



ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE DA UNIDADE DE GESTÃO GD 3 – ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE FURNAS, DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE

Caio Tavoraro Melo ¹
Pedro Freitas Ramos Grande ²
Felipe Gomes Rubira ³

RESUMO

A geodiversidade, entendida como a variedade de elementos abióticos da paisagem constitui um indicador essencial para ações de planejamento, conservação e gestão ambiental. Neste contexto, este estudo visa quantificar a geodiversidade da Unidade de Gestão GD-3 – Entorno do Reservatório de Furnas, localizada no sul de Minas Gerais, por meio de abordagem integrada baseada em variáveis geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrográficas. A metodologia fundamentou-se na sobreposição espacial de camadas temáticas em uma grade de 202 células de 10 × 10 km, com dados obtidos de repositórios oficiais em escalas variadas. A quantificação foi realizada no ambiente SIG, com pontuação por diversidade litológica, tipos de solos, unidades geomorfológicas, presença de *knickpoints* e rede de drenagem. Os resultados revelam valores de geodiversidade variando de 3 a 22 pontos, com predomínio das classes média (39,60%) e baixa (37,62%), totalizando 77,22% da área. As maiores concentrações de diversidade ocorrem na região central da unidade, especialmente nas proximidades do Reservatório de Furnas, onde há sobreposição de estruturas geológicas, litologias contrastantes, *knickpoints* e solos variados. Esses setores configuram áreas prioritárias para conservação, planejamento territorial e desenvolvimento do geoturismo. No entanto, os setores periféricos, com menor geodiversidade, também são relevantes para a conectividade ecológica e o monitoramento ambiental. A aplicação do índice de geodiversidade demonstrou ser uma ferramenta eficaz para identificação de áreas com elevado valor geocientífico, fornecendo subsídios para estratégias de uso sustentável do território. Estudos futuros que incorporem novos parâmetros abióticos poderão aprimorar a metodologia, ampliando a robustez dos resultados.

INTRODUÇÃO

O conceito de geodiversidade refere-se à variedade de elementos abióticos que compõem a superfície terrestre, incluindo formas de relevo, tipos de solo e rochas, feições estruturais e recursos hídricos. Esse conjunto de elementos expressa os processos geodinâmicos responsáveis pela conformação da paisagem ao longo do tempo geológico, sendo fundamental para o entendimento da dinâmica dos geossistemas (Bétard; Peulvast, 2019; Stanley; Resler; Carstensen, et al., 2023; Yu; Yang, 2022).

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, caio.melo@sou.unifal-mg.edu.br;

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, pedro.freitas@sou.unifal-mg.edu.br;

³ Professor orientador: Doutor, Instituto de Ciências da Natureza - Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, felipe.rubira@unifal-mg.edu.br;



Estudos recentes indicam que áreas com alta geodiversidade tendem a apresentar maior heterogeneidade de habitats, o que contribui diretamente para o incremento da biodiversidade local (Crisp et al., 2023; Nieto, 2016; Tukiainen et al., 2017). Nesse sentido, a análise da geodiversidade adquire relevância científica e prática, sobretudo na identificação de áreas prioritárias para conservação, especialmente em regiões submetidas a pressões antrópicas intensas (Van Mesdag, 2024).

Além de seu valor ecológico, a geodiversidade incorpora dimensões culturais, educacionais, estéticas e científicas da paisagem, reforçando sua importância na formulação de políticas públicas voltadas à gestão territorial e à valorização do patrimônio natural (Knudson; Kay; Fisher, 2018; Pinheiro; Gentilini; Giardino, 2023). O mapeamento e a quantificação dos componentes abióticos subsidiam o planejamento ambiental, incentivam o geoturismo e promovem ações de educação ambiental (Bartus; Mastej, 2023; Kubalíková et al., 2022).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo quantificar a geodiversidade da Unidade de Gestão GD-3 – Entorno do Reservatório de Furnas, situada no sul de Minas Gerais. Essa unidade integra a Bacia Hidrográfica do Rio Grande (MG-SP) e possui expressiva relevância estratégica, especialmente pela presença do reservatório e da Usina Hidrelétrica de Furnas, que atende cerca de 3 milhões de pessoas e abastece diversos estados brasileiros. A área envolve aproximadamente 50 municípios, sendo 34 lindeiros ao lago (IGAM, 2021), e concentra múltiplos usos da água, como geração de energia, pesca, aquicultura, irrigação, navegação e turismo (Ribeiro Junior; Zuffo; Silva, 2016), o que acentua a necessidade de um planejamento ambiental eficaz.

A metodologia adotada baseia-se na aplicação de um índice de geodiversidade adaptado de Meira e Silva (2021) e Pereira et al. (2013), por meio da integração de dados geológicos, pedológicos, geomorfológicos e hidrográficos. A abordagem envolve sobreposição cartográfica dos diferentes elementos, com o objetivo de identificar padrões espaciais de variabilidade abiótica em um território caracterizado por intensas pressões socioambientais.

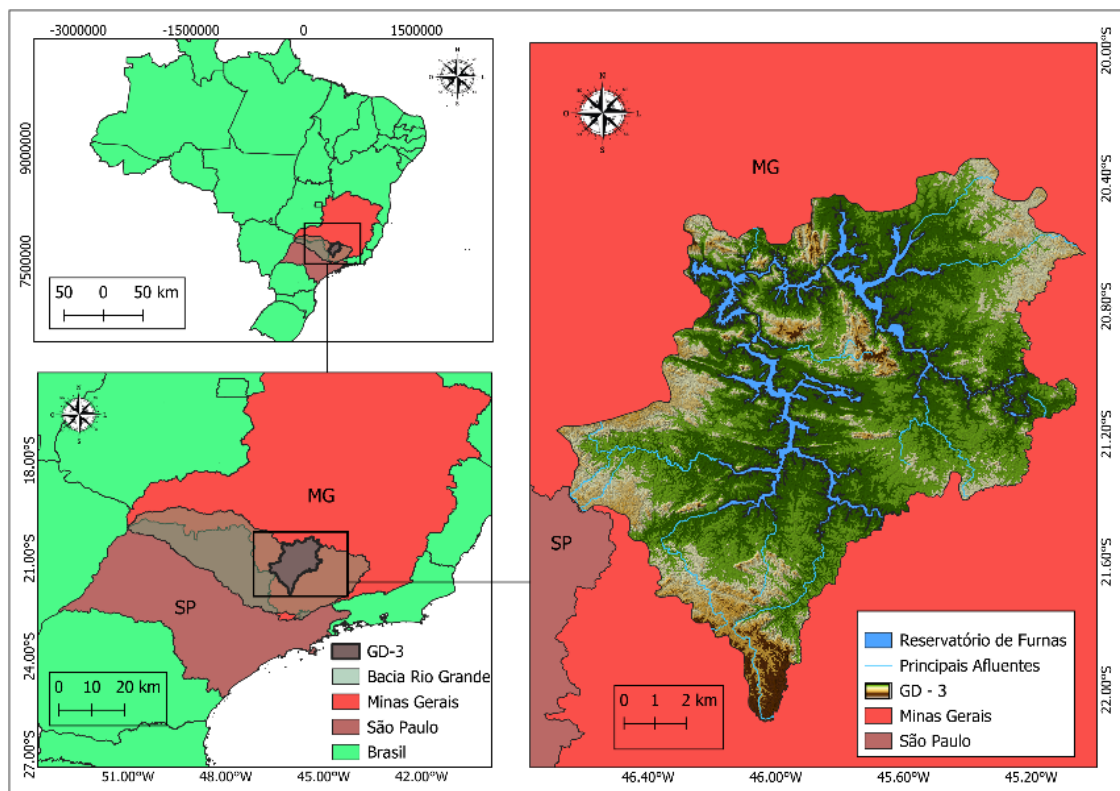
METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à Unidade de Gestão GD-3 – Entorno do Reservatório de Furnas, localizada no sul do estado de Minas Gerais, na porção média da bacia hidrográfica do rio Grande (Figura 1). Essa unidade abrange aproximadamente 16.643 km² e compreende 50

municípios, dos quais 34 são lindeiros ao reservatório. A população estimada ultrapassa 700 mil habitantes, o que reforça a relevância socioambiental da região (IGAM, 2021).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores (2025)

A área de estudo abrange unidades litológicas pertencentes aos períodos Eoarqueano, Paleoarqueano, Mesoarqueano, Neoarqueano, Paleoproterozoico, Neoproterozoico e Cenozóico. O substrato geológico é caracterizado por elevada diversidade litológica, composta por rochas ígneas e metamórficas, incluindo gnaisses, granitos, quartzitos, metassilicáticas e ultramáficas, além de coberturas sedimentares de distintas naturezas (IGAM, 2013). A presença de falhas de empurrão, aliada à heterogeneidade litológica e às condições tropicais úmidas do clima regional, favorece a atuação de processos de erosão diferencial e compartimentação do relevo, resultando em uma paisagem com notável complexidade morfoestrutural (Alvares et al., 2013; Silva et al., 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

A análise da geodiversidade foi conduzida com base em abordagem quantitativa e descritiva, fundamentada na adaptação das propostas metodológicas de Pereira et al. (2013) e Meira e Silva (2021). A metodologia baseou-se na sobreposição de camadas temáticas



representativas dos componentes físicos da paisagem, considerando as variáveis: litologia, pedologia, unidades geomorfológicas e rede hidrográfica. Para cada camada, foram atribuídos valores parciais, cuja somatória resultou no índice final de geodiversidade e sua densidade espacial.

A delimitação da área de estudo seguiu os limites da Unidade de Gestão GD-3. As feições relativas ao espelho d'água do reservatório de Furnas foram excluídas das camadas temáticas de geologia, solos e geomorfologia, a fim de evitar redundâncias, uma vez que a rede de drenagem foi analisada separadamente. Sobre o recorte vetorial da área, foi aplicada uma malha regular com espaçamento de 10 km nos eixos X e Y, totalizando 202 células.

Os dados geoespaciais utilizados foram obtidos de repositórios públicos e especializados, contemplando distintas escalas cartográficas. As informações geológicas, na escala 1:1.100.000, foram obtidas no repositório da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (Silva et al., 2020); os dados pedológicos, na escala 1:650.000, foram disponibilizados pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV et al., 2010); os dados geomorfológicos, na escala 1:250.000, foram acessados por meio do Banco de Informações Ambientais (BdiA) do IBGE (IBGE, 2023); e as informações hidrográficas, nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, foram obtidas junto à Agência Nacional de Águas (ANA, 2014). Adicionalmente, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) GLO-30, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado pela plataforma *OpenTopography*.

A extração de *knickpoints* foi realizada no ambiente MATLAB v.2021a, com o uso do pacote TopoToolbox 2 (Schwanghart; Scherler, 2014). O MDE foi utilizado para gerar o modelo de fluxo direcionado (*FLOWobj*) e a rede de drenagem (*STREAMobj*), adotando-se uma área mínima de contribuição de 1 km². Segmentos com extensão inferior a 1.000 m foram removidos. A incerteza altimétrica ao longo dos canais foi avaliada pelo método “*quantile carving*”, que permite quantificar a amplitude vertical da incerteza, evitando que ruídos do MDE sejam interpretados como *knickpoints*. A identificação automática dos *knickpoints* foi realizada com a função “*knickpointfinder*”, utilizando-se como limiar mínimo de detecção o valor médio da incerteza estimada (~45,4 m). Os *knickpoints* extraídos foram exportados em formato *shapefile* para posterior análise em ambiente SIG.

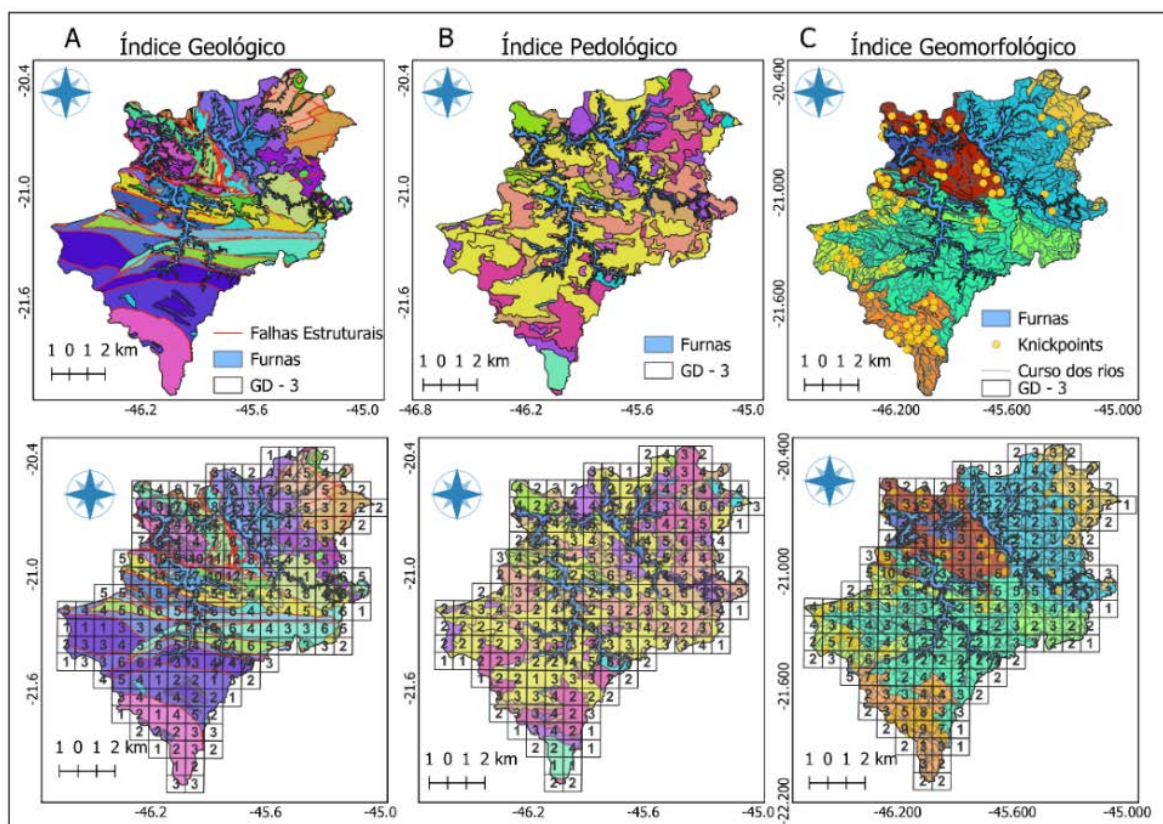
A quantificação dos elementos abióticos em cada célula da grade foi feita por meio da sobreposição espacial das variáveis temáticas. Para o índice geológico, foi atribuído 1 ponto por litotipo distinto e por ocorrência de falhas. O índice pedológico considerou 1 ponto para cada classe de solo distinta. O índice geomorfológico foi subdividido em dois subíndices: relevo e hidrografia. No subíndice de relevo, foram atribuídos 1 ponto por unidade geomorfológica

distinta e por *knickpoint* identificado. No subíndice hidrográfico, a presença de rios foi registrada com 1 ponto e sua ausência, com zero. Os dados foram consolidados em um *shapefile* único, e a soma dos subíndices resultou no valor final do índice de geodiversidade para cada célula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa do índice geológico (Figura 2A) evidencia maior diversidade estrutural e litológica no setor central da área, com valores entre 6 e 12 pontos. O setor sul apresenta índices baixos (1 a 5), indicando relativa estabilidade geológica, enquanto o setor leste registra valores medianos (1 a 7). Predominam áreas com diversidade geológica baixa (3 a 4 pontos), representando 40,59% das células, seguidas pelas classes média (5 a 6 pontos, 25,25%) e muito baixa (1 a 2 pontos, 19,80%). Esses dados indicam uma distribuição espacial majoritariamente concentrada em níveis de diversidade geológica baixos a médios.

Figura 2: (A) Índice Geológico; (B) índice Pedológico; (C) Índice Geomorfológico.



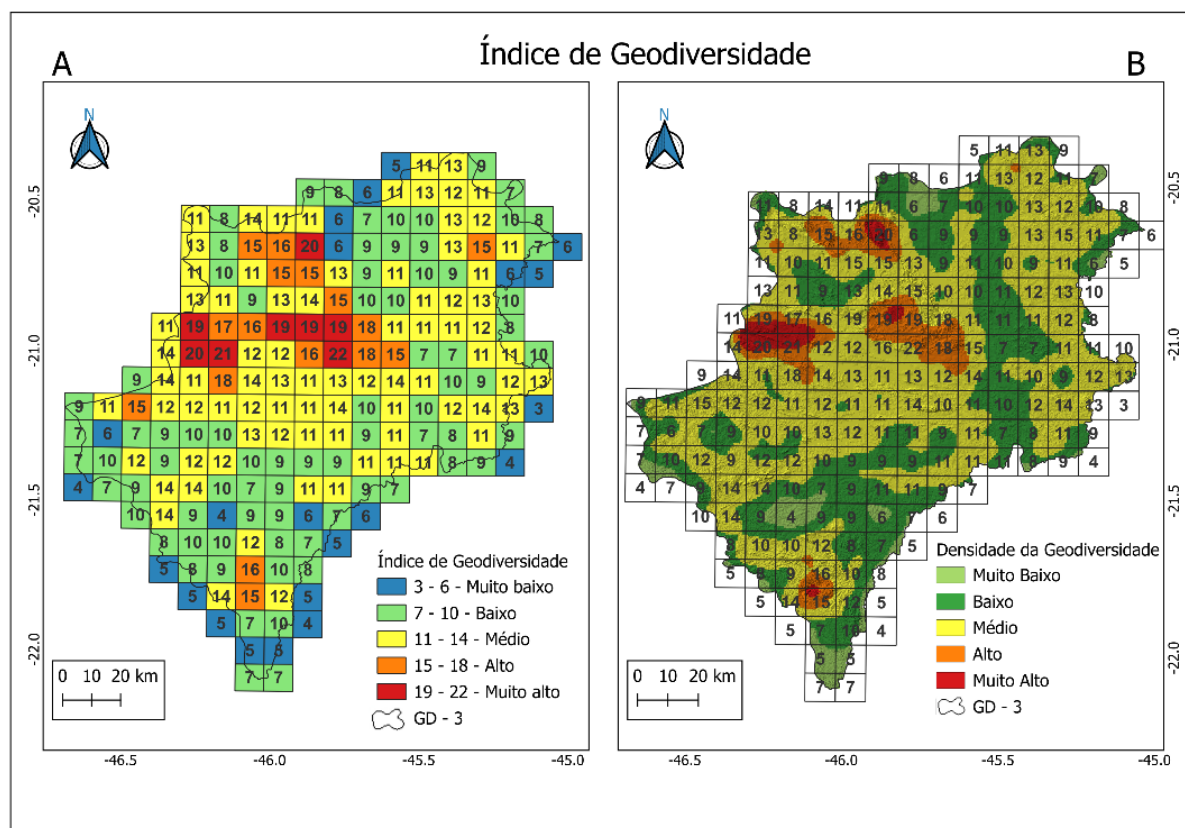
O índice pedológico (Figura 2B) evidencia três grupos principais de solos na unidade GD-3: (i) solos pouco desenvolvidos, como Cambissolos, Gleissolos e Neossolos; (ii) solos com

horizonte B textural, como Argissolos; e (iii) solos bem desenvolvidos, como Latossolos. A categoria de diversidade pedológica média (valor 3) predomina em 35,64% das células, seguida pelas classes de baixa (valor 2 – 27,23%) e alta diversidade (valor 4 – 21,29%), indicando diversidade pedológica moderada, em geral associada às variações de declividade do relevo.

O índice geomorfológico (Figura 2C) reflete a compartimentação do relevo em quatro regiões geomorfológicas (2º táxon): Planalto Centro-Sul Mineiro (nordeste), Serra da Canastra (noroeste), Planalto do Alto Rio Grande (sudeste) e Planalto de São Pedro de Caldas (sul). A maioria das células apresenta baixa diversidade de unidades geomorfológicas (3º táxon), com valores entre 3 e 4 pontos (50,99% da área). No entanto, núcleos localizados com valores mais elevados (7 a 10 pontos), que abrangem 5,44% das células, indicam setores com maior complexidade morfotectônica.

A análise integrada dos índices permitiu classificar 51,49% das células com geodiversidade variando de média a muito alta (valores entre 11 e 22 pontos), sendo 39,60% na classe média, 7,93% na classe alta e 3,96% na classe muito alta. Por outro lado, 48,51% das células foram classificadas como de geodiversidade baixa a muito baixa (valores entre 3 e 10 pontos), com 10,89% na classe muito baixa e 37,62% na classe baixa (Figura 3).

Figura 3: (A) Índice de Geodiversidade; (B) Densidade da Geodiversidade





Observa-se uma concentração dos valores médios a altos de geodiversidade no entorno imediato do reservatório de Furnas, especialmente em áreas de patamares e planaltos, onde há sobreposição de estruturas geológicas, knickpoints, litologias contrastantes e distintas classes de solos. Tais setores representam áreas de elevada complexidade abiótica, destacando-se como prioritárias para ações de conservação e ordenamento territorial. Essas áreas apresentam elevado potencial científico, educativo e turístico, especialmente para o desenvolvimento de práticas de geoconservação e geoturismo sustentável.

Em contrapartida, as classes de geodiversidade baixa e muito baixa ocorrem nas bordas sul, leste e nordeste, bem como em porções periféricas da região central da unidade GD-3. Apesar dos baixos valores, essas áreas exercem papel estratégico para a conectividade ecológica e o monitoramento ambiental. Ressalta-se, ainda, que parte da baixa diversidade registrada nas bordas pode estar relacionada a limitações do recorte espacial, que, ao interromper a continuidade de feições relevantes, pode subestimar a real complexidade geodiversa dessas áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos índices resultou em um mapa de geodiversidade com predomínio de valores médios a altos, abrangendo 51,49% das células. Grande parte dessa diversidade concentra-se nas proximidades da represa de Furnas, evidenciando a relevância ambiental e geocientífica da área. Nesses setores, a convergência de atributos naturais distintos e inter-relacionados destaca o potencial para ações voltadas à conservação, educação geocientífica, ordenamento territorial e desenvolvimento do geoturismo.

A utilização do índice de geodiversidade como ferramenta analítica contribui para uma compreensão integrada do território, subsidiando estratégias de gestão ambiental que considerem as especificidades do meio físico e promovam iniciativas compatíveis com os princípios do desenvolvimento sustentável. Recomenda-se a realização de estudos complementares que incorporem novos parâmetros abióticos à metodologia, a fim de aprimorar a análise e ampliar a robustez dos resultados.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Planejamento ambiental; Patrimônio Natural; Indicadores abióticos; Geoturismo.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos o suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio da chamada 016/2024 que visa fornecer apoio à participação coletiva em eventos de natureza técnico-científica. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de pós-graduação, fundamental para o desenvolvimento das atividades acadêmicas e científicas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Grande. Brasília: ANA, 2014. Escala 1:50.000.**

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p. 711–728, 2013.

BARTUŚ, T.; MASTEJ, W. Morphodiversity as a Tool in Geoconservation: A Case Study in a Mountain Area (Pieniny Mts, Poland). **Sustainability**, v. 15, n. 14, p. 11357, 2023.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J. Geodiversity Hotspots: Concept, Method and Cartographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. **Environmental Management**, v. 63, n. 6, p. 822–834, 2019.

CRISP, J. R. A. et al. Geodiversity inclusiveness in biodiversity assessment. **Progress in Physical Geography**, v. 47, n. 3, p. 414–437, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geomorfologia 1:250.000**. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno de Furnas, Relatório Parcial 3: Plano de metas e programas**. 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Portal dos Comitês**. 2021. Disponível em <https://comites.igam.mg.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

KNUDSON, C.; KAY, K.; FISHER, S. Appraising geodiversity and cultural diversity approaches to building resilience through conservation. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 678–685, 2018.

KUBALÍKOVÁ, L. et al. Geodiversity Action Plans as a Tool for Developing Sustainable Tourism and Environmental Education. **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 6043, 2022.



LUZ, M. P. et al. Water Availability Assessment from Power Generation Reservoirs in the Rio Grande Operated by Furnas, Brazil. **Energies**, v. 15, n. 23, p. 8950, 2022.

MEIRA, S. A.; SILVA, E. V. Índice de geodiversidade do parque nacional de Ubajara, Ceará, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, p. 35–40, 2021.

NIETO, L. M. Geodiversity as a Tool for the Nature Conservation. In: VIEIRA, A.; OYGUCUC, R. A. (Eds). **Current Perspectives on Applied Geomorphology**. IntechOpen, 2023.

PEREIRA, D. I. et al. Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**, v. 52, n. 3, p. 541–552, 2013.

PINHEIRO, R. O; GENTILINI, S.; GIARDINO, M. A Framework for Geoconservation in Mining Landscapes: Opportunities for Geopark and GEOfood Approaches in Minas Gerais, Brazil. **Resources**, v. 12, n. 2, p. 2023.

RIBEIRO JUNIOR, L. U.; ZUFFO, A. C.; SILVA, B. C. Development of a tool for hydroelectric reservoir operation with multiple uses considering effects of climate changes. Case study of Furnas HPP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 300–313, 2016.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Short communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surface Dynamics**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 2014.

SILVA, M. A. et al. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. Brasília: CPRM, 2020. Escala 1:1.000.000.

STANLEY, K. B.; RESLER, L. M.; CARSTENSEN, L. W. A Public Participation GIS for Geodiversity and Geosystem Services Mapping in a Mountain Environment: A Case from Grayson County, Virginia, U.S.A. **Land**, v. 12, n. 4, p. 835, 2023.

TUKIAINEN, H. et al. Combining geodiversity with climate and topography to account for threatened species richness. **Conservation Biology**, v. 31, n. 2, p. 364–375, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV) et al. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Escala 1:650.000.

VAN MESDAG, S. N. K. **Can anthropogenic biodiversity and geodiversity associated with legacy industrial waste help offset decreasing global biodiversity?** PhD. University of Glasgow, 2024.

YU, Y.; YANG, J. The Role and Practice of Geodiversity in Serving Ecosystems in China. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 4547, 2022.