



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.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

SOUZA, M. F. V. R.; YOSHIKAWA, W. T.; RABELO, L. M.; MACIEL, L. M. D.; RODRIGUES, J. M. L.; SALES, S. L. EVANGELISTA, F. M.; SOUZA, I. C.; PIETROBON, R. B. P.; PEDERSOLI, G. H. P.; ROCHA, J. S.. Resgate de material espeleológico e mapeamento 3D em cavidades quartzíticas do Quadrilátero Ferrífero (MG). In: MISE, K. M.; GUIMARÃES, G. B.. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37, 2023. Curitiba. *Anais...* Campinas: SBE, 2023. p.200-212. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe_200-212.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

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

RESGATE DE MATERIAL ESPELEOLÓGICO E MAPEAMENTO 3D EM CAVIDADES QUARTZÍTICAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)

*SPELEOLOGICAL MATERIAL RESCUE AND 3D
MAPPING OF QUARTZITIC CAVES FROM IRON QUADRANGLE (MG)*

Maysa Fernanda Villela Rezende SOUZA¹; Wendy Tanikawa YOSHIKAWA¹; Lucas Mendes RABELO¹; Leandro Márcio Duarte MACIEL¹; Juliana Macaron Longo RODRIGUES¹; Sérgio Leandro SALES¹; Flávia Mara EVANGELISTA¹; Íthalo Caetano de SOUZA¹; Rafaela Bastos Pereira PIETROBON²; Gustavo Henrique Prado PEDERSOLI³; Jussara da Silva ROCHA³

¹ Ativo Ambiental LTDA (Rua Raul Mendes, 26, Santa Tereza, Belo Horizonte – MG)

² Consórcio Tractebel - MCA. (Rua Paraiba, 1122, 1122, Conj 1801, Funcionários, Belo Horizonte - MG)

³ Samarco Mineração S.A. (Complexo Germano, Zona Rural, Mariana – MG)

Contatos: maysa.souza@ativoambiental.com.br; wendytanikawa@gmail.com; lucasmrabelo@gmail.com; leandro@ativoambiental.com.br; juliana.macaron@ativoambiental.com.br; sergio.sales@ativoambiental.com.br; flavia@ativoambiental.com.br; ithalo.souza@ativoambiental.com.br; rafaela.pietrobon@samprojetos.com; gustavo.pedersoli@samarco.com; jussara.rocha@samprojetos.com.

Resumo

Esse estudo apresenta os resultados referentes ao resgate espeleológico de cinco cavidades cuja supressão foi legalmente autorizada em função das atividades inerentes às obras de descaracterização da barragem de Germano, da Samarco Mineração S.A., Mariana (MG). As atividades realizadas tiveram o objetivo de assegurar a coleta e disponibilização de dados do meio físico e biótico à comunidade científica, conforme legislação específica. Além disso, foi realizado escaneamento a laser utilizando Iphone 13 Pro com tecnologia do sensor LIDAR, gerando um mapa 3D de cada cavidade com alta qualidade de imagem, riqueza de detalhes e variedade de resultados derivados da nuvem de pontos. A coleta de invertebrados foi feita utilizando métodos complementares de amostragem, resultando em uma riqueza média de 40 espécies por caverna. Não foram registradas espécies troglóbias, raras, endêmicas ou constantes em listas de espécies ameaçadas. Os exemplares estão depositados em coleções científicas.

Palavras-Chave: Geoespeleologia; Bioespeleologia; Laser scanner 3D; Métodos Amostrais.

Abstract

This study presents the results obtained from the speleological material rescue of five caves with a legally authorized suppression, due to the activities related to the de-characterization of the Germano dam, Samarco Mineração S.A., Mariana (MG). The activities carried out aimed to ensure the collection of data related to the physical and biotic attributes and their availability to the scientific community, in accordance with specific legislation. In addition, laser scanning was performed using Iphone 13 Pro with LIDAR sensor technology, generating a 3D map of each cave with high image quality, richness of detail and a variety of results derived from the cloud of points. The invertebrates were collected through complementary sampling methods, resulting in an average richness of 40 species per cave. No troglobite, rare, endemic, or endangered species were recorded. The specimens are deposited in scientific collections.

Keywords: Geospeleology; Biospeleology; 3D laser scanner; Sampling methods.

1. INTRODUÇÃO

O patrimônio espeleológico brasileiro tem se revelado cada vez mais expressivo, contando com mais de 23 mil cavidades já registradas (CECAV 2023), as quais muitas vezes estão associadas a rochas de interesse econômico. Nos últimos 15 anos as cavernas passaram de ambientes integralmente protegidos por lei para ambientes passíveis de impactos negativos irreversíveis, mediante estudos específicos e autorização do órgão ambiental competente (BRA-

SIL, 1990; 2008). Os estudos específicos, norteados pelos critérios legais, são multidisciplinares e têm por finalidade sugerir o enquadramento de cavidades nas categorias de baixa, média, alta ou máxima relevância (BRASIL, 2017). Apenas as cavidades de máxima relevância são legalmente protegidas, enquanto aquelas classificadas nas demais categorias podem sofrer impactos negativos irreversíveis (BRASIL, 2008; 2017).

Quando autorizado, o impacto irreversível em cavernas deve ser “precedido de registro e armazenamento cartográfico e fotográfico, bem como de inventário e coleta de espeleotemas e elementos geológicos, paleontológicos e biológicos representativos do ecossistema cavernícola, compreendendo o resgate, transporte adequado e a destinação a coleções científicas institucionais” (BRASIL, 2017). Em 2022, a fim de viabilizar manutenções de segurança na barragem de Germano em área da Samarco Mineração S.A., foram mapeados potenciais impactos negativos irreversíveis para cinco cavernas no município de Mariana (MG) (Figura 1 e Tabela 1). Essas cavernas estão situadas na área do Projeto de Descaracterização da Barragem e Cava de Germano, vinculado ao processo nº 09020000191/20. O resgate espeleológico nessas cavernas foi requerido através da condicionante nº 06 do Documento Autorizativo de Intervenção Ambiental (DAIA) deste empreendimento. Sendo assim, este trabalho objetiva o cumprimento da condicionante nº 07 deste DAIA, que preconiza a disponibilidade dos resultados, das informações e dos elementos resgatados nessas cinco cavernas para a comunidade espeleológica brasileira.

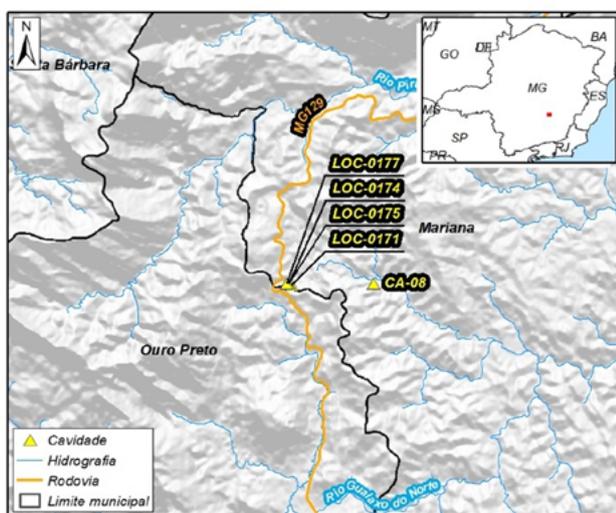


Figura 1: localização da área de estudo.

Tabela 1: Localização e classificação de relevância das cavernas alvo de resgate espeleológico. Fonte: Carste (2019)

Caverna	UTM E	UTM N	Altitude	Relevância
CA-08	660782	7763456	841	Baixa
LOC-171	658202	7763418	944	Baixa
LOC-174	658118	7763453	959	Baixa
LOC-175	658107	7763445	945	Baixa
LOC-177	658047	7763458	918	Média

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está inserida no Quadrilátero Ferrífero (QF), na região da Serra do Caraça, que se estrutura por meio de conjuntos de fragmentos planálticos elevados sustentados por formações feríferas e quartzitos (ALKMIM; MARSHAK, 1998).

O arcabouço geológico em que as cavidades estão inseridas se distribui por duas litologias: o Grupo Sabará, que compõe o topo do Supergrupo Minas e é composto predominantemente por clorita-xistos com intercalações de quartzito ferruginoso e rocha vulcânica (BARBOSA, 1969b). Já o Grupo Itacolomi é constituído por quartzitos que se depositam de forma discordante sobre o Grupo Sabará (DORR II, 1969; MAXWELL, 1972; RENGER *et al.*, 1994). Além disso, também ocorrem uma grande variedade de coberturas lateríticas, dentre elas as de composição aluminosa (bauxitas) e ferruginosa (cangas), processadas em contexto bioclimático predominantemente tropical úmido (WALLACE, 1958; DORR II, 1969). Essas condições também favoreceram a formação de feições espeleológicas sob essas rochas, onde estão inseridas as cavidades alvo do presente estudo (Figura 2 e Tabela 2).

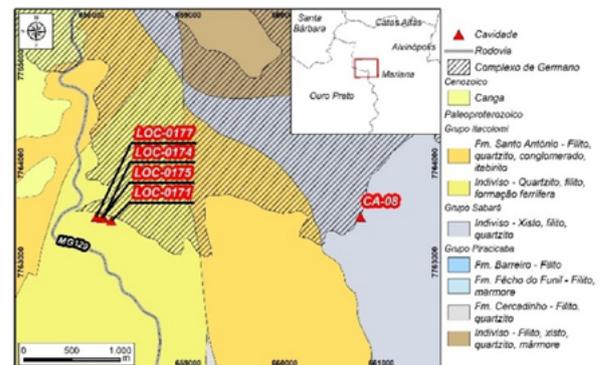


Figura 2: distribuição litológica das cavernas.

Tabela 2: Espeleometria e distribuição litológica das cavernas alvo de resgate espeleológico (unidades de medida em metros). PH: projeção horizontal.

Caverna	PH	Desnível	Área	Volume	Litologia
CA-08	3,4	1,7	5,7	8	Quartzito xistoso (Grupo Sabará)
LOC-171	2,5	1,3	1,7	1	Quartzito (Grupo Itacolomi)
LOC-174	2,8	1,8	7	9	Quartzito (Grupo Itacolomi)
LOC-175	3,1	0,8	5,7	3	Quartzito (Grupo Itacolomi)
LOC-177	7,2	1,9	11,3	6	Quartzito (Grupo Itacolomi)

3. METODOLOGIA

As atividades dos resgates geoespeleológico e bioespeleológico ocorreram entre os dias 04 a 08 de janeiro de 2022 por equipe composta por biólogos e geógrafos, sendo os métodos utilizados detalhados a seguir.

3.1 Resgate Geoespeleológico

3.1.1 Caracterização geoespeleológica e registro fotográfico

Nessa etapa, as cavidades foram caracterizadas quanto aos seus atributos físicos e selecionados locais endocársticos de interesse fotográfico, de acordo com a capacidade do local para representatividade da feição, considerando os aspectos morfológicos, sedimentares e químicos. Para isso, foi utilizada uma câmera fotográfica profissional *full frame* Nikon D610 com lente Nikkor 10-24mm, assim como dois flashes equipados com rádio flash e escala gráfica de 30 centímetros. Quando identificados depósitos de interesse científico/cênico, para coleta foram utilizados martelo, talhadeira e pá, sendo as amostras armazenadas em sacos plásticos etiquetados.

3.1.2 Escaneamento a laser

Nesta etapa foi utilizado um Iphone 13 Pro com tecnologia do sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*), que aumenta a eficiência do escaneamento a laser pois é capaz de detectar e medir distância de objetos em determinado ambiente. O mapeamento foi realizado por meio do aplicativo Polycam – Escaner 3D. Procedeu-se o tratamento da nuvem de pontos pelos softwares *CloudCompare*, 3D Reshaper e Geomagic. Foram removidos objetos que não são de interesse do estudo como vegetação, poeira e animais comuns à fauna cavernícola que transpuseram o feixe do laser. Em seguida, realizou-se a modelagem tridimensional dos arquivos e a extração do contorno e feições internas das cavidades.

3.2 Resgate Bioespeleológico

3.2.1 Caracterização de recursos orgânicos

Cada cavidade foi caracterizada quanto à disponibilidade de substratos orgânicos utilizando-se de fichas descritivas.

3.2.2 Coleta de invertebrados

Os invertebrados foram amostrados através de busca ativa e armadilhas iscadas. A busca ativa visual foi realizada por toda a extensão acessível das cavidades, priorizando micro-habitats de maior potencial para ocorrência de fauna (espaços sob rochas, pequenas fendas, solo úmido, depósitos orgânicos, etc) (Figura 3). Todos os indivíduos avistados foram coletados com pinças e pincéis e armazenados em álcool absoluto.

Foram utilizadas armadilhas do tipo *Vulcan-trap*. Esta adaptação das armadilhas de queda tradicionais con-



Figura 3: método de busca ativa por invertebrados.

siste em uma estrutura plástica de paredes inclinadas cobertas por grãos de areia fixados com cola spray permanente, permitindo acesso dos animais sem escavação do solo até sua borda superior. No orifício central da armadilha foi fixado um pote coletor plástico com Propilenoglicol como conservante (ARISTOPHANOUS, 2010; MOREAU *et al.*, 2013). Um suporte metálico propiciou a sustentação de copos descartáveis de 50 ml contendo iscas no centro dos potes coletores ilhadas pelo conservante. Em cada caverna foram instaladas duas armadilhas, sendo uma iscada com proteína (fígado bovino misturado com atum ralado) e outra com carboidrato (abacaxi macerado misturado em mel) (Figura 4), selecionadas com base em estudos que comprovaram sua eficiência para a atratividade de variados grupos de invertebrados (BAKER; VAN VORHIS; SALOMÃO *et al.*, 2018; SZINWELSKI *et al.*, 2015).



Figura 4: detalhe da armadilha de queda iscada utilizada. Cavidade LOC-0171.

Os pontos de instalação das armadilhas foram definidos *in loco* com auxílio dos mapas topográficos, de modo a minimizar a influência das entradas. A remoção das armadilhas ocorreu após 72 horas da instalação.

A cavidade CA-08 foi amostrada apenas através do método de busca ativa uma vez que o piso inclinado não permitiu a instalação das armadilhas.

Os invertebrados foram coletados sob a Autorização de Manejo de Fauna nº 424.117/2021, emitida pela SUPRAM Central Metropolitana e se encontram depositados nas seguintes instituições: Laboratório de Coleções Zoológicas do Instituto Butantan (IBSP) (Araneae); Coleção de Referência de Fauna de Solo, Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação (CRFS - UEPB) (Collembola); Coleção de Aracnídeos e Miriápodes do Museu Nacional (MNRJ) (Opiliones) e Coleção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras (ISLA - UFLA) (demais invertebrados).

3.2.3 Quirópteros e vertebrados não voadores

Quando detectados morcegos no interior da cavidade durante atividades de resgate, estes são capturados com auxílio de puçás ou redes de neblina, triados e soltos fora da caverna. Já os demais vertebrados são registrados em fotografia e afugentados para fora da caverna, que é imediatamente fechada com sombrite, impedindo seu retorno (Figura 5).



Figura 5: fechamento da entrada da cavidade LOC-0177 com sombrite 80%.

3.2.4 Análise de dados

As análises ecológicas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2019).

Para verificar se houve diferença significativa na riqueza de espécies capturadas de acordo com o método amostral, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney, considerando a não normalidade dos dados (função `wilcox.test`) (MANN; WHITNEY, 1947).

Para avaliar se houve diferenças com relação à composição de espécies capturadas por cada método de amostragem, foi realizada a análise de NMDS (função `metamds`); pacote `vegan`), seguida da ANOSIM (função

`anosim`), pacote `vegan`) (OKSANEN *et al.*, 2020). Estas análises foram realizadas utilizando-se o índice de similaridade de Jaccard.

Para avaliar o quanto da beta diversidade observada nessas amostras é oriunda da substituição das espécies e quanto é oriunda da variação da riqueza (aninhamento), utilizou-se a partição de beta diversidade (função `beta`; pacote `BAT`) (CARDOSO; RIGAL; CARVALHO, 2015). Explorou-se também a partição da beta diversidade considerando as cavernas como unidade amostral.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização geoespeleológica

As cavidades alvo de resgate se desenvolvem em litologia quartzítica (Figura 6), possuindo apenas uma entrada, com exceção da cavidade LOC-174 que possui duas. Essas entradas ocorrem por passagens de pequenas dimensões e teto-baixo (CA-08, LOC-171, LOC-177 e uma das entradas da LOC-174) até passagens de amplas dimensões (LOC-175 e uma das entradas da LOC-174). As cavidades LOC-171, LOC-174 e LOC-177 possuem partes do teto e paredes sustentadas pelo depósito de tálus, sendo que a LOC-175 possui uma estreita claraboia e muitos blocos e matacões dispersos em seu entorno.

De maneira geral, não foram identificadas atividades hidrológicas perenes nas cavidades, apenas porções úmidas do sedimento terrígeno no piso, com exceção da CA-08 que apresentou gotículas de condensação em partes do teto.

Além disso, cabe ressaltar que próximo à entrada dessa cavidade existe uma drenagem de fluxo perene sem conexão com a atividade hidrológica da feição. Na cavidade LOC-171 foi observada percolação pontualmente nas paredes internas.

Quanto aos depósitos clásticos, predominam sedimentos terrígenos na composição do piso, recobrindo parcialmente os demais blocos e cascalhos. Os depósitos orgânicos ficam restritos principalmente à porção de entrada das cavidades, no entanto, também foram observadas raízes no endocarste. Já os depósitos químicos são compostos por coralloides e microcoralloides pouco desenvolvidos, com dimensões milimétricas e coloração amarronzada, observados nas cavidades LOC-171, LOC-174 e LOC-175, os quais são comuns em cavernas formadas por rochas siliciclásticas. Apesar de ter sido coletada amostra na cavidade LOC-0175, foi constatado que o referido depósito não apresenta interesse científico ou mesmo cênico.

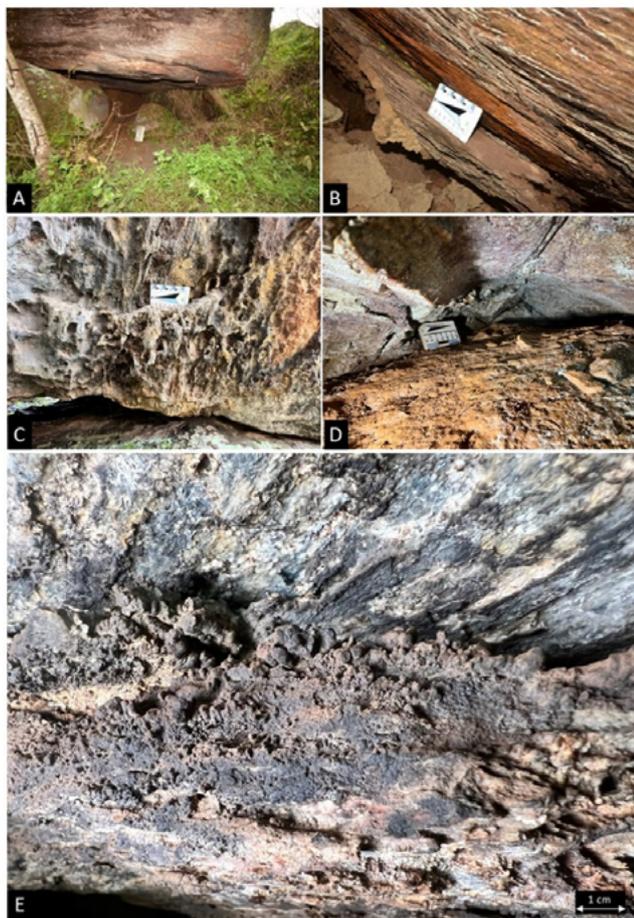


Figura 6: A: entrada em tálus da cavidade LOC-177; B: litologia quartzítica na LOC-171; C: erosão alveolar nas paredes internas da LOC-174; D: desenvolvimento do conduto em teto-baixo com o piso constituído de sedimentos terrígenos finos na CA-08; E: coraloides no teto da cavidade LOC-175.

4.2 Escaneamento a laser

Mapas 3D foram gerados para cada cavidade conforme exemplificado pelas Figuras 7 – 9. Os arquivos em formato PDF desses mapas podem ser acessados através do seguinte link: https://1drv.ms/u/s!AiWHicau9vx0ojU_v6mixJT6GuZy?e=EO-Vm80.

Esses mapas garantem maior acessibilidade para o público em geral, pois podem ser vistos em qualquer computador, sem a necessidade de softwares especializados. Além disso, o escaneamento com o uso de celular também permite um deslocamento mais fácil para mapeamento da cavidade, diminui o volume de equipamentos utilizados, além do menor tempo e número de pessoas envolvidas. Essas características garantem maior agilidade na coleta de dados e menor exposição ao risco humano e material.

Os resultados possuem alta qualidade de imagem, com riqueza de detalhes, e grande variedade de produtos que podem ser derivados da nuvem de pontos. Essa ampla visão das feições espeleológicas possibilitam um resgate de informações mais efetivo acerca das cavidades.



Figura 7: nuvem de pontos sem o tratamento de dados.

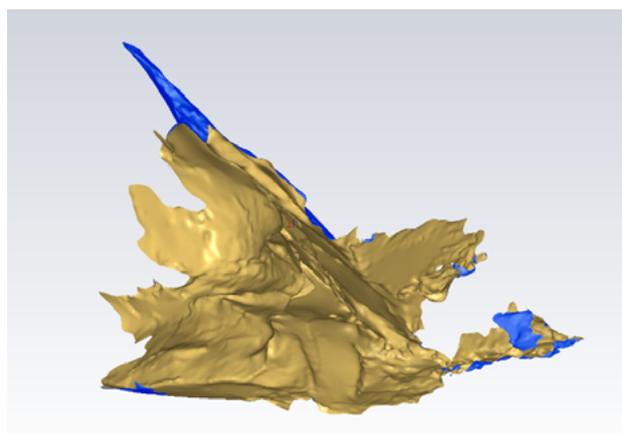


Figura 8: malha interpolada após tratamento de dados. O interior da cavidade é representado com coloração amarela e a coloração azul representa o ambiente externo



Figura 9: mapa 3D da cavidade LOC-171.

4.3. Resgate Bioespeleológico

4.3.1. Caracterização de recursos orgânicos

Os tipos de substratos orgânicos encontrados em cada cavidade podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3: Recursos orgânicos registrados nas cavidades do estudo.

Cavidade	Material Vegetal	Raízes	Detritos	Fezes (vertebrados não voadores)
CA-08	X	X		X
LOC-171	X			
LOC-174	X	X		
LOC-175	X			
LOC-177	X	X	X	

4.3.2 Coleta de invertebrados

Durante o resgate, 151 espécies de invertebrados foram capturadas, totalizando 498 indivíduos. A cavidade LOC-174 apresentou maior riqueza de espécies (56 spp.), enquanto a menor riqueza foi encontrada na LOC-171 (32 spp.). A Tabela 4 apresenta a síntese dos valores registrados.

Essas espécies se distribuem por 24 Ordens, sendo Diptera a mais rica (30 spp.), seguida por Araneae (21 spp.), Hymenoptera (19 spp.) e Coleoptera (18 spp.). A lista de espécies encontradas, bem como suas respectivas abundâncias nos diferentes métodos de captura empregados se encontram disponíveis na Tabela 5. A espécie de ácaro *Stigmaeus* sp.1 (Trombidiformes), encontrada na cavidade LOC-175, foi apontada como nova para a ciência pelo especialista responsável pela identificação do grupo.

Não foram registradas nas cavidades alvo de resgate espécimes com indicativos de restrição ao ambiente subterrâneo, nem espécies raras ou constantes em listas de ameaçadas de extinção. Neste sentido, os invertebrados presentes nas cavidades consistem em espécies que também são encontrados em habitats epígeos, podendo ainda apresentar ampla distribuição geográfica.

A riqueza amostrada pelo método de busca ativa ($26,4 \pm 8,96$ espécies) foi significativamente maior quando comparada às armadilhas iscadas com carboidrato ($9,25 \pm 8,34$ espécies) ($p = 0,03175$), não apresentando diferença significativa em relação às armadilhas de proteína ($11,5 \pm 2,65$ espécies) ($p = 0,06349$). Já as armadilhas iscadas não apresentaram médias distintas entre si ($p = 0,4857$) (Figura 10).

Tabela 4: Riqueza (S) de espécies e valores de abundância (A) obtidos nas cavidades alvo do estudo considerando os diferentes métodos amostrais.

Cavidade	Busca Ativa		Proteína		Carboidrato		Total	
	S	A	S	A	S	A	S	A
CA-08	36	82	-	-	-	-	36	82
LOC-171	12	14	13	18	9	32	32	64
LOC-174	26	60	14	16	21	124	56	200
LOC-175	31	53	11	26	5	7	42	85
LOC-177	27	48	8	2	2	17	36	67

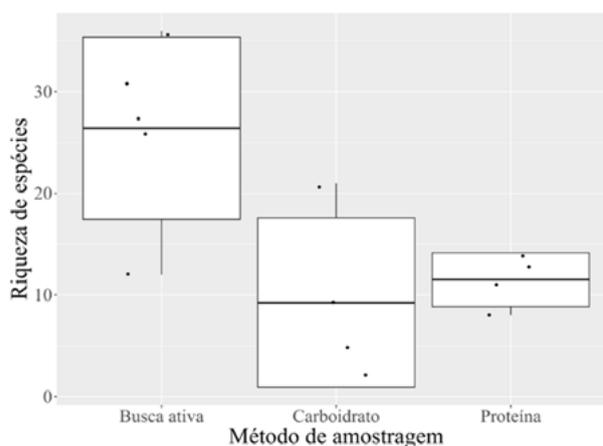


Figura 10: *boxplot* representando os valores de riqueza obtidos através dos diferentes métodos amostrais. Os pontos pretos representam os valores das riquezas observados nas amostras, a linha escura central representa o valor da média aritmética obtida para as amostras de cada método e a caixa branca indica o desvio padrão desses valores.

A busca ativa é o método mais indicado para amostragem de invertebrados em estudos de inventariamento e monitoramento, uma vez que evita superamostragem de indivíduos pertencentes a espécies endêmicas e raras, como é o caso da maioria dos troglóbios. Ainda, esse é o método que geralmente acessa maiores riquezas de espécies (HUNT; MILLAR, 2001). No entanto, no contexto do resgate espeleológico, o uso de armadilhas de queda iscadas é importante, uma vez que permite capturar um maior número de indivíduos pertencentes às espécies atraídas.

Observa-se separação evidente entre as espécies capturadas pelo método de busca ativa em comparação aos métodos de armadilhas iscadas (R anosim = 0,43; $p = 0,001$). Ao se comparar par a par os métodos, observa-se diferenças significativas na composição de espécies da busca ativa para as armadilhas iscadas com carboidrato (R anosim = 0,5; $p = 0,011$) e para as armadilhas iscadas com proteína (R anosim = 0,59; $p = 0,012$). Já ao comparar a utiliza-

Tabela 5: Lista das espécies encontradas nas cavidades do estudo e suas respectivas abundâncias nos diferentes métodos de coleta. B.A. = busca ativa; C = armadilhas iscadas com carboidrato; P = armadilhas iscadas com proteína.

Morfoespécie	CA-08	LOC-171			LOC-174			LOC-175			LOC-177		
	B.A	B.A	C	P									
Araneae													
<i>Alpaida</i> sp.1	1												
<i>Anyphaenidae</i> sp.1	1												
<i>Baalzebub acutum</i>	1												
<i>Corinnidae</i> sp.1	2												
<i>Enoploctenus</i> sp.1	1												
<i>Linyphiidae</i> sp.1					1								
<i>Mesabolivar</i> sp.1											4		
<i>Mysmenidae</i> sp.1								1					
<i>Nemesiidae</i> sp.1	1												
<i>Nephilengys</i> sp.1					14			1					
<i>Ochyrocera</i> sp.1	9												
<i>Salticidae</i> sp.1					2			1					
<i>Scyodidae</i> sp.1					3			1					
<i>Sphecozone</i> sp.1											1		
<i>Theotima</i> sp.1											1		
<i>Theridiidae</i> sp.1	1												
<i>Theridiidae</i> sp.2					3								
<i>Theridiidae</i> sp.3											7		
<i>Theridiidae</i> sp.4								1					
<i>Theridiosomatidae</i> sp.1				1									
<i>Zoridae</i> sp.1	1												
Blattodea													
<i>Blattellidae</i> sp.1								1					
<i>Blattellidae</i> sp.2	3				1								
Coleoptera													
<i>Carabidae</i> sp.1					2								
<i>Ciidae</i> sp.1							2						
<i>Coleoptera</i> imaturo sp.1					4			2					
<i>Coleoptera</i> imaturo sp.2							1						
<i>Latridiidae</i> sp.1							1						
<i>Nitidulidae</i> sp.1							1						
<i>Pselaphinae</i> sp.2								2					
<i>Ptiliidae</i> sp.1							1						
<i>Staphylinidae</i> sp.1	2			1	32	1							
<i>Staphylinidae</i> sp.10						1							
<i>Staphylinidae</i> sp.2											1		
<i>Staphylinidae</i> sp.3	2										1		
<i>Staphylinidae</i> sp.4										5			
<i>Staphylinidae</i> sp.5						4			1				
<i>Staphylinidae</i> sp.6			1			1							
<i>Staphylinidae</i> sp.7							1						
<i>Staphylinidae</i> sp.8						1							
<i>Staphylinidae</i> sp.9						1							
Diplura													
<i>Anajapygidae</i> sp.1											2		
Diptera													

Morfoespécie	CA-08	LOC-171			LOC-174			LOC-175			LOC-177		
	B.A	B.A	C	P	B.A	C	P	B.A	C	P	B.A	C	P
Anthomyiidae sp.1								1					
Brachycera larva sp.1				1									
Bruchomyiinae sp.1		1			1	1		2			3		
Calliphoridae larva sp.1										5			
Calliphoridae sp.1										2			
Calliphoridae sp.2										1			
Cecidomyiidae sp.1					1						2		
Cecidomyiidae sp.2								2					
Ceratopogonidae sp.1					1								
Ceratopogonidae sp.2											1		
Chloropidae sp.1							1						
Chloropidae sp.2								1			1		
Culicinae sp.1	1												
Culicinae sp.2								1			4		
<i>Drosophila</i> sp.1						1	1						
Drosophilidae sp.1			8			64						1	
Drosophilidae sp.2						1							
<i>Forcipomyia</i> sp.1											1		
keroplatidae sp.1		1											
keroplatidae larva sp.1	3												
Muscidae sp.1											1		
Phlebotominae sp.1											1		
Phlebotominae sp.2									1	1			
Phlebotominae sp.3								1					
Phoridae sp.1				2									
Phoridae sp.2				2						1			
Phoridae sp.3						2				1			2
Sciaridae sp.1											1		
Sciaridae sp.2								1					
Tachinidae sp.1				2			1						
Entomobryomorpha													
<i>Coecobrya</i> sp.2			1										1
<i>Dicranocentrus melinus</i>					1								
<i>Lepidocyrtus</i> sp.1	1												
<i>Lepidocyrtus</i> sp.2			3		1								2
<i>Seira pietata</i>				1									1
<i>Seira</i> sp.16	1	1									1		
<i>Trogolaphysa</i> sp.5	3												
Ephemeroptera													
Baetidae sp.1								1					
								1					
Hemiptera													
	5	1	1				1			3	2		2
Cicadellidae sp.1							1						
Cixidae sp.1	3												
Coccoidea sp.1			1										
Coccoidea sp.2													2
<i>Zelurus</i> sp.1	2	1								3	2		
Hymenoptera													
<i>Atta</i> sp.1						1					1		
<i>Atta</i> sp.2													2
Bethylidae sp.1							1						

Morfoespécie	CA-08	LOC-171			LOC-174			LOC-175			LOC-177		
	B.A	B.A	C	P	B.A	C	P	B.A	C	P	B.A	C	P
<i>Brachymyrmex</i> sp.1	10												
<i>Brachymyrmex</i> sp.2					2								
Braconidae sp.1								1					
<i>Camponotus</i> sp.1					2								
<i>Camponotus</i> sp.2		1		1							1		
<i>Crematogaster</i> sp.1		1											
<i>Linepithema</i> sp.1											1		5
<i>Myrmicocrypta</i> sp.1	1												
<i>Pheidole</i> sp.1	3												
<i>Pheidole</i> sp.2			2	3			1				4		
<i>Pheidole</i> sp.3		3			7	6							
Platygastroidea sp.1				1									
<i>Rogeria</i> sp.1	1												
<i>Solenopsis</i> sp.1	2												
<i>Strumigenys</i> sp.1	1												
<i>Wasmannia</i> sp.1				1									
Isoptera													
<i>Cornitermes</i> sp.1					1						2		
<i>Embiratermes</i> sp.1		1											
<i>Neocapritermes</i> sp.1	1												
Ixodida													
<i>Amblyomma</i> sp.1											1		
<i>Amblyomma sculptum</i>								1					
Lepidoptera													
Lepidoptera imaturo sp.1		1											
Noctuoidea sp.1					1								
Tineoidea sp.1					1								
Tineoidea sp.2				1			2	1	3	5			
Tineoidea sp.3							1						
Mesostigamata													
<i>Androlaelaps</i> sp.1								1					
<i>Lasioseius</i> sp.1	1												
<i>Neoseiulus</i> sp.1											1		
<i>Veigaia</i> sp.1	2												
Neuroptera													
Myrmeleontidae sp.1					2			2	1				
Opiliones													
Cosmetinae sp.1	2												
Cryptogebiidae sp.1	2												
Cryptogebiidae sp.2	2												
<i>Eusarcus</i> sp.1	10												
Pachylinae sp.1	2												
Orthoptera													
<i>Endecous</i> sp.1						1				1			2
Phalangopsidae sp.1	1												
Poduromorpha													
<i>Brachystomella</i> sp.4			1										
<i>Hyleanura</i> cf. <i>mendoncae</i>			14										
Psocoptera													
Cladiopsocidae sp.1					4								
Epipsocidae sp.1	1							4					
Lepidopsocidae sp.1								2					
Liposcelidae sp.1						1			1				
Psocomorpha sp.1							1						

Morfoespécie	CA-08	LOC-171			LOC-174			LOC-175			LOC-177		
	B.A	B.A	C	P									
Trogiomorpha sp.1								2					
Sarcoptiformes													
Galumnidae sp.1						1		2					
Oribatida sp.1		1										1	
Symphyla													
Scutigereleididae sp.1											1		
Scutigereleididae sp.2					1								
Symphyleona													
Spharidia sp.				1									
Trichoptera					1								
Hydroptilidae sp.1					1								
Trombidiformes													
Stigmaeus sp.1								1					
Birjandtrombella sp.1								1					
Brevipalpus sp.1							1						
Erythracarus sp.1		1											
Neotrombidium sp.2								1					
Penthalodes sp.1								2					
Rhagidiidae sp.1						1		1					
Stereotydeus sp.1			1			1	1	10	1				
Trombiculidae sp.1						1							
Oligochaeta													
Oligochaeta sp.1		1			1						1		
Oligochaeta sp.2	1												

ção das iscas de carboidrato com as de proteína, não se observa diferença (R anosim = -0,22; p = 0,15) (Figura 11). Isso demonstra que as espécies amostradas pelas armadilhas são, em sua maioria, diferentes das espécies capturadas por meio de busca ativa, sendo, portanto, métodos complementares, como observado por Oliveira (2014).

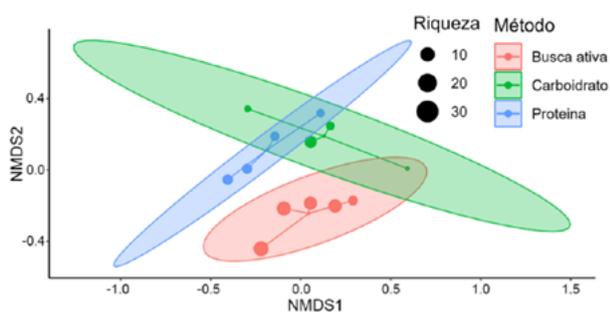


Figura 11: análises de NMDS ilustrando diferenças na composição de espécies de acordo com o método de amostragem (melhor solução: Stress = 0,1569; rmse = 0,000025; max resid = 0,0000586; ANOSIM R Global = 0,4334; p = 0,001). O tamanho dos pontos é proporcional à riqueza observada em cada ponto amostral.

Ao avaliar a beta diversidade considerando cada uma das amostras individualmente, a similaridade

médica foi 4% (dp ± 4). Ao particionar a dissimilaridade das amostras, obteve-se que, em média, 55,1% (dp ± 23,5) da diferença na composição entre as amostras é oriunda da substituição de espécies, enquanto 40,57% (dp ± 24,3) pode ser associada à variação da riqueza entre amostras (Figura 12).

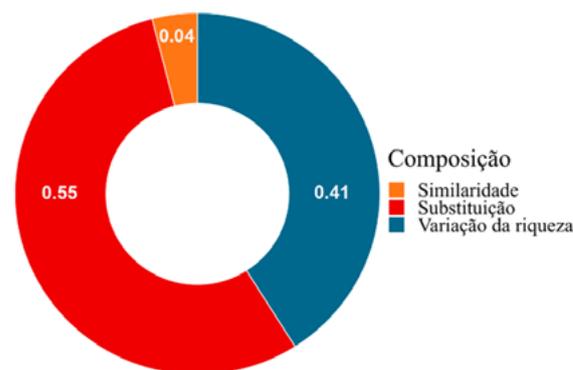


Figura 12: representação da proporção média ocupada por cada fração da beta diversidade na composição, considerando individualmente os métodos e seus respectivos pontos de amostragem.

Essa elevada dissimilaridade pode estar relacionada a vários fatores que influenciam a composição dos invertebrados capturados. Dentre eles,

pode-se mencionar o método de coleta que possibilita a captura de diferentes espécies. Além disso, o posicionamento das armadilhas dentro das cavidades pode interferir, uma vez que a comunidade associada aos diferentes setores de uma caverna pode ser diferente, principalmente quando comparadas regiões de entrada e suas porções mais internas (PROUS; FERREIRA; MARTINS, 2004; PROUS; FERREIRA; JACOBI, 2015; PELLEGRINI; FERREIRA, 2016). Ainda, características intrínsecas de cada caverna podem ser determinantes, como disponibilidade e diversidade de recursos e de habitats por exemplo, que influenciam a composição e riqueza de invertebrados (SCHNEIDER; CHRISTMAN; FAGAN, 2011; FERREIRA; OLIVEIRA; SOUZA-SILVA, 2015; PACHECO *et al.*, 2020; RABELO; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2021).

Esses dois últimos fatores também podem ser possíveis explicações para a alta dissimilaridade de espécies entre as cavernas, uma vez que ao avaliar a beta diversidade considerando a fauna capturada por todos os métodos amostrais, obteve-se similaridade média de 9,18% ($dp \pm 6,1$). Ao particionar a dissimilaridade entre as cavidades, obteve-se que 76,98% ($dp \pm 12,9$) da diferença na composição é oriunda da substituição das espécies, enquanto 13,8% ($dp \pm 9,7$) dessa diferença pode ser atribuída à variação da riqueza entre as amostras (Figura 13).

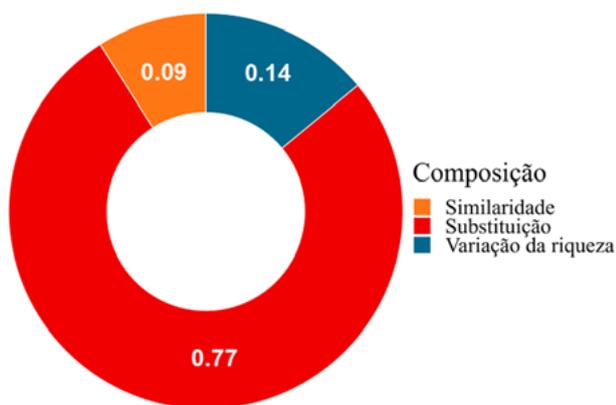


Figura 13: representação da proporção média ocupada por cada fração da beta diversidade na composição, considerando toda a fauna acessada em cada uma das cavidades.

Ao se comparar o aninhamento obtido para os diferentes métodos de amostragem com o obtido para as diferentes cavernas, observa-se um grau de aninhamento superior entre os diferentes métodos. Isso possivelmente se dá pela redundância de espécies capturada nas armadilhas, já que não houve segregação da composição de espécies capturadas por armadilhas iscadas por carboidrato e proteína.

4.3.3 Quirópteros e vertebrados não voadores

Não foram observados quirópteros ou outros vertebrados durante a execução das atividades. Em relação aos vestígios de utilização, foram encontradas fezes na cavidade CA-08 e um ninho inativo na LOC-177.

5. CONCLUSÕES

As cinco cavidades alvo do resgate possuem pequenas dimensões e pouca variabilidade geoespeleológica. No entanto, se destaca o mapeamento com uso do sensor LIDAR, por meio do aplicativo Polycam, como uma boa ferramenta para fins de resgate pois resultam em imagens altamente fidedignas com a realidade, de alta qualidade e as torna mais acessíveis ao público em geral.

Sob o ponto de vista bioespeleológico, os resultados obtidos reafirmam a importância do uso de métodos amostrais complementares em resgates de invertebrados cavernícolas, com a finalidade de capturar a maior riqueza e abundância possível de espécies. Os exemplares coletados estão depositados em coleções científicas e poderão contribuir para futuros estudos relacionados à morfologia das espécies capturadas e aos aspectos ecológicos das cavidades amostradas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Samarco Mineração S.A. pelo financiamento do estudo, aos membros da equipe Ativo Ambiental e profissionais autônomos que participaram das atividades de campo e de laboratório; e aos especialistas Dr. Leopoldo Bernardi, Dr. Douglas Zeppelini, Dr. Ludson Ázara, MSc Roberta Cerqueira e MSc Igor Cizauskas pela identificação de material biológico.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in Quadrilátero Ferrífero. **Pre-cambrian Research**, v. 90, p. 29–58, 2020.

- ARISTOPHANOUS, M. Does your preservative preserve? A comparison of the efficacy of some pitfall trap solutions in preserving the internal reproductive organs of dung beetles. **ZooKeys**, v. 34, p. 1–16, 2010.
- BAKER, T. C.; VAN VORHIS KEY, S. E.; GASTON, L. K. Bait-preference Tests for the Argentine Ant (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 78, n. 5, p. 1083–1088, 1985.
- BARBOSA, A. L. Mapa geológico das quadriculas de Ouro Preto e Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. Washington, USGS/ **Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**. Professional Paper 641-A.1969a.
- BRASIL. Decreto-lei n. 99.556, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 out. 1990. Seção 1, p. 18836 (Publicação Original). Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99556-1-outubro-1990-339026-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 15 dez. 2009.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. Decreto n. 6.640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 nov. 2008. Seção 1, p. 8. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2008/decreto-6640-7-novembro-2008-583389-publicacaooriginal-106227-pe.html>. Acesso em: 15 dez. 2009
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 2, de 30 de agosto de 2017. Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no art. 5º do Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 169, p. 161, setembro 2017.
- CARDOSO, P., RIGAL, F., CARVALHO, J. C. BAT - Biodiversity Assessment Tools, an R package for the measurement and estimation of alpha and beta taxon, phylogenetic and functional diversity. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 2, p. 232–236, 2015.
- CARSTE, CIÊNCIA E MEIO AMBIENTE. Estudo Espeleológicos, LOC – Complexo Germano, demais áreas operacionais e linha de transmissão. Relatório Técnico, Belo Horizonte, 230p., 2019.
- CECAV. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE**. Brasília: CECV, 2023. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecv/canie.html>. Acesso em: 20 de março de 2023.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. Subterranean Ecosystems. In: LEVIN, S. A. (ed.) **Encyclopedia of Biodiversity**. 2nd ed. Waltham, MA: Academic Press, 2013. v. 7, p. 49–62.
- DORR II, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Washington, USGS/ **Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**. Professional Paper. 641(A):110p. 1969.
- FERREIRA, R. L.; OLIVEIRA, M. P. A.; SOUZA-SILVA, M. Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. (org.) **Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: Editora 3i, 2015. v. 1, p. 195–231.
- HUNT, M.; MILLAR, I. **Cave invertebrate collecting guide**. Wellington, New Zealand: Department of Conservation, 2001, 29 p.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50–60, 1947.
- MAXWELL C.H. Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. Antônio dos Santos,

- Gongo Sôco, and Conceição do Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. **Serviço Geológico dos Estados Unidos** (USGS). Professional Paper. 341-J, 72 p. 1972.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **Parecer nº 7/SEMAD/SUPPRI/DAT / 2021**.
- MOREAU, C. S.; WRAY, B. D.; CZEKANSKI-MOIR, J. E.; RUBIN, B. E. R. DNA preservation: A test of commonly used preservatives for insects. **Invertebrate Systematics**, v. 27, n. 1, p. 81–86, 2013.
- OKSANEN, J. *et al.* **Vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.5-7, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- OLIVEIRA, Marcus Paulo Alves. **Os métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para amostragem da fauna subterrânea?** 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- PACHECO, G. S.M.; SOUZA-SILVA, M.; CANO, E.; FERREIRA, R. L. The role of microhabitats in structuring cave invertebrate communities in Guatemala. **International Journal of Speleology**, v. 49, n. 2, p. 161–169, 2020.
- PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R. L. Are inner cave communities more stable than entrance communities in Lapa Nova show cave? **Subterranean Biology**, v. 20, p. 15–37, 2016.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; JACOBI, C. M. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. **International Journal of Speleology**, v. 44, n. 2, p. 177–189, 2015.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: Epigeal–hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology**, v. 29, n. 4, p. 374–382, 2004.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- RABELO, L. M.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Epigeal and hypogean drivers of Neotropical subterranean communities. **Journal of Biogeography**, v. 48, n. 3, p. 1–14, 2021.
- RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 m.a. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, v. 2, p. 1–11, 1994.
- SALOMÃO, R. P.; MAIA, A. C. D.; BEZERRA, B. M.; IANNUZZI, L. Attractiveness of different food resources to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) of a dry tropical area. **Neotropical Entomology**, v. 47, n. 1, p. 69–78, 2018.
- SCHNEIDER, K; CHRISTMAN, M. C.; FAGAN, W. F. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 765-776, 2011.
- SZINWELSKI, N; ROSA, C. S.; SOLAR, R. R. C.; SPERBER, C. F. Aggregation of cricket activity in response to resource addition increases local diversity. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–11, 2015.
- WALLACE, R. M. The Moeda Formation. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 7, n.2, p. 59–60, 1958.