



ANAIS do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Brasília-DF, 20-23 de Abril de 2022



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE) disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

FERNANDES, F. H. S.; PIMENTA, M.; ALMEIDA, R. S.; AMBONI, P. M.; RAÍCES, D. S. L.. Exposição aos impactos da fragmentação e perda de habitat provenientes do setor minerário nas áreas de ocorrências de cavernas do Brasil In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022. Brasília. *Anais...* Campinas: SBE, 2022. p.593-600. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_593-600.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

EXPOSIÇÃO AOS IMPACTOS DA FRAGMENTAÇÃO E PERDA DE HABITAT PROVENIENTES DO SETOR MINERÁRIO NAS ÁREAS DE OCORRÊNCIAS DE CAVERNAS DO BRASIL

*EXPOSURE TO THE IMPACTS OF FRAGMENTATION AND LOSS OF HABITAT FROM THE MINING
SECTOR IN THE AREAS OF CAVES IN BRAZIL*

Fernando Hiago Souza FERNANDES (1); Mayra PIMENTA (1); Renata Silva ALMEIDA (1); Mayra Pereira de Melo AMBONI (1); Daniel Santana Lorenzo RAÍCES (1)

(1) ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Contatos: coesp@icmbio.gov.br

Resumo

O setor mineral movimentava a economia brasileira, privilegiado por uma elevada variedade de elementos e processos geológicos, alcançando em 2020 2,5% do PIB nacional. Tão importante quanto o valor econômico associado ao beneficiamento na extração de minérios é a estimativa dos impactos ambientais cumulativos oriundos da atividade. Em geral estes impactos são estimados localmente, com poucos esforços para avaliar os efeitos em escala regional e de forma cumulativa. Aqui, estimamos a fragmentação da paisagem e a perda de habitat do setor mineral do Brasil e avaliamos a influência desses impactos sobre as províncias espeleológicas brasileiras. Nossos resultados apontaram que 1/5 das regiões de ocorrências de cavernas pertencem ao grupo de extrema exposição aos impactos, com maiores proporções para perda de habitat (20%) e concentram-se nas regiões de Rochas Siliciclásticas; Carbonáticas; Ferruginosas e Granitóides. A exposição aos impactos da fragmentação e perda de habitat para os diferentes tipos de rochas de ocorrências de cavernas apresentaram diferenças significativas em ambas as métricas por meio do teste de kruskal wallis. A diferença entre os grupos foi verificada por meio do Intervalo de confiança (0.95%), no qual, foi possível observar que as áreas com tipos de rochas de ocorrências de cavernas do tipo Rochas Granitóides e Rochas Siliciclásticas; Rochas Ferruginosas e Rochas Carbonáticas apresentam um padrão distinto das demais regiões para os resultados de perda de habitat.

Palavras-Chave: impacto da mineração, métricas de paisagem, vulnerabilidade ambiental, áreas cársticas

Abstract

The mineral sector drives the Brazilian economy, favored by a wide variety of geological elements and processes, reaching in 2020 2.5% of the national GDP. The estimate of the cumulative environmental impacts arising from the activity is as much important as the economic value associated with ores extraction. These impacts are generally estimated locally, with little effort to assess the effects on a regional cumulatively scale. Here, we estimate landscape fragmentation and habitat loss in Brazil's mineral sector and assess impacts on Brazilian speleological provinces. Our results showed that 1/5 or more of the regions with occurrences of caves belongs to the group of extreme exposure to impacts. Habitat loss was the most critical (20%) and these areas were concentrated in the Siliciclastic Rocks; carbonatics; Ferruginous and Granitoid regions. Exposure to the impacts of fragmentation and habitat loss for different rock types from cave occurrences showed relevant differences in both metrics using the kruskal wallis test. The difference between the groups was verified using the Confidence Interval (0.95%). For habitat loss, we observed that the areas with rock types of caves such as Granitoid and Siliciclastic Rocks; Ferruginous Rocks and Carbonate Rocks present a different pattern from the other regions.

Keywords: mining impact, landscape metrics, environmental vulnerability, karst areas

1. INTRODUÇÃO

O setor mineral configura-se como uma das principais forças motrizes da economia brasileira, privilegiado por uma elevada variedade de

elementos e processos geológicos em um território de dimensão continental, alcançando em 2020 2,5% do PIB nacional, o que corresponde a um faturamento na casa dos R\$ 209 bilhões (GOV, 2021). Tão importante quanto o valor econômico

associado ao beneficiamento da extração de minérios é a identificação e estimativa dos impactos ambientais cumulativos oriundos desse setor (POTAPOV et al. 2017; SONTER et al. 2017; SIQUEIRA-GAY et al. 2020), uma vez que há uma necessidade global indiscutível de conservação da biodiversidade (GARSCHAGEN, et al. 2021) e do estabelecimento de medidas eficazes para mitigar os impactos inerentes da atividade.

Resultados divulgados recentemente com o auxílio de imagens de satélite e inteligência artificial pela organização MapBiomas, aponta um aumento repentino da extração mineral (open-pit mine) no Brasil, na ordem de 550% entre os anos de 1985 e 2020 (MAPBIOMAS, 2021). Grande parte do aumento das áreas de mineração industrial verificadas no país, se concentram sobrepostas às áreas de regiões com ocorrência de cavernas. Essas áreas são ambientes singulares distintas de elementos físicos e bióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, representadas pelas cavidades naturais subterrâneas que compõem o patrimônio espeleológico nacional (ICMBIO, 2019a) e caracterizadas em sua maioria por rochas mais solúveis, como o calcário, mármore e dolomito (WILLIAMS, 2008) No Brasil, as áreas de ocorrências de caverna compreendem cerca de 1.838.711 km², classificadas em 15 regiões, distribuídas principalmente na região mais oriental do país (CECAV, 2018).

Ambientes com presença de cavernas apresentam elevada sensibilidade e biodiversidade, a exemplo das espécies troglóbias, cuja distribuição restringe-se exclusivamente ao meio subterrâneo (GUNNTHORS DOTIR, 2001). Áreas de ocorrência de cavernas proporcionam serviços ecossistêmicos associados elementares para a sociedade (STEVANOVIĆ, 2018), como os de suporte à biodiversidade e culturais: as cavidades naturais rochosas são ambientes utilizados durante a prática de manifestações culturais e ritos religiosos, têm uso turístico, além de serem fonte de mananciais para suprir o abastecimento de populações (TRAVASSOS, 2010). Destarte, compreender e gerenciar as alterações provenientes do beneficiamento do setor mineral é uma preocupação global (SONTER et al. 2017), que é particularmente de ocorrência típica nas regiões de ocorrências de cavernas do Brasil, em sua maioria constituídas de áreas cársticas. Ademais, a pressão política por afrouxamento das regras ambientais vigentes para aumento de áreas passíveis de exploração mineral tende a aumentar a pressão sobre ambientes preservados (CÂMERA DOS DEPUTADOS, 2021).

Estima-se que no Brasil 132 espécies são ameaçadas de extinção pela atividade minerária (Portarias MMA 444 e 445 de 2014), especialmente peixes e invertebrados. Grande parte dos impactos negativos relacionados ao setor minerário são associados à perda e fragmentação da paisagem, não sendo limitados aos polígonos fixados durante o processo de licenciamento ambiental. Resultados apresentados por Sonter et al. 2017, apontaram que a mineração aumentou significativamente a perda da floresta amazônica em até 70 km além dos limites do arrendamento de mineração, causando 11.670 km² de desmatamento entre 2005 e 2015. No entanto, a maioria dos trabalhos publicados estimam os impactos por bioma ou de forma pontual. Os esforços para uma análise dos impactos da mineração sobre a biodiversidade e o patrimônio espeleológico brasileiro em escala nacional vem sendo desenvolvido no âmbito do Plano de Redução de Impactos da mineração sobre a biodiversidade e o patrimônio espeleológico- PRIM Mineração. O PRIM Mineração visa subsidiar o processo do licenciamento ambiental, propondo alternativas locais ao indicar áreas mais ou menos compatíveis ambientalmente para o setor mineral, com publicação prevista para o ano de 2022.

Neste trabalho apresentamos uma estimativa da exposição aos impactos da fragmentação da paisagem e a perda de habitat de 22 tipos minerários decorrentes das atividades de mineração existentes na paisagem, considerando todo o território nacional. Avaliamos de forma específica a influência desses impactos sobre as províncias espeleológicas brasileiras para apontar a vulnerabilidade destas áreas a estes impactos.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de abrangência avaliada nesse estudo perfaz às áreas com ocorrências de cavernas, o que compreende uma área de 1.838.711 km² e corresponde a 21,6% do território brasileiro. Essa região foi classificada em 15 diferentes grupos no território nacional (CECAV, 2018), entretanto, optou-se por utilizar nessa pesquisa apenas dez das 15 classes. A exclusão das demais categorias se deram pelo fato de não possuir uma classificação do grupo de rocha associado ou por apresentar uma sobreposição de apenas duas unidades de planejamento (UP), o que inviabiliza a adoção de análises estatísticas.

Toda a área de abrangência do PRIM Mineração foi subdividida em Unidades de Planejamento, que sintetizam integrações mínimas manejáveis de análise que delimitam uma área

geográfica e nela resume toda a variação ambiental, antrópica e espacial da paisagem. Essas UP foram adotadas para estimativa dos impactos de perda de habitat e fragmentação da paisagem e confeccionadas com a seguinte lógica: otobacias “nível 6” (ANA, 2018) foram sobrepostas aos polígonos de 22 tipos minerais (ANEXO 1) de cinco diferentes fases presentes nas informações divulgadas pela ANM e consideradas como autorizadas nesse estudo: Concessão de lavra; Licenciamento; Lavra garimpeira; Registro de extração e Autorização de pesquisa (ANM, 2021). A definição dos tipos minerais e as diferentes fases consideradas como autorizadas foi realizada de forma conjunta pelo grupo de pesquisadores e colaboradores durante a oficina, considerando os impactos no habitat presentes em cada uma destas fases. O resultado da sobreposição (otto + mineração autorizada) foi novamente sobreposta às unidades de conservação (UC) de âmbito federal (ICMBio, 2020), estadual e municipal (MMA, 2020) de forma a considerar seus limites como uma UP específica. As UC foram priorizadas na análise como UP partindo do pressuposto que UC apresentem restrições para o desenvolvimento de vetores de ameaça à biodiversidade, proporcionando a manutenção das espécies.

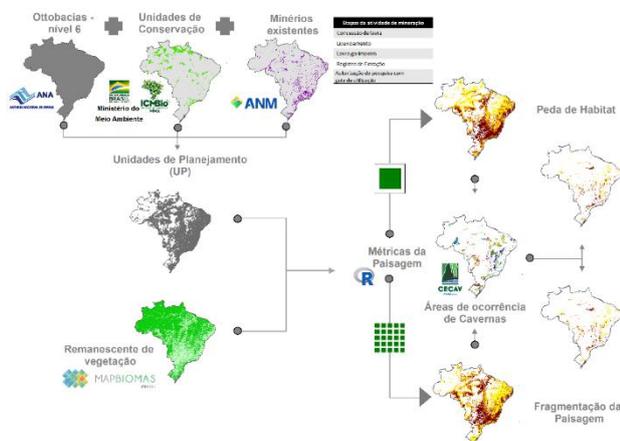


Figura 1: Fluxograma metodológico simplificado sobre os principais passos utilizados para estimativa dos impactos de Perda e Fragmentação da paisagem oriundos do setor mineral nas regiões de ocorrências de caverna no Brasil.

2.2 Métricas da paisagem- Perda e Fragmentação da paisagem

A estimativa da fragmentação do habitat, que sintetiza a quebra da conectividade estrutural e funcional de habitats naturais, foi mensurada utilizando dados de remanescente de vegetação nativa do ano de 2020 (MapBiomias, 2021) da qual foram descontadas as áreas sobrepostas aos

polígonos minerais existentes da ANM para os 22 tipos minerais pré-estabelecidos nesse estudo. A métrica utilizada para análise da paisagem foi “tamanho efetivo da malha” (“effective mesh size”), no qual é avaliada a probabilidade de que dois pontos aleatórios se encontrem em um mesmo fragmento florestal de remanescente. Essa métrica foi estimada para cada unidade de planejamento com o uso do pacote SDMTools do programa estatístico R.

Os valores estimados para a fragmentação da paisagem foram então divididos em quartis por áreas para posterior classificação da intensidade do risco de fragmentação de habitat, em um gradiente de impacto que varia de baixo à extremo impacto, assim, quanto mais fragmentada a paisagem menor será a probabilidade de manutenção das espécies e maior o valor do índice.

A perda de habitat foi mensurada com base na proporção de área desmatada por UP. Assim como na estimativa da fragmentação da paisagem, os dados de remanescentes sobrepostos aos polígonos minerais existentes foram excluídos por apresentar influência direta advinda da extração e transporte dos minerais. Os valores estimados por UP foram divididos em quartis por área para posterior classificação da intensidade do risco de perda de habitat.

2.3 Análise da exposição aos impactos de perda e fragmentação de habitats decorrentes das atividades de mineração nas áreas com potencial ocorrência de cavernas

As estimativas de fragmentação e a perda habitat decorrentes da mineração foram sobrepostas às áreas de ocorrências de cavernas no Brasil (Referencia), para avaliação da vulnerabilidade destas áreas. Para verificar a existência da diferença significativa entre os grupos, os resultados da sobreposição foram submetidos à análise de homogeneidade por meio do teste de shapiro wilk, e, por demonstrarem heterogeneidade, foram submetidos ao teste de Kruskal-wallis (BRESLOW, 1970). A não sobreposição dos intervalos de confiança indica diferença entre os grupos.

3. RESULTADOS

A disposição dos impactos ambientais sobre as diferentes regiões com ocorrência de cavernas no Brasil, estimados a partir das métricas de paisagem ‘perda de habitat e fragmentação da paisagem’ com base em dados de remanescentes de vegetação são apresentados na Figura 2. Por meio dos nossos resultados é possível verificar que 20% das áreas de ocorrências de cavernas no Brasil, pertencem ao

grupo de maior exposição aos impactos. Os valores mais intensos para ambas as métricas se concentram na região mais central do Brasil e sudeste do estado do Pará, com destaque para as áreas com rochas do tipo Siliciclásticas e Carbonáticas. Ao analisarmos os resultados em dois grandes de exposição (Extremo + Alto) verificamos que as rochas Siliciclásticas; Carbonáticas e, Ferruginosas encontram-se entre os três tipos de áreas de ocorrência de cavernas com maior exposição a fragmentação de habitat. Situação semelhante foi observada para a Perda de habitat, com substituição do grupo de rochas Ferruginosas por rochas Granitóides. De modo oposto, Rochas Granitóides e Rochas Siliciclásticas; Rochas Ferruginosas e Rochas Carbonáticas apresentam áreas mais íntegras quanto as atividades da mineração em ambos os impactos.

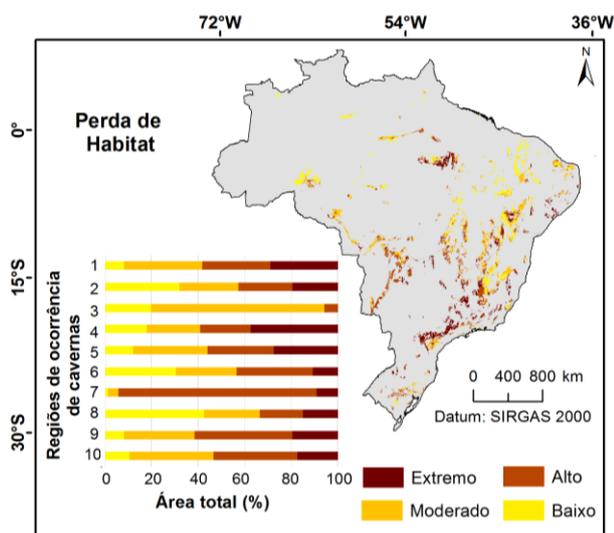


Figura 2. Distribuição espacial e percentual dos impactos de perda de habitat e fragmentação paisagem oriundos do setor mineral sobre as áreas de ocorrências de cavernas no Brasil. **1.** Rochas Carbonáticas, **2.** Rochas Carbonáticas e Siliciclásticas, **3.** Rochas Ferruginosas, **4.** Rochas Ferruginosas e Carbonáticas, **5.** Rochas Ferruginosas e Siliciclásticas, **6.** Rochas Granitóides, **7.** Rochas Granitóides e Carbonáticas, **8.** Rochas Granitóides e Rochas Siliciclásticas, **9.** Rochas Siliciclásticas, e **10.** Rochas Vulcânicas.

Os impactos de fragmentação da paisagem e perda de habitat apresentam diferenças significativas nas áreas de ocorrência de cavernas ao aplicarmos o teste de Kruskal-wallis, com valores de KW-H (9;8794) = 333,46 $p < 0,001$ para fragmentação e (KW-H (9;8794) = 324,34 $p < 0,001$ referente a perda de habitat. A perda de habitat foi maior para as áreas de rochas Rochas Ferruginosas e Carbonáticas, (4) e Rochas Granitóides e Carbonática (7). Para a

métrica fragmentação da paisagem (Figura 4) foi observado uma diferença para as áreas de rocha Rochas Granitóides e Rochas Siliciclásticas, (8) e Rochas Vulcânicas (10) que apresentam menores valores de fragmentação do habitat em relação aos demais tipos.

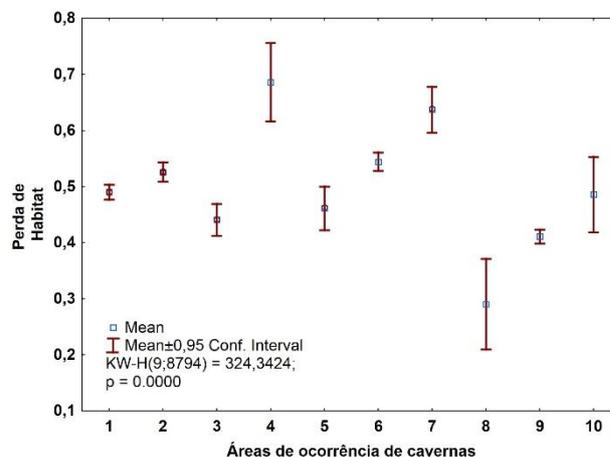


Figura 3. Gráfico boxplot da variável independente (Perda de habitat) versus os tipos de áreas de ocorrências de cavernas autorizadas no Brasil. **1.** Rochas Carbonáticas, **2.** Rochas Carbonáticas e Siliciclásticas, **3.** Rochas Ferruginosas, **4.** Rochas Ferruginosas e Carbonáticas, **5.** Rochas Ferruginosas e Siliciclásticas, **6.** Rochas Granitóides, **7.** Rochas Granitóides e Carbonáticas, **8.** Rochas Granitóides e Rochas Siliciclásticas, **9.** Rochas Siliciclásticas, e **10.** Rochas Vulcânicas.

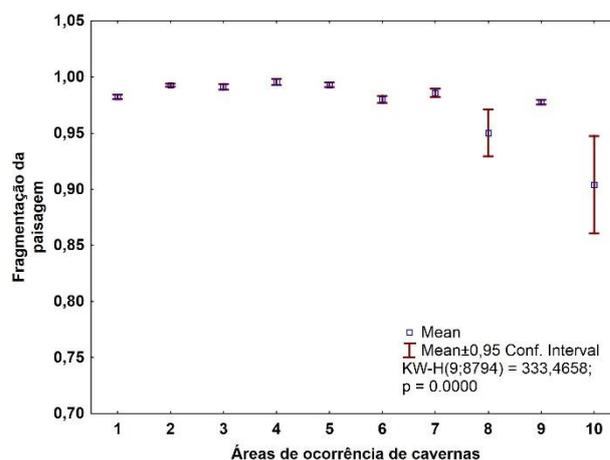


Figura 4. Gráfico boxplot da variável independente (Fragmentação da Paisagem) versus os tipos de áreas de ocorrências de cavernas autorizadas no Brasil. **1.** Rochas Carbonáticas, **2.** Rochas Carbonáticas e Siliciclásticas, **3.** Rochas Ferruginosas, **4.** Rochas Ferruginosas e Carbonáticas, **5.** Rochas Ferruginosas e Siliciclásticas, **6.** Rochas Granitóides, **7.** Rochas Granitóides e Carbonáticas, **8.** Rochas Granitóides e

Rochas Siliciclásticas, 9. Rochas Siliciclásticas, e 10. Rochas Vulcânicas.

4. DISCUSSÃO

Áreas influenciadas pela exploração mineral ocorre em cinco dos seis continentes do mundo (Sonter et al. 2020), em diferentes níveis de intensidade, escala e tempo. Regiões com ocorrência de cavernas apresentam elevada susceptibilidade aos impactos da mineração, por apresentarem diferenças litológicas de valor econômico Toomey (2009) e elevada biodiversidade (GUNNTHORS DOTIR, 200; JAFFÉ et al. 2019).

A dimensão e a direção do desmatamento induzido pelo setor mineral podem variar entre as regiões Sonter et al. (2014). A conversão da vegetação nativa apresenta riscos significativos para o ambiente, no entanto, raramente a produção mineral é considerada um fator significativo de desmatamento extensivo (Sonter et al. 2017). Resultados apresentados por Siqueira-Gay et al. 2020, na região Amazônica brasileira, mostraram que os impactos da mineração não são pontuais, e se estendem além dos polígonos minerários. Aqui, nossos resultados evidenciaram que 19% da área total dos 10 diferentes grupos de áreas com ocorrência de cavernas no Brasil, foram incluídos na categoria “Extremo” afetados pela fragmentação da paisagem e aproximadamente 20% pela perda de habitat, com maiores intensidade na região central do país. Esses resultados podem ser explicados pelo principal modo de extração adotado no Brasil (open-pit mine), considerado de grande impacto sobre o meio ambiente (Monjezi et al. 2019), o que resulta em efeitos diretos e indiretos na função e produtividade do ecossistema (BUTT et al. 2013; PÉREZ-ESCOBAR, 2018).

Diferenças significativas foram observadas para os impactos da fragmentação e perda de habitat entre os diferentes grupos, o que demonstra ambientes mais susceptíveis aos impactos oriundos do setor mineral. Rochas Granitóides e Rochas Siliciclásticas; Rochas Ferruginosas e Rochas Carbonáticas por exemplo, são formadas por

ambientes mais restritos, o que demonstra importância da preservação dessas áreas.

Nossos resultados revelam implicações importantes para a conservação das áreas de ocorrências de cavernas no Brasil, afetadas pelo setor mineral. Estimativas publicadas pelo governo federal apontam um aumento das áreas de mineração para o próximo anos (MME, 2011), o que tende a aumentar a pressão sobre o patrimônio espeleológico brasileiro.

5. CONCLUSÕES

No geral, nossas descobertas têm implicações importantes para a conservação da biodiversidade em áreas de ocorrências de cavernas no Brasil. Áreas de ocorrência de cavernas compostas por Rochas Siliciclásticas; Carbonáticas e, Ferruginosas estão mais expostas aos impactos da fragmentação da paisagem. Situação semelhante foi observada para a estimativa da Perda de habitat, com alteração das rochas Ferruginosas por rochas Granitóides. Esses resultados sugerem que o estabelecimento de medidas mitigadoras para a redução dos impactos da mineração da fragmentação e perda de habitat nesses quatro tipos de áreas de ocorrências de cavernas oriundos dos 22 tipos minerários analisados nesse estudo demandam de maior atenção frente ao monitoramento e exploração de novos empreendimentos nessas áreas.

6. AGRADECIMENTOS

FHSF e RSA agradece ao ICMBio e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto, sob os números de processo (350352 / 2019-4, 350195 / 2019-6) respectivamente. MP agradece ao ICMBio, à GERDAU (TCCE ICMBio, Contrato 007-2019) e à FUNDEP pelo apoio financeiro. Ao pesquisador Guth Berger Falcon Rodrigues, pela disponibilização dos scripts das métricas e suporte nas análises estatísticas.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico Base Hidrográfica. **Ottocodificada 1:250.000 (BHO250): Bacias Hidrográficas agregadas por nível de codificação de bacias de Pfafstetter (1 a 6) (gpkg)**. ANA, jul. 2018. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0f57c8a0-6a0f-4283-8ce3-114ba904b9fe>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

ANM, Agência Nacional de Mineração. **SIGMINE**

Sistema de Informações Geográficas da Mineração: Processos minerários ativos. ANM, 2021.

Disponível em:

<<https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>>.

Acesso em: 20 nov. 2021.

BRESLOW, N. A generalized kruskal-Wallis test for comparing K samples subject to unequal patterns of censorship. **Biometrika**, v. 57, n. 3, p. 579-594, 1970.

BUTT, N.; BEYER, H. L.; BENNETT, J. R. Biodiversity Risks from Fossil Fuel Extraction. **Science**, v. 342, n 6157, p. 425-426, out, 2013.

DOI: 10.1126/science.1237261

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Câmara aprova novas regras para o licenciamento ambiental: Projeto de Lei 3729/04. CÂMARA DOS DEPUTADOS, maio. 2021. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/758863-camara-aprova-novas-regras-para-o-licenciamento-ambiental/>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

CECAV. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas/ICMBio: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Áreas de Ocorrência de Cavernas do Brasil.** Brasília. CECAV, abr. 2018. Disponível em:

<<https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

FERNANDES, G. W.; GOULART, F. F.; RANIERI, B. D. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 35-45, dez. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.10.003>

GARSCHAGEN, M.; DOSHI, D.; REITH, J. et al. Global patterns of disaster and climate risk-an analysis of the consistency of leading index-based assessments and their results. **Climatic Change**, v. 169, p. 1-19, nov, 2021.

GOV, GOVERNO DO BRASIL, **Mineração: Desempenho do setor mineral em 2020 supera expectativas.** Brasília: GOV, 2021. Disponível em:

<<https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/02/desempenho-do-setor-mineral-em-2020-supera-expectativas>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

GUNNTHORS DOTTIR, A. Physical Attractiveness of an Animal Species as a Decision Factor for its Preservation, **Anthrozoös**, v. 14, p. 204-215, abr. 2001.
<http://dx.doi.org/10.2752/089279301786999355>

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (A). **Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica** / Luiz Eduardo Panisset Travassos – Brasília: ICMBio, 2019.242 p. ISBN 978-65-5024-003-5

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (B). **Mapa Temático e Dados Geostatísticos das Unidades de Conservação Federais: Limites das Unidades de Conservação Federais.** ICMBIO. nov. 2020. Disponível em:

<<https://www.gov.br/icmbio>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

JAFFÉ, R.; PROUS, X.; ZAMPAULO, R.; GIANNINI, T. CIMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; MAURITY, C.; OLIVEIRA, BRANDI, I. V.; SIQUEIRA, J. O. Reconciling Mining with the Conservation of Cave Biodiversity: A Quantitative Baseline to Help Establish Conservation Priorities. **PLoS One**, v. 11, n. 12, p. 1-16, 2016. doi:10.1371/journal.pone.0168348

MAPBIOMAS, **Projeto MapBiomass, coleção 6. da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil.** MAPBIOMAS, 2021. Disponível em:

< <https://mapbiomas.org/area-ocupada-pela-mineracao-no-brasil-cresce-mais-de-6-vezes-entre-1985-e-2020>>. Acesso em: 03 dez. 2021.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna ameaçadas de Extinção**. Portaria MMA Nº 444, p. 121-144, dez. 2014.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna ameaçadas de Extinção Extinção (Peixes e Invertebrados Aquáticos)**. Portaria MMA Nº 445, p. 126, dez. 2014.

MMA, Ministério do Meio Ambiente.: **Download de dados geográficos: i3Geo – Áreas especiais: Unidades de Conservação**. MMA, 2020. Disponível em:
<<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

MONJEZI, M.; SHAHRIAR, K.; DEHGHANI, H. et al. Environmental impact assessment of open pit mining in Iran. **Environmental Geology**, v. 58, p. 205–216, ago. 2009.
<https://doi.org/10.1007/s00254-008-1509-4>

WILLIAMS, P. **World Heritage Caves and Karst. Gland: A global review of karst World Heritage properties: present situation, future prospects and management requirements**, Switzerland: IUCN. p. 1-57, 2008. Disponível em:
< <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2008-037.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

POTAPOV, P.; HANSEN, M. C.; LAESTADIUS, L. et al. The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013. **Science Advances**, v. 3, p. 1-13, jan. 2017.
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1600821>

PÉREZ-ESCOBAR, O. A.; CÁMARA-LERET, R.; ANTONELLI, A. Mining threatens Colombian ecosystems. **Science**, v. 359, n 6383, p. 1475, mar, 2018. DOI: 10.1126/science.aat4849

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SIQUEIRA-GAY, J.; SONTER, L. J.; SÁNCHEZ, L. E. Exploring potential impacts of mining on forest loss and fragmentation within a biodiverse region of Brazil's northeastern Amazon. **Resources Policy**, v. 67, p. 1-10, ago, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101662>

SONTER, L. J.; MORAN, C. J.; BARRETT, D. J. SOARES-FILHO, B. S. Processes of land use change in mining regions. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 494-5011, dez. 2014.

SONTER, L. J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J. et al. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 8, p. 1-7, out, 2017.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-00557-w>

SONTER, L. J.; DADE, M. C.; WATSON, J. E. M et al. A Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. **Nature Communications**, v. 11, n. 4174, p. 1-6, jul. 2020.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17928-5>

STEVANOVIĆ, Z. Global distribution and use of water from karst aquifers. **Geological Society**, London, Special Publications, v. 466, p. 217-236, jan. 2018. <https://doi.org/10.1144/SP466.17>

TRAVASSOS, L.E.P. **A importância cultural do carste e das cavernas**. 2010. 372f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

TOOMEY, R. S. Geological monitoring of caves and associated landscapes. In: Young, R., and Norby, L., **Geological Monitoring: Boulder**, Colorado, Geological Society of America, 2009. p. (27–46).

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Clinical & Biomedical Research**, v. 32, n. 2, p. 227-234, 2012.

VERGILHO, C. S.; LACERDA, D.; OLIVEIRA, B. C. V. et al. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w>

ANEXO

Tabela 1. Tipos minerais existentes definidos na oficina do PRIM – Mineração/ICMBio.

Tipos minérios	
Metálicas	Não metálicas
Ferro	Calcário
Cobre	Areia
Ouro	Dolomito
Alumínio	Quartzito
Níquel	Granito
Manganês	Mármore
Estanho	Diamante
Nióbio	Sal
Zinco	Carvão
Chumbo	-
Cromo	-
Ilmenita	-
Vanádio	-