



# ANAIS do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia

## Curitiba - Paraná, 26 a 29 de julho de 2023



O artigo a seguir é parte integrante dos Anais do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia, disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br).

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

AMBONI, M. P. M.; PIMENTA, M.; FERNANDES, H. S.; ALMEIDA, R. S.; RODRIGUES, G. B. F.; RAÍCES, D. S. L.. Mapa de grupos para compensação ambiental: uma abordagem para reduzir a perda de biodiversidade associada às atividades de mineração. In: MISE, K. M.; GUIMARÃES, G. B.. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37, 2023. Curitiba. *Anais...* Campinas: SBE, 2023. p.158-163. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe\\_158-163.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe_158-163.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

## **MAPA DE GRUPOS PARA COMPENSAÇÃO AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM PARA REDUZIR A PERDA DE BIODIVERSIDADE ASSOCIADA ÀS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO**

*MAPPING GROUPS FOR ENVIRONMENTAL COMPENSATION - AN APPROACH FOR REDUCING BIODIVERSITY LOSS ASSOCIATED WITH MINING ACTIVITIES*

**Mayra Pereira de Melo AMBONI<sup>1</sup>; Mayra PIMENTA<sup>1</sup>; Fernando Hiago Souza FERNANDES<sup>1</sup>; Renata Silva ALMEIDA<sup>1</sup>; Guth Berger Falcon RODRIGUES<sup>1</sup>; Daniel Santana Lorenzo RAÍCES<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio

**Contatos:** [coesp@icmbio.gov.br](mailto:coesp@icmbio.gov.br).

### **Resumo**

O presente trabalho indica as áreas de maior similaridade da biodiversidade e da geodiversidade sensíveis aos impactos das atividades de mineração, como uma ferramenta auxiliar no processo de compensação ambiental de impactos não mitigáveis. Para elaboração do Mapa de Grupos para Compensação Ambiental foi avaliada a distribuição potencial de espécies da fauna, flora, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos sensíveis aos impactos crônicos provenientes da Mineração e realizada uma análise de similaridade na composição dos alvos de conservação presentes nas unidades de planejamento. O Mapa indica oito grupos com no mínimo 25% e trinta com no mínimo 50% de similaridade na composição dos alvos. Espera-se que a utilização destas informações contribua para o direcionamento de recursos financeiros e ações de compensação ambiental para proteção e recuperação de áreas com composição mais similares, aumentando a efetividade de medidas compensatórias.

**Palavras-Chave:** Compensação ambiental; Biodiversidade; Análise de similaridade; Dendrograma de Sensibilidade.

### **Abstract**

*This work indicates areas of greatest similarity in terms of biodiversity and geodiversity that are sensitive to the impacts of mining activities. It can be used as an auxiliary tool in the process of environmental compensation for non-mitigated impacts. The mapping is based on agglomerative hierarchical group analyses. First, we mapped the potential distribution of species of fauna, flora, unique environments and environmental services sensitive to mining activities. Then we run similarity analysis between conservations targets present in different planning units. We indicate eight groups with at least 25% similarity and thirty groups with 50% similarity in conservation target composition. It is expected that the use of this information will contribute to directing financial resources and environmental compensation actions for the protection and recovery of areas with more similar biodiversity composition, increasing the effectiveness of compensatory measures.*

**Keywords:** Environmental compensation; Biodiversity; Similarity analysis; Sensitivity Dendrogram.

## **1. INTRODUÇÃO**

A compensação ambiental é um mecanismo que visa indenizar os impactos residuais (irreversíveis e irreparáveis) ocorridos ou previstos durante o processo de licenciamento ambiental, sendo um importante instrumento para o fortalecimento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). A compensação ambiental foi instituída como instrumento de gestão ambiental no artigo 36 da Lei 9.985/2000, sendo aplicada aos empreendimentos com significativo impacto ambiental. Nestes casos o empreendedor é obrigado a apoiar a implementação ou a manutenção de unidades de conservação do gru-

po de Proteção Integral, ou de Uso Sustentável caso essa seja diretamente afetada (BRASIL, 2000). Os critérios de destinação dos recursos para empreendimentos pontuais terrestres, como a mineração, são indicados pelo Comitê de Compensação Ambiental Federal (CCAF), entidade responsável pela destinação dos recursos advindos da compensação ambiental e variam de acordo com o volume de recursos (Ata da 9ª Reunião Ordinária do CCAF, realizada em 22/09/2012). Os critérios incluem desde a escolha de unidades de conservação localizadas no entorno do empreendimento (raio de 200 km), que tenham ao menos uma fitofisionomia atingida pelo empreendi-

mento, no mesmo bioma e estejam presentes na mesma região hidrográfica afetada pelo empreendimento.

Em um esforço para propor estratégias para redução de impactos sobre as cavidades naturais e a biodiversidade associada, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), desenvolveu uma importante ferramenta (ICMBio, 2018a) que visa à conservação da biodiversidade e do patrimônio espeleológico: o *Plano de Redução de Impactos da Mineração sobre a Biodiversidade e o Patrimônio Espeleológico - PRIM Mineração* (ICMBio, in prep.). O PRIM Mineração consiste na proposição e estabelecimento de ações que visam evitar, mitigar e compensar impactos residuais da atividade de exploração mineral e indica cenários de maior e menor compatibilidade entre empreendimentos e a conservação da biodiversidade, buscando a não extinção de espécies, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos.

Uma das etapas de elaboração do PRIM Mineração é avaliar a sensibilidade da biodiversidade e da geodiversidade frente às ameaças advindas das atividades mineradoras. O elevado número de espécies da fauna e flora brasileira em risco de extinção e de vulnerabilidades às quais está sujeito o patrimônio espeleológico brasileiro (ICMBIO, 2018b, 2022) ressaltam a importância e a legitimidade para o estabelecimento de ações para a proteção, conservação e recuperação da biodiversidade e geodiversidade. Evidências apontam a mineração como vetor de ameaça de 179 espécies da fauna (ICMBio, 2022), especialmente peixes e invertebrados, assim como da flora (JACOBI; DE CAMPOS, 2011). Em relação às cavidades naturais subterrâneas, as atividades minerárias destacam-se como importante vetor de degradação, uma vez que a grande maioria das rochas carstificáveis são potencialmente prestadoras de serviços ecossistêmicos.

Um dos produtos do PRIM são os Mapas de Grupos de Compensação Ambiental. O princípio subjacente à construção desses mapas é que estes auxiliem de forma complementar as regras já existentes do CCAF, ao indicar para cada empreendimento minerador as melhores alternativas espaciais para compensação ambiental (ICMBio, 2018a), considerando os alvos de conservação identificados como sensíveis potencialmente presentes na área impactada. A solução espacial permite o direcionamento dos esforços de redução de impactos para áreas que apresentem a maior similaridade na composição dos alvos de conservação, permitindo uma maior efetividade das medidas compensatórias.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva indicar áreas de maior similaridade da biodiversidade e da geodiversidade sensível, para auxiliar no processo de compensação ambiental e evitar perdas de espécies e do patrimônio espeleológico brasileiro.

## 2. METODOLOGIA

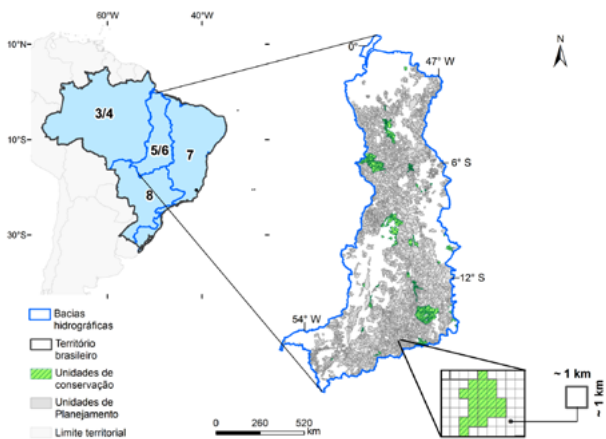
A área foi subdividida em Unidades de Planejamento (UPs), com resolução espacial de 1 km, para representar a variação da biodiversidade e da geodiversidade. As UPs são consideradas unidades mínimas para a tomada de decisões delimitadas por um mosaico de Ottobacias Pfafstetter de nível 6 e Unidades de Conservação. Para elaboração do Mapa de Grupos para Compensação Ambiental foram elencados os alvos de conservação sensíveis aos impactos crônicos provenientes das atividades de mineração. Todos os alvos foram então espacializados e calculada a proporção de sua distribuição nas UPs. Ao final, foram feitos grupos e agrupamentos de UPs conforme o nível de similaridade da biodiversidade e da geodiversidade.

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange todas as Bacias Hidrográficas Ottocodificadas (BHO-Ottobacias Pfafstetter nível 6) (ANA, 2012) e as UCs de todas as esferas públicas (exceto RPPN) do território brasileiro (ICMBIO, 2019; BRASIL, 2019), sobrepostas às áreas das poligonais dos processos minerários autorizados e planejados de 22 substâncias minerais (FERNANDES et al., 2022). Esta é a área de abrangência considerada como susceptível aos impactos crônicos da mineração. A área de estudo para as quais foram produzidos os Mapas de Compensação correspondem a toda área de abrangência do PRIM Mineração, agrupadas em bacias hidrográficas ottocodificadas (BHO), da seguinte forma: 3/4, 5/6, 7 e 8. Neste trabalho, será enfocada a BHO 5/6 para melhor exemplificar o processo de construção e o potencial dos mapas de Grupos para Compensação Ambiental (Figura 1).

### 2.2 Alvos de Conservação

Os alvos de conservação incluem quatro componentes da biodiversidade e do patrimônio espeleológico, diretamente afetados por atividades de mineração: fauna, flora, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos. A seleção dos alvos de conservação da fauna e da flora é o resultado de uma avaliação integrada de sensibilidade (PIMENTA et al., 2022a) na qual se refinam o número de espécies, retirando alvos tolerantes à mineração, isto é, de sensibilidade

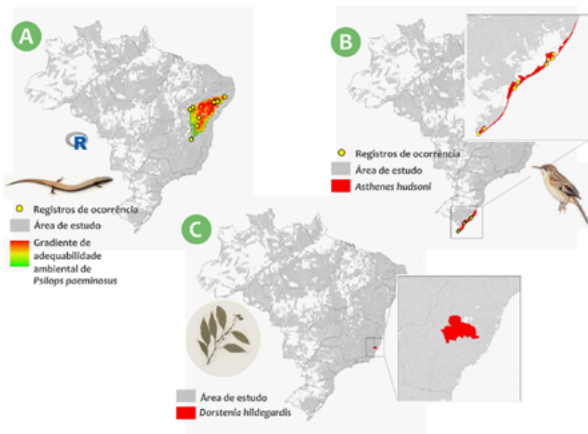


**Figura 1:** Abrangência e resolução utilizadas no PRIM Mineração

nula e que potencialmente enviesariam a priorização de esforços de conservação. A representação da distribuição espacial dos alvos de conservação foi realizada de forma distinta em função da disponibilidade de informações sobre a distribuição e dos registros de ocorrência.

Em relação à fauna, preferencialmente, a distribuição da espécie foi modelada a partir de registros levantados na base de dados do SALVE (ICMBIO, 2022), em parceria com o Laboratório METALAND/UFG (PIMENTA *et al.*, 2022b). Para as espécies que não atenderam aos critérios exigidos nos modelos de distribuição espacial foram utilizadas as ottobacias de ocorrências ou polígonos de especialistas e, para a flora, os buffers de precisão (ICMBIO, 2018b) (Figura 2).

A indicação da lista de espécies sensíveis da fauna e da flora aos impactos da mineração e a validação da representação espacial desta foi realizada pelos Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação CNPCs/ICMBio e pelo CNCFlora/JBR, respectivamente.



**Figura 2:** Exemplos dos métodos usados para representação espacial dos alvos de conservação da

fauna e flora: A) Modelo de distribuição potencial de *Psilops paeminous*, B) Ottobacias de ocorrência de *Asthenes hudsoni* (Polígono de Especialista - BHO), e, C) Polígono de Especialista por buffer de precisão de *Dorstenia hildergardis*.

O patrimônio espeleológico sensível foi incluído como parte dos componentes dos ambientes singulares, sendo indicados e espacializados pelo CECAV e colaboradores. Este componente da biodiversidade é composto por camadas que representaram as seguintes informações espaciais: áreas de ocorrência de cavernas, cavernas com dimensões notáveis, cavernas com endemismo extremo, cavernas com congregações excepcionais de morcegos (*bat caves* e *hot caves*), colônias excepcionais em tamanho, áreas úmidas, áreas importantes para reprodução de tartarugas marinhas, áreas de importância para conservação de mamíferos marinhos, a heterogeneidade de fitofisionomias e as fitofisionomias únicas (Figura 3).

Dentre os serviços ecossistêmicos estão relacionados às categorias de suporte, abastecimento e de valor cultural e espiritual, sendo estes espacialmente representados por camadas que identificam os sítios geológicos, sítios arqueológicos, as cavernas turísticas, a regulação hídrica sazonal e a produção não madeireira (manejo florestal).



**Figura 3:** Número de alvos de conservação elencados como sensíveis às atividades minerárias e considerados na elaboração do PRIM Mineração.

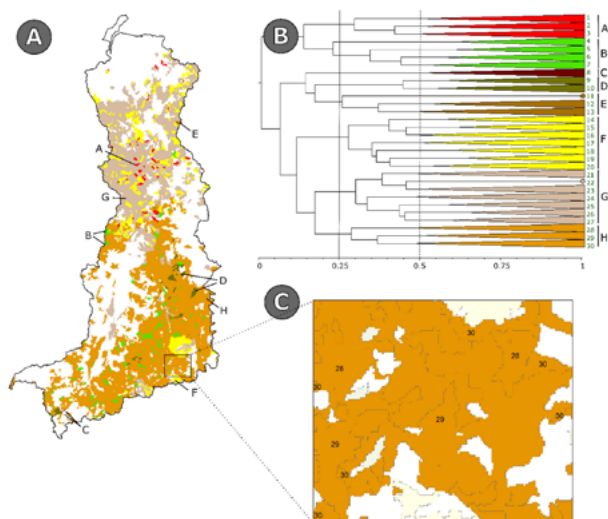


### 2.3 Mapa de Grupos para Compensação Ambiental e Dendrograma de Similaridade de Alvos de Conservação

A similaridade foi medida comparando a composição dos alvos de conservação entre as unidades de planejamento, calculando-se a proporção de alvos compartilhados entre duas unidades em relação ao total de alvos, por meio do índice de Bray-Curtis. A partir da matriz de similaridade construída com este índice, foi elaborado um agrupamento hierárquico aglomerativo, no qual utilizou-se como método de ligação a média aritmética da similaridade entre as unidades de planejamento (UPGMA), que pode ser representado por um dendrograma. Em seguida, as UPs que compartilham mais de 25% ou mais de 50% de similaridade de alvos de conservação foram espacialmente dissolvidas, formando, respectivamente, os Grupos (25%) e Agrupamentos (50%) para Compensação Ambiental.

### 3. RESULTADO E DISCUSSÕES

A análise de similaridade na composição de alvos de conservação sensíveis aos empreendimentos minerários da BHO 5/6 agrupou as 4.545 unidades de planejamento em 8 grupos para a Compensação Ambiental, com ao menos 25% de similaridade e 30 agrupamentos em que no mínimo 50% da similaridade é atingida. O dendrograma de similaridade mostrou-se robusto, com correlação cofenética igual a 0,78. A relação de similaridade na composição dos alvos de conservação entre os Grupos de Compensação Ambiental está representada pelo dendrograma da Figura 4B e apresentados no Mapa da Figura 4A.



**Figura 4:** A) Mapa de Grupos para Compensação Ambiental para a BHO 5/6. Cada grupo, representado por uma letra, possui Unidades de Planejamento com até 25% de similaridade na

composição dos alvos de conservação. B) Dendrograma com relação entre os agrupamentos de cada grupo. C) Representação dos Agrupamentos presentes dentro do grupo H (28, 29 e 30). As Unidades de Planejamento presentes em cada um desses agrupamentos possui até 50% de similaridade na composição dos alvos de conservação.

Uma particularidade dos alvos de conservação sensíveis às atividades de mineração é que há uma alta prevalência por espécies e ambientes singulares com distribuição restrita (65% dos alvos com menos de 5 mil km<sup>2</sup> representados na BHO 5/6), resultando em uma similaridade baixa entre as Unidades de Planejamento. Os grupos A, B, C, D e E reúnem menos quantidade de UPs (variando entre 2 e 171), inferindo que essas unidades possuem alvos de conservação sensíveis aos impactos crônicos provenientes da mineração e de baixa representatividade em outras áreas, sendo extremamente importantes para conservação.

O Grupo “H” é o maior deles, reúne 55% das UPs da BHO 5/6, ou seja, todas as UPs presentes dentro deste grupo compartilham no mínimo 25% na composição dos alvos de conservação. Dentro do grupo “H” é possível localizar agrupamentos (28, 29 e 30) onde a similaridade é de no mínimo 50% (Figura 4C).

As UCs de Proteção Integral (UC PI) estão nos grupos “F” e “G” e as UCs de Uso Sustentável nos grupos “A”, “F” e “G”. De acordo com critérios indicados pelo Comitê de Compensação Ambiental Federal (CCAF), os empreendimentos que tenham valores excepcionais a serem destinados nos processos de Compensação Ambiental, podem ser alocados em UCs presentes na mesma região hidrográfica atingida pelo empreendimento. Sendo assim, um empreendimento com volume excepcional de recursos destinado à compensação ambiental e que esteja localizado no Grupo “H” poderia ter seus recursos alocados em UCs de Proteção Integral dos grupos “F” ou “G”.

Conforme pode-se notar, há uma maior proximidade entre os grupos “G” e “H” no dendrograma (Figura 4C), ou seja, se um empreendimento que ocorra na área do grupo “H” alocar seus recursos em UC-PI presentes do grupo “G” teria uma maior representatividade dos alvos atingidos. Portanto, o Mapa de Grupos para Compensação Ambiental surge assim como uma estratégia complementar às regras da legislação ambiental vigente no Brasil, no intuito de aumentar a efetividade das medidas adotadas ao informar o nível de similaridade na composição dos alvos de conservação.

A BHO 5/6 está sobreposta aos biomas Cerrado e Amazônia. É possível verificar dois grandes grupos nos Mapas. O Grupo “G”, ocorrendo mais ao norte da BHO, e o grupo “H”, ocorrendo ao sul. É provável que essa divisão seja reflexo da similaridade na composição de alvos que ocorrem no bioma Cerrado “H”, e a similaridade na composição de alvos do bioma Amazônico “G”.

A consulta dos grupos e agrupamentos de compensação ambiental poderá ser realizada acessando os arquivos espaciais disponibilizados nos anexos disponíveis no Material Suplementar da publicação do PRIM Mineração (ICMBio, in prep).

#### 4. CONCLUSÕES

A biodiversidade e geodiversidade sensíveis aos impactos crônicos provenientes de atividades minerárias são muito peculiares, com distribuição restrita, o que levou a um número elevado de grupos e

agrupamentos para Compensação Ambiental. No entanto, os Mapas aqui apresentados, ao apontar regiões dentro da mesma Bacia Hidrográfica com alta similaridade (de 25% para UPs do mesmo Grupo ou até 50% para UPs do mesmo agrupamento), podem auxiliar no processo de alocação de recursos destinados à Compensação Ambiental, a fim de evitar perdas de espécies, ambientes singulares e preservar serviços ecossistêmicos que são geralmente ameaçados por esse tipo de atividade.

#### REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Bacias Hidrográficas Ottocodificadas (Níveis Otto 1-7). **Catálogo de Metadados da ANA**. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f> Acesso em: 05 abr. 2019.
- BRASIL. **Lei 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 19 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Download de dados geográficos - áreas espaciais: unidades de conservação estaduais e municipais**. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 05 abr. 2019.
- FERNANDES, F. H. S *et al.* Exposição aos impactos da fragmentação e perda de habitat provenientes do setor minerário nas áreas de ocorrências de cavernas do Brasil. In: 36 Congresso Brasileiro de Espeleologia. In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022, Brasília. **Anais**. Brasília: SBE, 2022. Disponível em: [http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe\\_553-559.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_553-559.pdf). Acesso em: 21 abr. 2023.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBio). PRIM - **Plano de redução de impactos à biodiversidade**. Brasília: ICMBio, 2018a. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5667-5>.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília: ICMBio, 2018b.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de redução de impacto de infraestruturas viárias terrestres sobre a biodiversidade (PRIM-IVT)**. Brasília: ICMBio, 2018c. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto/prim>. Acesso em: 19 abr. 2023.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Mapa temático e dados geoestatísticos das unidades de conservação federais: limites das unidades de conservação federais**. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE**, 2022.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de redução de impactos da mineração sobre a biodiversidade e o patrimônio espeleológico (PRIM Mineração)**. Brasília: ICMBio, (in. prep).
- JACOBI, C.M., DO CARMO F.F., DE CAMPOS, I.C. Soaring extinction threats to endemic plants in Brazi-

lian metal-rich regions. **Ambio**, v. 40, n. 5, p. 540-543, jul. 2011. doi: 10.1007/s13280-011-0151-7. PMID: 21848142; PMCID: PMC3357811. Acesso em: 19 abr. 2023.

PIMENTA, M. *et al.* Avaliação integrada da composição e sensibilidade dos componentes da biodiversidade aos impactos da mineração. *In*: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. 36, 2022, Brasília. **Anais**. Brasília: SBE, 2022a, Disponível em: [http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe\\_553-559.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_553-559.pdf). Acesso em: 21 abr. 2023.

PIMENTA, M. *et al.* One size does not fit all: priority areas for real world problems. **Ecological Modelling**, v. 470, p. 1, 2022b.