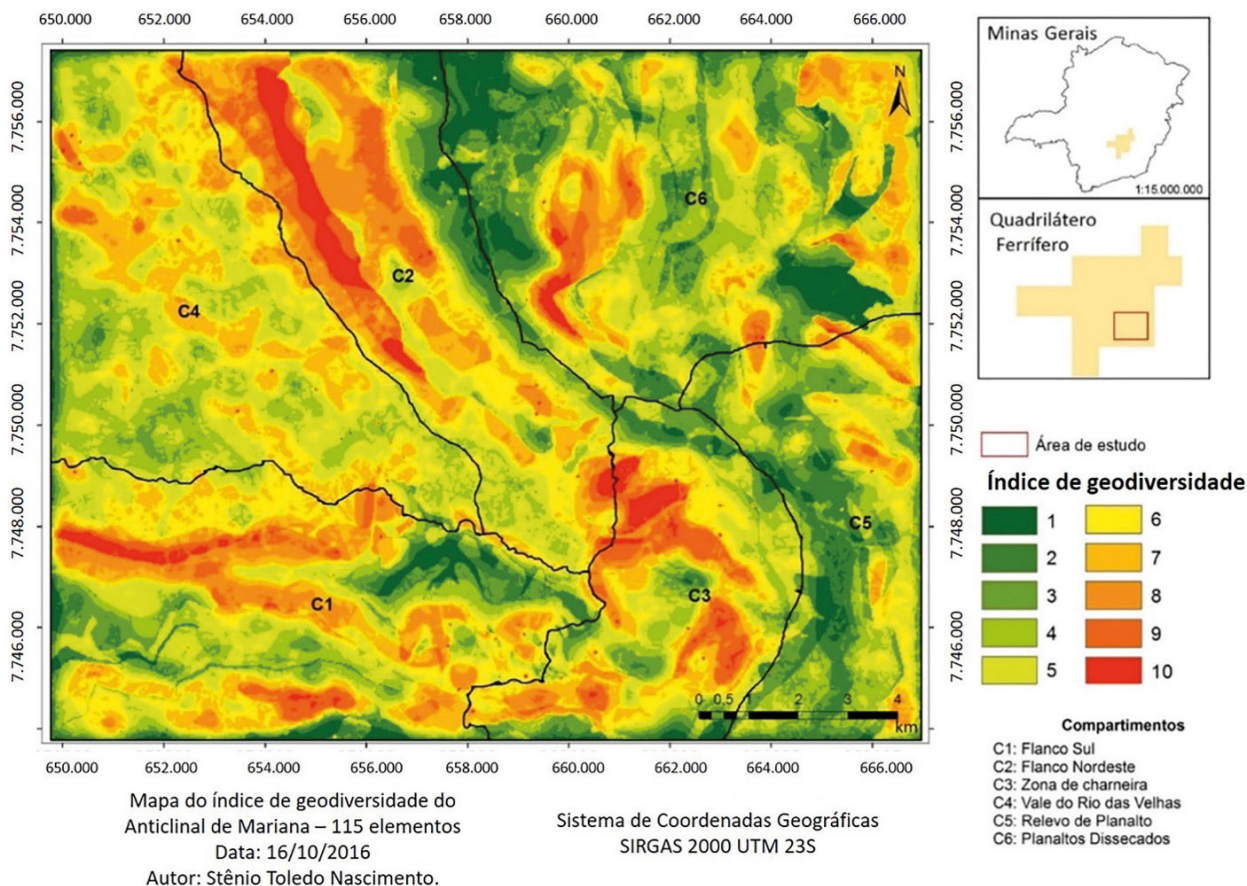


Figura 8. Mapa do índice de geodiversidade do Anticlinal de Mariana (115 elementos).

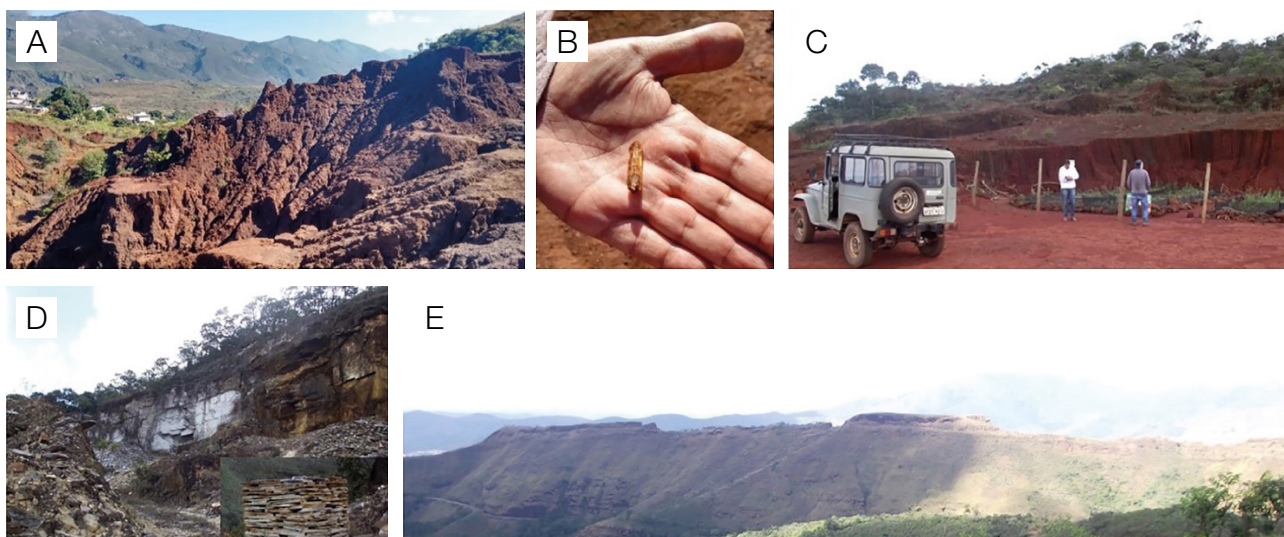


Figura 9. (A) Área de exploração de topázio em Antônio Pereira, Ouro Preto, MG; (B) amostra de topázio imperial; (C) exploração de bauxita, Serra da Brígida, Ouro Preto, MG; (D) pedreira de quartzito, Bairro Liberdade, Ouro Preto, MG; (E) tabuleiros gerados na exploração de ouro, Morro Santo Antônio, Mariana, MG.

REFERÊNCIAS

- Alkmim, F. F., Marshak, S. (1998). Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90, 29-58.
- Argyriou, A. V., Sarris, A., Teeuw, R. M. (2016). Using geoinformatics and geomorphometrics to quantify the geodiversity of Crete, Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 51, 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.04.006>
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., Mezza, P. (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(10), 1433-1445. <https://doi.org/10.1002/esp.1840>
- Dorr, J. V. N. (1969). *Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Washington, D.C.: US Geological Survey. 110p. (Prof. Pap. 641-A). <https://doi.org/10.3133/pp641A>
- Eschwege, W. L. von. (1979). *Pluto Brasiliensis* (Berlim-1833). Tradução de Domínio de Figueiredo Murta. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 2 v.
- Fonseca, M., Sobreira, F. G., Rainho M. E., Oliveira M. (2001). Unbridled Development of Urban Space and its Implications for the Preservation of Landmarks The Morro da Queimada Archaeological Site, Ouro Preto, Brazil. *Cities*, 18(6), 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(01\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(01)00030-0)
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Chichester: John Wiley and Sons, 448 p.
- Guerra, K. J. (2010). *Aplicação de Método geofísico em estudo hidrogeológico no município de Nova Lima – MG. Caracterização De Aquíferos Em Área Urbana*. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 116 p.
- Guimarães, D. (1931). *Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais*. Rio de Janeiro: SGMB, 55, 36 p.
- Henwood, W. I. (1871). *Observations on metalliferous deposits, and on subterranean temperature*. On the gold mines of Minas Gerais in Brazil (8, 1, 168-370). Cornwall: Royal Geological Soc. Cornwall Trans.
- Hjort, J., Luoto, M. (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Elsevier Geomorphology*, 115(1-2), 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.039>
- Ladeira, E. A. (1988). Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: C. Schobbenhaus, C. E. S. Coelho, (Eds.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil* (3, 301-375). Brasília: DNPM.
- Leão, L. P. (2016). *Estudo mineralógico e químico das formações ferríferas bandadas da área do Sinclinal Conta História*. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 115 p.
- Lobato, L. M., Baltazar, O. F., Reis, L. B., Achtshin, A. B., Baars, F. J., Timbó, M. A., Berni, G. V, Mendonça, B. R. V., Ferreira, D. V. (2005). *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG. 1 CD-ROM.
- Manosso, F. C., Ondicol, R. M. (2012). Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. *Anuário do Instituto de Geociências*, 35(1), 90-100. http://dx.doi.org/10.11137/2012_1_90_100
- Manosso, F. C. (2012). *Potencialidades da paisagem na Região da Serra do Cadeado-PR: abordagem metodológica das relações entre a estrutura geoecológica, a geodiversidade e o geoturismo*. Tese (Doutorado). Maringá: Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, 183 p.
- Martínez, E. D., Mondéjar, F. G., Perelló, J. M. M., Bové, C. S. (2008). La conservación de la naturaleza debe incluir la geodiversidad y el patrimonio geológico como parte del patrimonio natural. *Tribuna de Opinión*, 25. 61 p.
- Munaro, P. (2011). *Estudo Espeleológico Comparativo em Cavidades Naturais Subterrâneas, Impactadas e Antrópicas em Formações Ferríferas. XXXI Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Ponta Grossa: SBE.
- Nascimento, S. T., Castro, P. T. A. (2016). Compartimentação e Cálculo do Índice de Geodiversidade no Anticlinal de Mariana, MG. *IX Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Maringá: SBGeo.
- Pellitero, R. O. (2012). *Geomorfología, paleoambiente cuaternario y geodiversidad en el Macizo de Fuentes Carrionas-Montaña Palentina*. Tese (Doutorado). Valladolid: Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidade de Valladolid, 1085 p.

- Pellitero, R. O., Manosso, F. C., Serrano, E. (2015). Mid- and large scale geodiversity calculation in Fuentes Carrionas (NW Spain) and Serra do Cadeado (Paraná, Brazil): methodology and application for land management. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97(2), 219-235. <https://doi.org/10.1111/geoa.12057>
- Pereira, E. O. (2014). *Modelagem da Geodiversidade da Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 93 p.
- Pereira, E. O., Azevedo, U. R., Pellitero, R. O. (2013). Modelagem da geodiversidade na área de proteção ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG. *Geonomos*, 21(2), 97-101. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v21i2.277>
- Santos, D. S., Mansur, K. L., Gonçalves, J. B., Arruda Junior, E. R., Manosso, F. C. (2017). Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Applied Geography*, 85, 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.03.009>
- Serrano Cañadas, E., Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiermes Caracena (Soria). *Boletín de la A.G.E.*, 45, 79-98.
- Sobreira, F. (2014). Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 5(1), 55-65. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i1.34432>
- Stepišnik, U., Trenchovska, A. (2018). A New Quantitative Model for Comprehensive Geodiversity Evaluation: the Škocjan Caves Regional Park, Slovenia. *Geoheritage*, 10(1), 39-48. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0216-5>
- Xavier-da-Silva, J., Person, V. G., Lorini, M. L., Bergamo, R. B. A., Ribeiro, M. F., Costa, A. J. S. T., Iervolino, P., Abdo, O. E. (2001). Índices de geodiversidade: aplicações de SIG em estudos de biodiversidade. In: I. Garay & B. F. S. Dias (Eds.), *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão novas metodologias de avaliação e monitoramento* (299-316). Rio de Janeiro: Vozes.