



MARCUS PAULO ALVES DE OLIVEIRA

**OS MÉTODOS DE COLETA UTILIZADOS EM
CAVERNAS SÃO EFICIENTES PARA A
AMOSTRAGEM DA FAUNA SUBTERRÂNEA?**

LAVRAS – MG

2014

MARCUS PAULO ALVES DE OLIVEIRA

**OS MÉTODOS DE COLETA UTILIZADOS EM CAVERNAS SÃO
EFICIENTES PARA A AMOSTRAGEM DA FAUNA SUBTERRÂNEA?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção de título de Mestre.

Orientador

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

LAVRAS – MG

2014

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Oliveira, Marcus Paulo Alves de.

Os métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea? / Marcus Paulo Alves de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2015.

126 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador(a): Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Cavernas. 2. Métodos de coleta. 3. Fauna subterrânea. 4. Análise de Relevância. 5. Conservação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

MARCUS PAULO ALVES DE OLIVEIRA

**OS MÉTODOS DE COLETA UTILIZADOS EM CAVERNAS SÃO
EFICIENTES PARA A AMOSTRAGEM DA FAUNA SUBTERRÂNEA?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 07 de agosto de 2014.

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

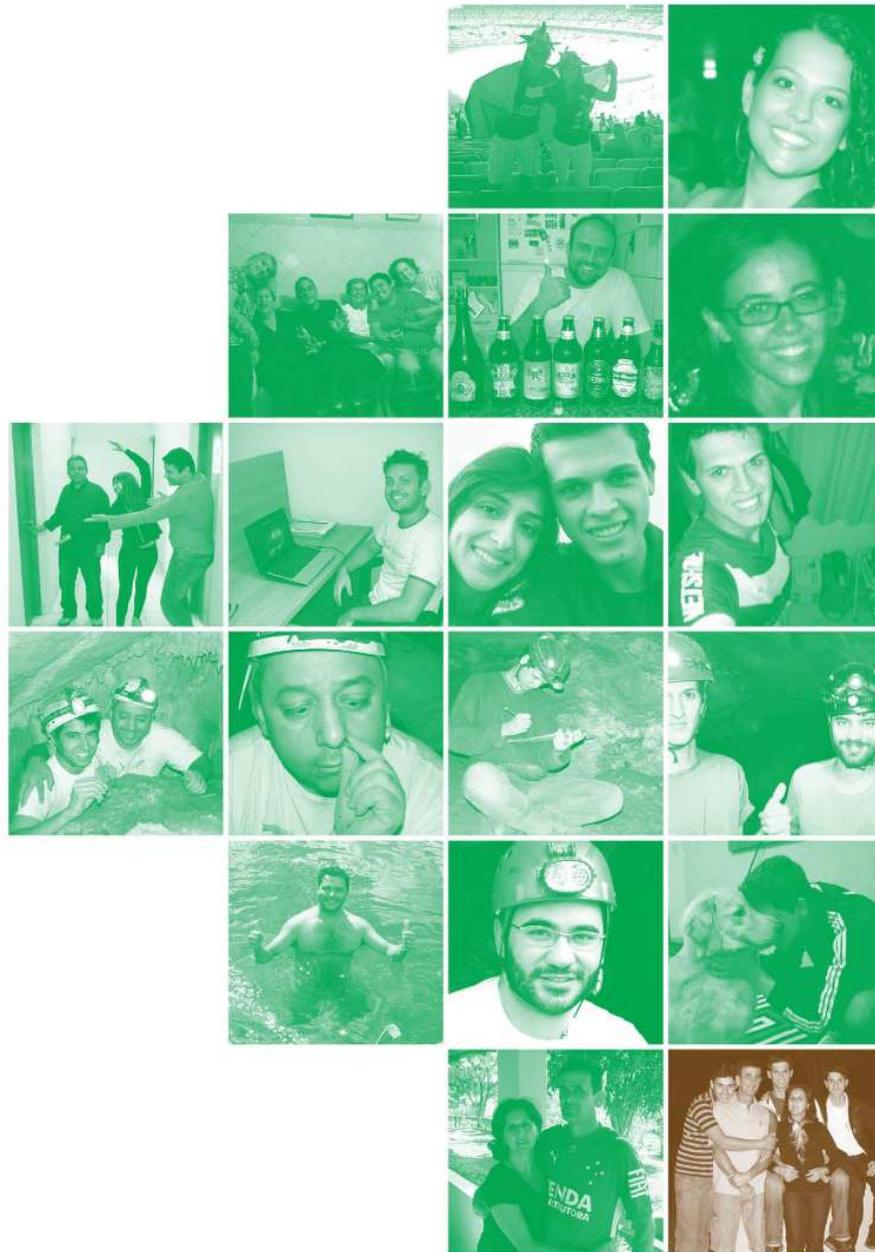
UFLA

Dr. Antônio Domingos Brescovit

INSTITUTO BUTANTAN

Orientador

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira



A minha família, amigos e a todos que contribuem para o conhecimento da fauna subterrânea.

Em especial, à Thami Gomes da Silva

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por sempre iluminando-me e pelas pessoas maravilhosas que colocou em meu caminho;

Aos meus pais, Ita Lopes e Maria Aparecida, por todo apoio e confiança em todos os momentos;

Aos meus irmãos, Ita Christie e Guilherme Augusto, pela amizade, companheirismo e auxílio sempre que precisei;

Em especial à Thami Gomes da Silva, pelo apoio incondicional, carinho, amor, paciência e confiança em mais uma etapa de nossas vidas. Não há palavras para descrever minha gratidão pela ajuda em todas as etapas desta dissertação...

À Márcia, ao Gilberto, à Larissa e Julian, por todo incentivo e apoio nesta jornada;

Ao meu amigo e Orientador Dr. Rodrigo Lopes Ferreira, pela confiança depositada em minhas capacidades, por todas as discussões e conselhos, pela total dedicação no conhecimento da fauna subterrânea. Enfim, uma pessoa simples, porém especial, que está sempre disponível a ajudar e ensinar;

A família “Lopes Ferreira Faria”: Rodrigo, Lilian, Carol e Heitor, pela receptividade, carinho, vários cafés, almoços, jantares e sessões cinema que passamos juntos;

Aos meus grandes amigos de espeleologia, Matheus Brajão, Allan Callux, Robson Zampaulo, Marta Letícia e Sílvia Helena, que contribuíram imensamente com meu crescimento pessoal e profissional e possibilitaram que

este trabalho se tornasse realidade. Obrigado também por todos os momentos de descontração e por tornarem esta profissão a mais divertida que existe!

Ao meu amigo Dr. Marconi Souza Silva, ou Tó, pelos conselhos e por também ter contribuído com meu desenvolvimento na biologia subterrânea;

A BioEspeleo Consultoria Ambiental, por disponibilizar sua estrutura, equipamentos e materiais de consumo para a realização deste projeto. Agradeço ainda por possibilitar financeiramente que este mestrado fosse realizado!

A todos que contribuíram nos trabalhos de campo: Rodrigo, Marconi, Thami, Guilherme, Matheus, Pedro, Thaís (Sassanha), Maysa (Xucra), Luiz (Tripé), Ludson (Chassi), Tarcísio (Vamp), Marta Letícia, Kaick, Thiago, Mariana, Mariana Yankous, Luciana, Robson Zampaulo, Nefer, Allan Calux, Patrícia e Márcia Michele (Baboo). Minha eterna gratidão! Sem vocês, seria impossível realizar este trabalho...

Aos meus amigos da BioEspeleo: Thami, Matheus, Marta Letícia, Silvia Helena e Marcos Fernando, que me ajudaram a triar infinitos *ependorfs* em um trabalho que parecia não ter fim!

Aos especialistas, Dr. Antônio Brescovit (Instituto Butantan), Dr. Douglas Zeppelini Filho (Universidade Estadual da Paraíba – UEPB), Dr. Ricardo Pinto da Rocha (Universidade de São Paulo – USP), Msc. Maysa Villela (UFLA), Msc. Leopoldo Bernardi (UFLA), Msc. Pedro Rattón (UFLA), Ludson Azara (UFLA), Luiz Felipe Moretti Iniesta (UFLA), e aos profissionais Msc. Silvia Helena Soares Torres (BioEspeleo), Msc. Maricélio Medeiros (Panorama Consultoria Ambiental), Thami Gomes da Silva (BioEspeleo), Matheus Brajão Mescolotti (BioEspeleo) e Marta Letícia Herênio Kerkhoff (BioEspeleo), pela determinação e identificação do material biológico;

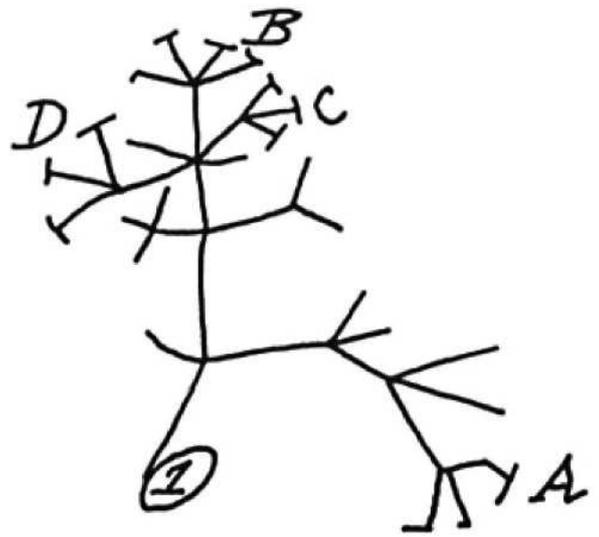
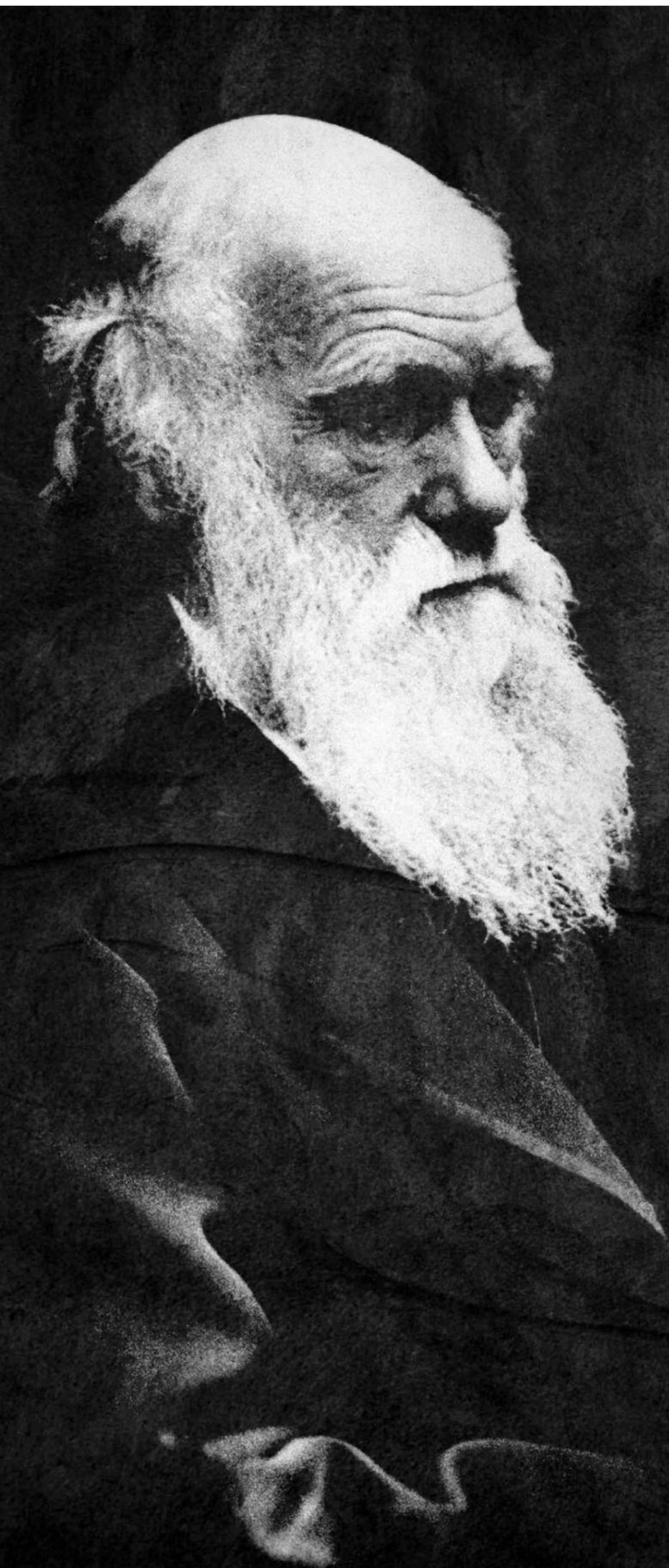
Ao Dingo, grande amigo painense, pela hospitalidade e diversão proporcionada na estadia em Pains. Uma pessoa humilde, simples e com um enorme coração. Obrigado por receber a todos que participaram deste projeto com tamanha boa vontade! Agradeço também ao Zé do Pedro, Coelho, Marquinhos e todo povo painsense pela receptividade. Ao Albano e Carlinhos, por permitirem o acesso às cavidades estudadas em Pains;

Ao Saulo (Mineração Ferro Puro), por autorizar o acesso e permitir o estudo nas cavernas ferruginosas em Santa Bárbara/MG;

Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, em especial ao Victor Hugo (Toru), Dra. Carla Ribas e Dr. Paulo Pompeu. Este último, pela disponibilidade e paciência em me ensinar e discutir as análises estatísticas;

Aos meus amigos e amigas: Kaick, Nilo, Bruno, Jéssica, Sanny, Gleize, André (Bill), Thiago, Amanda e Henrique (Dalai), pelos momentos de descontração pelo interesse em meu trabalho. Em especial ao Kaick e Thiago, pela participação e auxílio nos campos deste projeto;

A todos aqueles que não foram citados nominalmente mas contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento profissional e pessoal neste período, muito obrigado!



“ Não nos surpreendemos com a raridade de uma espécie, mas ficamos chocados com o seu desaparecimento... É como admitir que a doença é o prelúdio da morte e não se sentir surpreso diante da doença, mas apenas com a morte da pessoa doente, não atribuindo o falecimento ao mal de que ela sofria, mas a algum ato desconhecido de violência. ”

Ch. Darwin
1809 - 1882

RESUMO

O uso de diferentes métodos de coleta de invertebrados em cavidades é um dos importantes tópicos de discussão em biologia subterrânea, especialmente na atualidade. A ausência de uma padronização implica no uso de diferentes técnicas de coleta, dificultando a comparação em escalas mais amplas e a definição de áreas prioritárias para conservação. Tal cenário tem implicações diretas sobre a conservação dos sistemas subterrâneos brasileiros, devido à necessidade da valoração destes ambientes para o licenciamento ambiental. Desta forma, foi comparada a eficiência dos métodos de coleta comumente utilizados na amostragem da fauna subterrânea em cavernas de diferentes litologias. Adicionalmente, avaliou-se a influência do uso de diferentes técnicas na determinação do grau de relevância das cavidades conforme previsto no Decreto 6640/2008. Para este estudo, escolhemos cavernas em três litologias distintas. Cada cavidade foi dividida em quadrantes amostrais, onde os métodos de coleta manual foram avaliados. Em relação aos métodos de captura passiva, extratores de Winkler e armadilhas de queda foram empregados quando possível. Os resultados demonstram que os métodos de captura manual geralmente utilizados subestimam significativamente a riqueza de espécies. O método de plotagem de espécimes apresentou maior número de espécies e foi mais eficiente para as cavernas quartzíticas e ferruginosas. Para as cavernas calcárias, o método de coleta por tempo/m² mostrou-se mais eficiente. A amostragem pela aleatorização de quadrantes demonstrou baixa eficiência quando empregado os métodos convencionais de coleta manual. Em relação à Análise de Relevância de cavernas, prevista no decreto 6640/2008, o grau de relevância das cavidades amostradas alterou-se em função do método de coleta escolhido para a análise. De acordo com os resultados, sugeriu-se a utilização do método por plotagem de espécimes em estudos da fauna subterrânea. A padronização das amostragens em futuros estudos da fauna subterrânea são de extrema importância para gerar dados de fato comparáveis, permitindo avaliar padrões gerais de estruturação de comunidades subterrâneas. Além do mais, a ausência de um consenso permite que a importância de uma caverna seja subestimada durante o licenciamento ambiental, colocando em risco o vasto patrimônio espeleológico brasileiro.

Palavras-chave: Cavernas. Métodos de coleta. Fauna subterrânea. Análise de Relevância. Conservação.

ABSTRACT

The use of different methods for collecting invertebrates in cavities is currently one of the important topics of discussion in subterranean biology. The lack of standardization implies the use of different data collection techniques, hindering comparison on larger scales and definition of priority areas for conservation. Such a scenario has direct implications for the conservation of the Brazilian subterranean systems due to the need to undertake a value assessment of these environments for environmental licensing. Thus, we compared the efficiency of collection methods commonly used for sampling groundwater fauna in caves of different lithologies. Additionally, we evaluated the influence of using different techniques to determine the degree of relevance of the caves as provided for in Decree 6640/2008. For this study, we chose caves in three distinct lithologies. Each cave was divided into sampling quadrants, where manual collection methods were evaluated. Regarding the passive capture methods, Winkler extractors and pitfall traps were used when possible. Our results demonstrate that the manual capture methods commonly used significantly underestimate species richness. The method of plotting specimens showed a higher number of species and was more efficient for ferruginous and quartzite caves. For the limestone caves, the time/m² collection method showed to be more efficient. Randomization quadrant sampling showed low efficiency when using conventional methods of manual collection. Regarding the cave Relevance Analysis provided for in Decree 6640/2008, the degree of relevance of the caves sampled was altered as a function of the collection method chosen for analysis. According to the results, we suggest using the specimen plotting method in studies of groundwater fauna. The standardization of sampling in future groundwater fauna studies are extremely important to generate genuinely comparable data, allowing to assess general patterns of subterranean community structuring. Moreover, the absence of a consensus allows the importance of a cave to be underestimated during the environmental licensing, endangering the vast Brazilian speleological heritage.

Keywords: Caves. Sampling methods. Subterranean fauna. Relevance Analysis. Conservation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS.....	16
MANUSCRITO 1	
A busca por métodos eficientes na amostragem da fauna subterrânea.....	18
MANUSCRITO 2	
O uso de diferentes métodos de coleta altera a relevância das cavidades?.....	76
APÊNDICE A.....	122

INTRODUÇÃO GERAL

As cavernas são importantes feições presentes no “carste”, uma forma de relevo em constante modificação devido a ação da água, que atua na formação, moldagem e deposição de inúmeros componentes deste complexo (GILBERT; DANIELPOL; TANFORD, 1994). Apesar das cavidades estarem frequentemente presentes em rochas mais solúveis, como as carbonáticas, também podem ser encontradas em outras litologias como quartzitos, dolomitos, arenitos e rochas ferruginosas (FORD; WILLIAMS, 2007; GILLIESON, 1998; GINÉS; GINÉS, 1992). Quando comparado ao ambiente epígeo, o ambiente cavernícola apresenta características peculiares. Dentre elas destacam-se a ausência permanente de luz e a tendência à estabilidade das condições ambientais, tais como temperatura e umidade. Estas condições promovem o estabelecimento de uma fauna característica, com espécies muitas vezes especializadas à vida subterrânea (CULVER, 1982), sendo estabelecidas três categorias segundo suas modificações evolutivas ou status ecológico (CULVER; WILKENS, 2000); modificado do sistema Schinner-Racovitza): i) Troglógenos são os organismos que utilizam as cavernas como hábitat, mas necessitam do ambiente externo para completar seu ciclo de vida (ex. morcegos), ii) Troglófilos são os espécimes que podem completar seu ciclo de vida tanto no ambiente epígeo quanto hipógeo, iii) Troglóbios são as espécies restritas ao ambiente subterrâneo, possuindo, em geral, caracteres adaptativos a esta condição (morfológicos, fisiológicos e comportamentais).

As espécies cavernícolas cobrem uma vasta variedade de taxa de invertebrados e alguns vertebrados com variados graus de dependência do habitat subterrâneo, de espécies totalmente dependentes da caverna até espécies oportunistas ou acidentais (CULVER; WILKENS, 2000). Entretanto, apesar da multiplicidade de espécies e trabalhos demonstrarem que nenhum método consegue ser melhor para todos os táxons de artrópodes de solo

(EDWARDS,1991; STANDEN, 2000), nenhum estudo foi realizado no intuito de avaliar os métodos que têm sido utilizados para amostrar o ambiente subterrâneo. A avaliação dos métodos de coleta neste ambiente se torna necessária e urgente, uma vez que cada técnica de coleta amostra diferentes tipos de habitats e táxons presentes nos ecossistemas (CORT; LARNED; DATRY, 2013; PELLEGRINI; FERREIRA, 2012; SABU et al., 2011; SANTANA; SOUTO; DANTAS, 2010). Desta forma, com diferentes métodos, cada estudo pode promover uma avaliação diferente da estrutura da comunidade local, dificultando a comparação da diversidade e padrões de riqueza de espécies em níveis mais amplos. Para cavernas brasileiras há ainda o agravante da possibilidade de supressão parcial ou total de cavernas durante o licenciamento ambiental, por meio de estudos específicos, mas sem uma definição de qual método deve ser utilizado nesta avaliação (BRASIL, 2009). Esta situação permite que técnicas distintas sejam utilizadas nos estudos ambientais da fauna subterrânea, promovendo questionamentos sobre a capacidade dos métodos em demonstrar a real importância de uma cavidade no contexto local e regional.

O objetivo com essa dissertação é comparar a eficiência dos diferentes métodos de coleta comumente utilizados em cavernas, assim como avaliar efeito das técnicas de amostragem na determinação do grau de relevância de cavernas em diferentes litologias. A dissertação encontra-se dividida em dois capítulos, cada um correspondendo a um artigo científico.

No primeiro capítulo comparou-se a eficiência e composição de espécies dos métodos de coleta comumente utilizados para a amostragem de invertebrados em cavernas. Avaliou-se também a influência de outros fatores, como diversidade dos substratos e experiência do coletor, no número de espécies amostradas em cada método. Por último, indicou-se quais estimadores de riqueza são mais adequados a cada técnica de amostragem. Esse trabalho foi realizado replicando métodos de captura ativa em quadrantes, em três cavernas

de cada uma das litologias: quartzito, calcário e minério de ferro. Em cada caverna, utilizamos também métodos de captura passiva (extratores de Winkler e armadilhas de queda).

O segundo capítulo apresenta o efeito do uso de diferentes métodos de coleta na determinação do grau de relevância de cavernas. Para isso, foram aplicados os atributos previstos na Instrução Normativa N°02, instituída pelo Decreto 6640/2008, com os dados obtidos pela amostragem de diferentes métodos de coleta em cavernas de diferentes litologias. Assim como no primeiro capítulo, utilizou-se os métodos de captura ativa em quadrantes enquanto os extratores de Winkler e armadilhas de queda foram instalados nas cavernas. Nove cavidades foram utilizadas, sendo três em cada litologia: quartzito, calcário e minério de ferro.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instrução Normativa nº 2, de 21 de agosto de 2009. Dispõe sobre a metodologia de aplicação do Decreto 6640/2008. Indica os atributos que devem ser avaliados nas cavernas que se encontram em áreas de empreendimentos (ex.: minerações, estradas, hidrelétricas etc.), no intuito de classificá-las conforme sua relevância (Máxima, Alta, Média ou Baixa). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 160, p. 68-71, 2009. Seção 1. Disponível em: <<http://www.sbe.com.br/leis/inmma%20%2020-08-2009.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2014.

CORT, R.; LARNED, S.T.; DATRY, T. A comparison of pitfall-trap and quadrat methods for sampling ground-dwelling invertebrates in dry riverbeds. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 717, n. 1, p. 13-26, Oct. 2013.

CULVER, D. C. **Cave life: evolution and ecology**. Cambridge: Harvard University, 1982. 189 p.

CULVER, D.C.; WILKENS, H. Critical review of relevant theories of the evolution of subterranean animals. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Ed.). **Ecosystems of the world: subterranean ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 381-397.

EDWARDS, C.A. The assessment of populations of soil inhabiting invertebrates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 34, n. 1/4, p. 145-176, Feb. 1991.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. Oxford: Blackwell, 2007. 576 p.

GILBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; TANFORD, J. A. **Groundwater ecology**. New York: Academic, 1994. 571 p.

GILLIESON, D.S. **Caves: processes, development and management**. Oxford: Blackwell, 1998. 340 p.

GINÉS, A.; GINÉS, J. Les Coves del Drac (Manacor, Mallorca): apuntes històrics y espeleogenéticos. **Endins**, Palma de Mallorca, v. 17, n. 18, p. 5-20, 1992.

PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R.L. Metodologias diferenciadas aumentam a eficiência de inventários faunísticos em cavernas? **Arquivos do Museu de**

História Natural e Jardim Botânico, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 111-122, 2012.

SABU, T.K. et al. A comparison of the pitfall trap, Winkler extractor and Berlese funnel for sampling ground-dwelling arthropods in tropical montane cloud forests. **Journal of Insect Science**, Madison, v. 11, n. 28, p. 1-19, 2011.

SANTANA, M.E.V.; SOUTO, L.S.; DANTAS, M.A.T. Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias - Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 6, n. 12, p. 1-8, 2010.

STANDEN, V. The adequacy of collecting methods for estimating species richness of grassland invertebrates. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 37, n. 5, p. 884-893, Oct. 2000.

MANUSCRITO 1

**A BUSCA POR MÉTODOS EFICIENTES NA AMOSTRAGEM DA
FAUNA SUBTERRÂNEA**

Running title: Comparação dos métodos de coleta em cavernas

Manuscrito redigido conforme as normas da revista científica “Methods in Ecology and Evolution”, ISSN 2041-210X (versão preliminar).

INTRODUÇÃO

A riqueza de espécies é a variável ambiental mais comum para descrever a diversidade e constitui a base de muitos modelos ecológicos sobre estrutura de comunidades (MacArthur & Wilson 1967; May 1988; Gotelli & Colwell 2001). Além disto, decisões em biologia da conservação, como a definição de áreas prioritárias, são fortemente influenciadas pelo número de espécies presentes em uma área (Myers et al. 2000; Culver & Sket 2000). Entretanto, a riqueza registrada de um determinado local pode variar conforme os métodos de coleta utilizados (Churchill & Arthur 1999; Delabie *et al.* 2000; Pritt & Frimpong 2014), podendo levar a estimativas subestimadas da riqueza. Assim, estudos comparando diferentes técnicas de amostragem têm sido realizados em diferentes ecossistemas, como pradarias (Standen 2000), florestas (Sabu *et al.* 2010) e riachos (Pritt & Frimpong 2014) no intuito de quantificar corretamente a fauna presente nestes locais. Para o ambiente subterrâneo, Culver e colaboradores (2004) questionaram se a riqueza de espécies observada pode ser um artefato de diferenças no esforço amostral. Porém, até o momento, apesar da importância do tema para o conhecimento e conservação destes ambientes, nenhum trabalho de comparação de métodos foi realizado em cavernas.

As cavernas geralmente ocorrem em rochas carbonáticas, que são mais solúveis, mas também podem ser encontradas em outras litologias como quartzitos, dolomitos e rochas ferruginosas (Ginés & Ginés 1992; Gillieson 1998; Ford 2007). O ambiente cavernícola apresenta características peculiares, como a ausência permanente de luz e a tendência à estabilidade das condições ambientais (ex. temperatura e umidade) (Culver 1982). Estas condições promovem forte pressão evolutiva sobre as espécies cavernícolas, que podem levar os organismos restritos a estes ambientes a uma série de modificações evolutivas de caráter morfológico, fisiológico e comportamental (Culver 1982;

Holsinger 1988; Holsinger & Culver 1988; Culver & Pipan 2009). Assim, apesar da fauna subterrânea cobrir uma vasta variedade de grupos, estes apresentam variados níveis de dependência em relação ao habitat subterrâneo, existindo desde de espécies totalmente dependentes da caverna até espécies oportunistas ou acidentais (Culver & Wilkens 2000).

Apesar da singularidade e presença de espécies exclusivas destes ambiente, a conservação e o manejo de cavernas dependem de um conhecimento mais amplo, muitas vezes referente à toda a comunidade presente em uma dada caverna (Sharratt *et al.* 2000; Souza-Silva 2011a). Tal conhecimento, no entanto, é escasso ou inexistente para a maioria das cavernas, já que, historicamente, foi dada maior atenção às espécies exclusivamente cavernícolas. Agravando esta situação, destaca-se a ampla problemática no tocante aos critérios e técnicas a serem utilizados para acessar, de forma confiável, a composição e a estrutura das comunidades subterrâneas no espaço e no tempo. Ferreira (2005) ressaltou que as diferentes metodologias empregadas nos poucos estudos sobre ecologia de comunidades cavernícolas dificultam a comparação e impedem a identificação de padrões gerais de estruturação de comunidades subterrâneas.

O uso de diferentes métodos de coleta de invertebrados em cavidades é um dos principais tópicos de discussão em ecologia subterrânea na atualidade (Culver *et al.* 2004; Trajano *et al.* 2012; Culver *et al.* 2013; Halse & Pearson 2014). A ausência de um consenso ocorre em função de discordâncias em relação à real efetividade de cada método para acessar a diversidade subterrânea (Hunt & Millar 2001). Como resultado, técnicas distintas são utilizadas por diferentes grupos de pesquisa para amostrar ou realizar o censo do ambiente subterrâneo (Sharratt *et al.* 2000, Lewis *et al.* 2003, Schneider & Culver 2004, Ferreira 2005, Moseley 2007, Sendra & Reboleira 2012, Niemiller & Ziegler 2013, Lunghi *et al.* 2014), o que dificulta a comparação ou sobreposição das informações para avaliações em escalas mais amplas. Além disso, muitos

métodos são utilizados devido a influência de uma “tradição de coleta” de um dado grupo de pesquisa ou são definidos pela experiência de cada pesquisador. No entanto, em quase todos os casos, tais escolhas não são baseadas em comparações ou testes de eficiência de amostragens, o que certamente compromete a representatividade da riqueza de espécies do ambiente subterrâneo.

Considerando a diversidade presente nas cavernas e a ausência de informações a respeito das técnicas utilizadas para acessá-la, com o presente estudo comparou-se a eficiência dos métodos de coleta mais comumente utilizados em cavernas em amostrar a riqueza de espécies destes ambientes. Ademais, avaliou-se se a composição das espécies difere entre as técnicas de amostragem. Para os métodos de captura ativa, testamos se há influência da diversidade dos substratos ou experiência do coletor no número de espécies amostradas. Ainda aferiu-se quais estimadores de riqueza são indicados para cada método de coleta manual. A abordagem utilizada neste trabalho também permitiu avaliar a eficiência da coleta por amostragem aleatória em diferentes percentuais da área em cada caverna.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido em nove cavernas, sendo três em cada uma das litologias: quartzito, calcário e minério de ferro (Tabela 1). Todas as cavidades estão inseridas no domínio da Mata Atlântica, no estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). No intuito de evitar grande impacto sobre as populações da fauna subterrânea pela sobreposição de métodos, as coletas foram realizadas apenas na estação chuvosa, pois a riqueza de espécies em cavernas geralmente é maior neste período (Sharrat *et al.* 2000).

Tabela 1. Lista de todas as cavernas estudadas. A localização está em UTM (E, N, Z) e é informado a litologia, projeção horizontal em metros (PH), área estimada em metros quadrados (ÁREA EST.), número de quadrantes (Nº DE QUAD.) e data de coleta para cada caverna.

CAVERNA	MUNICÍPIO	LITOLOGIA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			PH (m)	ÁREA EST. (m ²)	Nº DE QUAD.	DATA DE COLETA
			E	N	Z				
Gruta do Lobo	Luminárias	Quartzito	519836	7617734	23	122,00	398,25	177	05 e 06/03/2013
Gruta do Campo I	Luminárias	Quartzito	520333	7618185	23	60,60	261,00	116	08/03/2013
Gruta do Campo III	Luminárias	Quartzito	520243	7618156	23	25,00	83,25	37	07/03/2013
Gruta do Mamute	Pains	Calcário	429612	7743143	23	90,00	153,00	68	28/03/2013
Gruta dos Macacos I	Pains	Calcário	429828	7743267	23	56,00	137,25	61	29/03/2013
Gruta do Carlinhos	Pains	Calcário	429739	7743832	23	40,00	67,50	30	30/03/2013
Gruta das Clarabóias	Santa Bárbara	Minério de Ferro	640345	7775728	23	27,99	58,50	26	03/05/2013
Gruta dos Morgan	Santa Bárbara	Minério de Ferro	641230	7774921	23	25,59	56,25	25	02/05/2013
Gruta do Morro Redondo	Santa Bárbara	Minério de Ferro	640238	7774417	23	38,24	105,75	47	01/05/2013

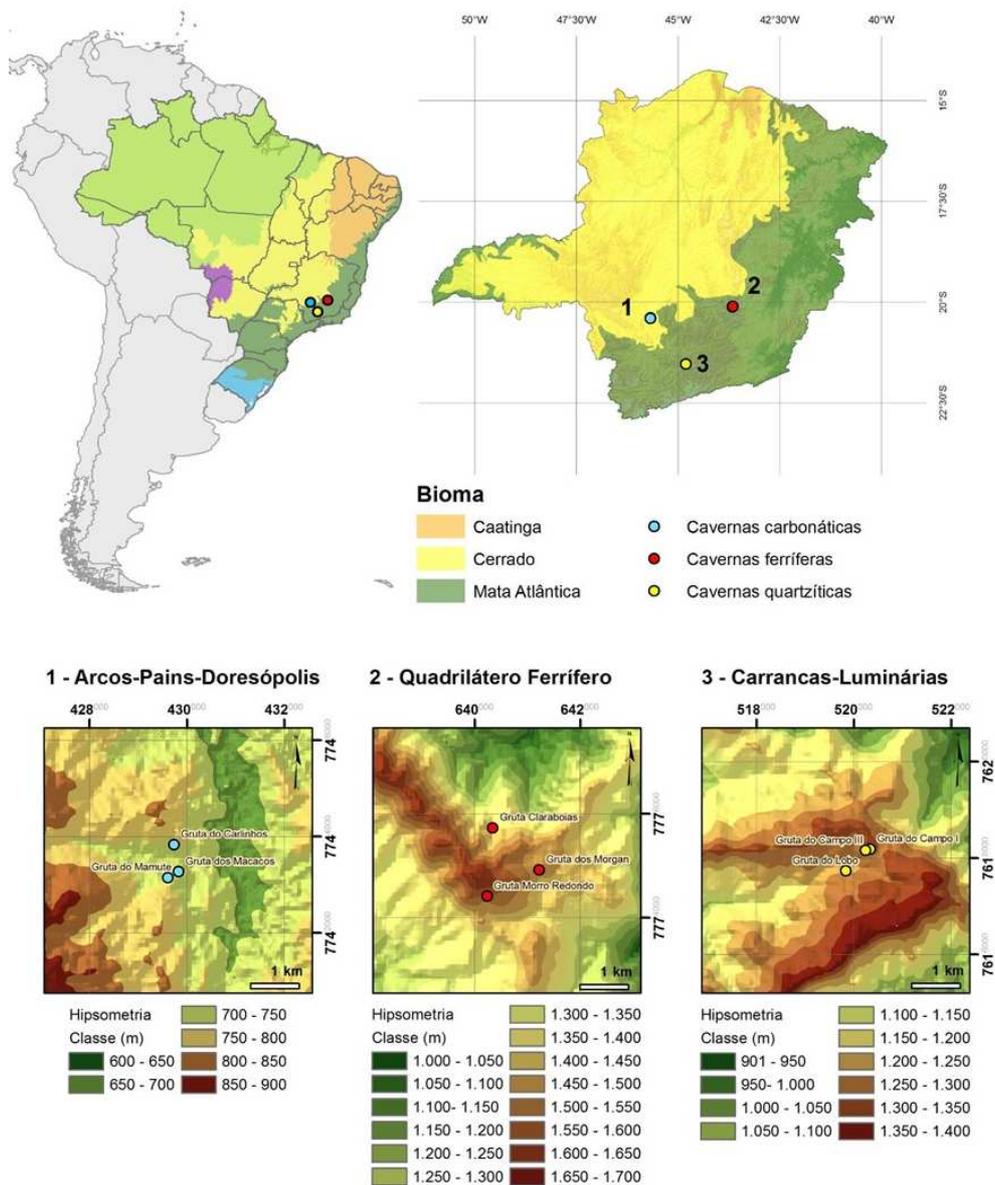


Figura 1. Mapa dos biomas brasileiros com localização das cavernas amostradas de acordo com a litologia.

Métodos avaliados

Captura ativa

Coleta manual por plotagem de espécimes (Ferreira 2004) (F.04)

Este método é caracterizado pela procura detalhada em diferentes micro-habitats, no intuito de determinar a composição da fauna nas cavernas. As espécies têm suas abundâncias estimadas por meio de contagem dos organismos em campo, com anotação do seu local de captura em um croqui da caverna (Ferreira 2004). Esta metodologia visa diminuir o impacto promovido pela coleta, limitando a amostragem de espécimes que sejam considerados de uma mesma espécie. Este método não é limitado pelo tempo ou área amostral, de modo que a coleta é finalizada quando o coletor julgar que todos os espécimes presentes foram amostrados e contabilizados. Esta técnica de coleta manual vem sendo utilizada em trabalhos referentes à ecologia de comunidades no Brasil (Prous *et al.* 2004; Souza-Silva *et al.* 2011a,b; Pellegrini & Ferreira 2012a), têm revelado um elevado número de novas espécies cavernícolas (ex. Brescovit *et al.* 2012, Iniesta *et al.* 2012, Ratton *et al.* 2012, Souza & Ferreira 2012, Lienhard & Ferreira 2013, Souza & Ferreira 2013, Hoch & Ferreira 2013, Santos *et al.* 2013, Lienhard & Ferreira 2014, Bernardi *et al.* 2014) e produzido importantes descobertas para a ciência evolutiva (Yoshizawa *et al.* 2014).

Coleta Manual por Tempo/m² (T1, T2 e T3)

Este método é caracterizado pela busca por invertebrados na maior diversidade possível de ambientes encontrados no interior da cavidade, utilizando-se, para isto, de intervalos de tempo padronizados por unidades de área (Lunghi *et al.* 2014). A área total da caverna é inventariada, sendo que o esforço de coleta depende da dimensão da cavidade e da diversidade dos substratos encontrados (Zeppelini-Filho *et al.* 2003; Andrade 2010). Muitos estudos consideram tempo limite para a amostragem mas não relacionam este com a extensão da cavidade (Ashmole & Ashmole 1997; Schneider & Culver

2004; Sendra & Reboleira 2012). Neste método, indivíduos similares que apresentam alta abundância não são exaustivamente amostrados. No presente estudo, com intuito de avaliar a riqueza de espécies encontradas em cada período de tempo, foram utilizadas três categorias: 30s/m², 60s/m² e 90s/m², ajustadas para os quadrantes de 2,25 m², denominadas T1, T2 e T3 respectivamente.

Coleta Manual por Exaustão (EXT)

Por meio deste método realizou-se uma varredura detalhada por toda a área da cavidade, independentemente do tipo de substrato e sem quaisquer limitações de tempo de coleta. Durante a amostragem, foram capturados todos os indivíduos avistados, evitando a prévia classificação morfológica realizada pelos coletores nos demais métodos de coleta manual. Este método permitiu aferir a eficiência dos demais métodos de coleta manual ao amostrar espécimes que não foram considerados em outros métodos, seja pela busca pormenorizada ou por terem sido considerados similares aos que já haviam sido coletados.

Captura passiva

Extrator de Winkler

Para este método, foram retiradas amostras de serrapilheira das cavernas no intuito de amostrar a fauna presente neste tipo de substrato. As amostras foram agitadas por meio de peneiras antes da inserção nos extratores, para desalojar a fauna e remover o excesso de material amostrado (Figura 2A). Após a peneiração, cada amostra foi colocada dentro de um saco de tecido de malha grossa e levada a um extrator mini-Winkler (Fisher 1999) por um período de 72 horas. O material filtrado pelo extrator foi mantido em recipientes com álcool 70%.

Armadilhas de queda (Pitfall)

Este método consistiu em um recipiente plástico (6 cm de diâmetro, 8 cm de profundidade) enterrado no solo até a borda, contendo, em parte, álcool 70%. Em cada armadilha havia uma isca (fígado) como atrativo para aumentar a

eficiência de captura (Figura 2B). O tempo de amostragem para este método foi 72 horas contínuas, evitando possível viés na captura decorrente de variação temporal da atividade da fauna (Mommertz *et al.* 1996.).

Procedimentos

Coleta e identificação dos taxa

Cada cavidade teve sua área dividida em quadrantes de 1,5m x 1,5m (2,25m²) onde as metodologias de captura ativa foram avaliadas (Figura 2C, D). Para a realização do experimento, cada quadrante teve sua fauna amostrada pelos métodos de captura ativa. O procedimento de coleta por quadrante ocorreu em equipes compostas por um coletor e um responsável por delimitar o tempo de coleta com o auxílio de um cronômetro (Figura 2E).

Embora os métodos de coleta manual por plotagem de espécimes (F.04) e de amostragem por tempo/m² sejam distintos quanto à limitação temporal na busca por invertebrados, ambos apresentam características operacionais semelhantes, priorizando a coleta em locais potenciais para a ocorrência da fauna. Desta forma, assumindo que estes métodos se diferem basicamente pela limitação temporal, a coleta nos quadrantes procedeu da seguinte maneira: o coletor iniciou sua coleta pela metodologia de plotagem de espécimes e também de tempo/m², com o responsável pelo cronômetro atento ao término das categorias de tempo (T1, T2 e T3). Ao atingir o período limite da primeira categoria de tempo (T1), o recipiente de coleta foi substituído e entregue pelo coletor ao responsável por delimitar o tempo, assim obteve-se os dados da composição e riqueza de espécies neste primeiro tempo de coleta. O mesmo procedimento foi realizado para as demais categorias temporais, com um novo recipiente para coleta a cada intervalo de tempo.

A riqueza e composição de espécies em cada categoria de tempo foi representada pela soma das categorias anteriores. Para T1, foram avaliadas as espécies encontradas durante esta primeira categoria. Em T2, consideramos os

espécimes encontradas durante esta categoria, acrescidas do total de espécimes encontrado em T1. Em T3, foram considerados os indivíduos encontradas durante este período de tempo e os encontrados nas categorias T1 e T2.



Figura 2. Representação do procedimento de coleta: A) Processo de peneiramento da serapilheira para no extrator de Winkler; B) Armadilha de queda com isca instalada no piso de uma cavidade; C) Delimitação dos quadrantes de coleta sobre o piso da Gruta do Mamute; D) Quadrante dispostos sobre o piso da Gruta dos Morgan; E) Procedimento de coleta em duplas nos quadrantes: um coletor e o responsável por delimitar o tempo de coleta com o auxílio de um cronômetro.

Como no método por plotagem de espécimes não há limitação temporal, este ocorreu ininterruptamente até o momento em que o coletor julgou que a amostragem foi suficiente. Assim, o término da coleta por este método incidiu em momento distintos, seja durante alguma categoria de tempo ou após a finalização destas. Desta forma, a riqueza e composição de espécies encontrada neste método foi o somatório da riqueza encontrada nas categorias de tempo finalizadas anteriormente e acrescidas da riqueza encontrada até o término do método por plotagem de espécimes. Por exemplo, em uma situação em que este método foi finalizado entre as categorias de tempo T2 e T3, os espécimes considerados para este método corresponderam ao somatório das categorias de tempo T1 e T2, acrescidas ainda dos indivíduos encontrados no intervalo de coleta entre T2 e T3 no qual o método por plotagem de espécimes ainda estava sendo realizado.

A coleta manual por exaustão iniciou apenas após o término dos demais métodos de captura ativa. Desta forma, as espécies amostradas por exaustão foram representadas pelo somatório encontrado pelos demais métodos acrescida ainda dos indivíduos coletados durante o período da coleta exaustiva.

Os métodos de captura passiva foram utilizados para avaliar a fauna da cavidade como um todo, de forma que tais armadilhas não foram instaladas e extraídas em todos os quadrantes. Para a coleta de amostras para o extrator de Winkler, foram selecionados locais que apresentaram grande quantidade de serrapilheira e matéria orgânica, quando presentes (Figura 3). Nas cavidades onde não foram encontradas depósitos de matéria orgânica vegetal este método não foi empregado (Gruta do Mamute, Gruta dos Macacos I e Gruta dos Morgan). As armadilhas de queda (*pitfall*) foram instaladas em locais distantes das zonas de entrada das cavidades, evitando a coleta de espécies da comunidade epígea. O número de *pitfalls* foi proporcional à dimensão de cada cavidade, sendo instalado um a cada 15m, aproximadamente. Priorizamos a instalação em

locais onde a coleta manual fosse inacessível e/ou ineficiente, como regiões com grandes blocos abatidos que dificultam a coleta.

Adicionalmente aos métodos utilizados, a área do piso das cavidades que não pôde ser amostrada em quadrantes, teve sua fauna coletada pelo método de exaustão (Figura 3). Estes espaços foram definidos como Área Fora do Quadrante (AFQ). O mesmo ocorreu para paredes e teto (PAR/TET). Esta prática permitiu avaliar a fauna não observada dentro dos quadrantes e o quanto esta contribui para a riqueza, composição e abundância total da caverna.

Em relação aos vertebrados, a ocorrência foi registrada por meio de imagens fotográficas e anotações em planilha de campo, não sendo realizada a coleta de espécimes.

Todos os organismos coletados foram fixados em álcool 70% e transportados para o laboratório, onde foram identificados até o menor nível taxonômico possível, separados em morfoespécies e encaminhados para especialistas. A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada por meio da identificação, nos espécimes, de características morfológicas denominadas “troglomorfismos” (p.e. redução das estruturas oculares, alongamento de apêndices, dentre outras). Tais características utilizadas foram avaliadas por táxon, com o auxílio dos especialistas/taxonomistas.

Em relação aos vertebrados, quando não possível a identificação em campo, as imagens foram separadas e comparada às identificações presentes em materiais bibliográficos especializados. Quando necessário, especialistas foram consultados.

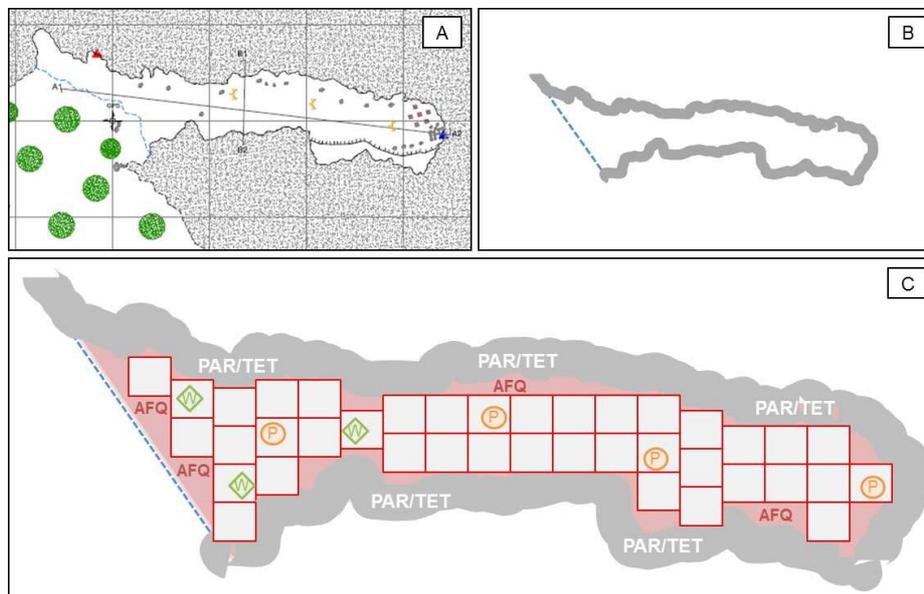


Figura 3. Aplicação dos métodos avaliados em uma cavidade fictícia. A) Planta baixa da cavidade fictícia; B) Perímetro previsto para a cavidade. A barra azul indica a linha d'água desta cavidade, onde fecha o primeiro plano horizontal; C) Disposição dos quadrantes (1,5mx1,5m) no interior da cavidade, onde foram aplicados os métodos de coleta manual. Os métodos de captura passiva são representados pelos extratores de Winkler (W, losango em verde) e armadilhas de queda (P, círculos em laranja). As demais áreas não contempladas pelos quadrantes também foram amostradas: paredes e tetos (PAR/TET) e a área fora dos quadrantes (AFQ).

Para a avaliação dos substratos orgânicos e inorgânicos presentes em cada unidade amostral, subdividimos cada quadrante em 100 células de 0,15m x 0,15m (Figura 4). Em cada célula foi avaliado o substrato predominante, tendo sido contabilizados o número de células que representava cada substrato em cada quadrante. Os dados obtidos foram utilizados para calcular a diversidade de substratos, por meio do índice de Shannon (Magurram 2004), para cada unidade amostral. O mesmo procedimento foi utilizado para avaliar a diversidade de substrato na caverna como um todo, somando-se todas as células presentes na cavidade.

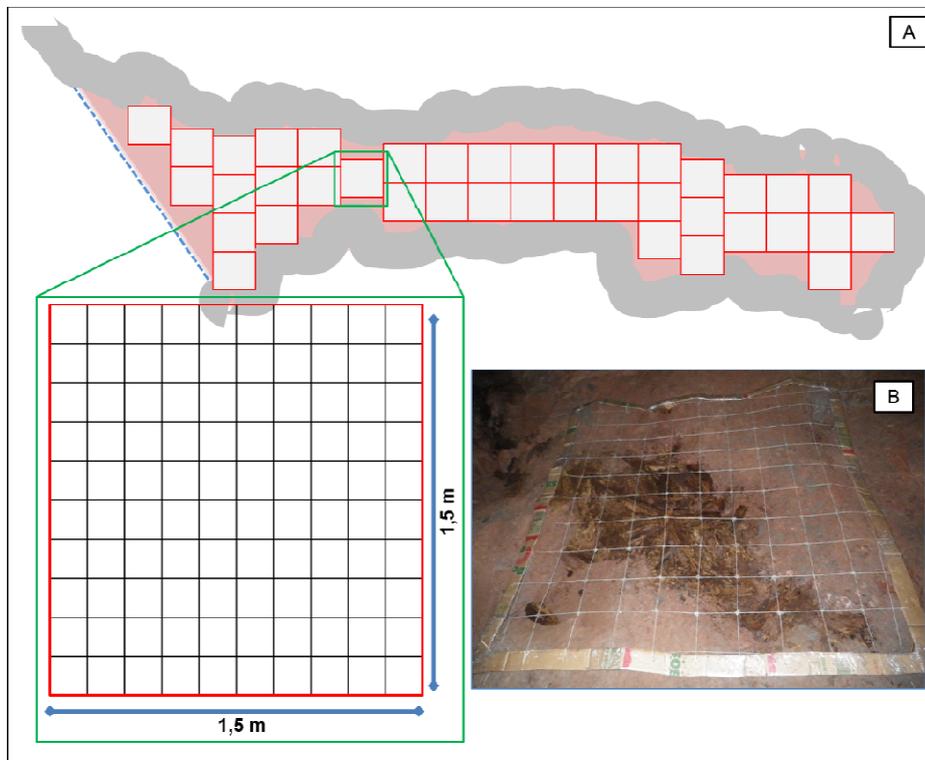


Figura 4. Aspecto geral dos quadrantes distribuídos no interior da cavidade. A) No detalhe, as células (0,15mx0,15m) presentes em cada quadrante para a determinação da diversidade de substratos; B) Procedimento de avaliação dos substratos presentes.

Análise dos dados

A riqueza de espécies foi obtida por meio do somatório do total de espécies encontradas em cada um dos métodos, litologias e em cada caverna. Para avaliar se houve diferença entre o número de espécies encontrado em cada método de captura ativa, para cada caverna amostrada, utilizou-se o teste estatístico Kruskal-Wallis. Quando houve diferença significativa, realizou-se o teste de Tukey no intuito de determinar as diferenças entre os pares. Adicionalmente, para compararmos apenas os métodos de busca ativa que são

frequentemente utilizados em inventários da fauna subterrânea, excluimos a coleta por exaustão das análises.

Uma vez que o método de coleta por exaustão permitiu a captura de todos os espécimes observados durante a coleta, os valores de riqueza obtidos neste método foram considerados o nível máximo que poderia ser alcançado para cada cavidade. Desta forma, a eficiência de cada método de captura ativa foi avaliada pelo percentual de espécies encontradas nos métodos em relação ao verificado na coleta por exaustão.

Adicionalmente aos métodos avaliados, pudemos aferir se a coleta pela aleatorização de quadrantes amostrais em cavernas é eficiente para representar a riqueza de espécies da fauna subterrânea. Para tanto, utilizamos a curva de acumulação de espécies de Mao Tau, calculada por quadrante nas cavidades amostradas (Colwell 2006). Este cálculo permitiu estimar o número de espécies observadas com o acréscimo de quadrantes. Posteriormente, observou-se os valores de riqueza estimados na curva para os diferentes métodos de captura ativa em 10%, 30%, 50% e 70% dos quadrantes de cada caverna. Para demonstração gráfica, os valores encontrados em cada caverna foram agrupados por litologia, sendo calculada a riqueza média e o desvio padrão para os métodos nas diferentes categorias percentuais de quadrantes. Para o cálculo da acumulação de espécies, a ordenação dos quadrantes foi aleatorizada 100 vezes.

A eficiência dos métodos de captura passiva foi avaliada por meio do percentual de espécies encontrado nestes métodos em relação à riqueza total (somatório de todos os métodos) observada em cada cavidade.

Por meio da regressão linear avaliamos se o aumento na diversidade de substratos promove o aumento no número de espécies encontradas pelos métodos de captura ativa. Para avaliação geral desta relação, as cavernas foram utilizadas como unidades amostrais. Por meio dos quadrantes, também

avaliamos em cada caverna se a diversidade de substratos influenciou no número de espécies amostradas.

Para a obtenção da relação de similaridade quantitativa entre os métodos de captura ativa e passiva, foi utilizado um escalonamento multidimensional não-métrico (n-MDS), construído com base na composição quantitativa da fauna de invertebrados, usando o índice de Bray-Curtis (Magurran 2004). Uma vez que o índice de Bray-Curtis considera a abundância de espécies, para as categorias de tempo e coleta por exaustão, foram considerados apenas os espécimes capturados. Para o método por plotagem de espécimes foram considerados os valores anotados no croqui da cavidade, conforme previsto nesta metodologia.

A regressão linear também foi utilizada para verificar se a experiência do coletor tem alguma influência no número de espécies encontradas nos métodos de captura ativa. O nível de experiência foi definido pelo tempo (em anos) em que o coletor participa de coletas em cavernas.

Além do total de espécies coletadas, foi estimada a riqueza para os métodos de captura ativa. As estimativas foram calculadas utilizando sete estimadores de riqueza não-paramétricos considerados eficientes para estimar a riqueza de espécies de uma área: ACE, ICE, Chao 1, Chao 2, Jacknife 1, Jacknife 2, Bootstrap e Michaelis-Menten (Chao & Lee 1992; Magurran 2004). Nesta análise, o número de espécies encontradas no método de coleta por exaustão foi considerado como controle na avaliação dos estimadores de riqueza. Assim, o estimador de riqueza mais adequado a cada método de coleta foi definido por meio da estimativa média da riqueza encontrado pela coleta por exaustão. Para esta análise, dividimos a riqueza estimada de cada estimador pelo número de espécies encontrados na coleta por exaustão em cada caverna. Calculamos o valor médio de cada estimador considerando todas as cavidades estudadas. Quanto mais próximo a 1, melhor o estimador. Utilizou-se o teste

estatístico Kruskal-Wallis para avaliar se houve diferença entre todos estimadores. Quando alguma diferença foi observada, o teste de Tukey foi realizado por pares de estimadores, indicando as diferenças entre eles. Gráficos do tipo box-plot foram realizados para demonstrar os resultados encontrados para cada método.

Para o cálculo da curva de acumulação de espécies e estimadores de riqueza utilizamos o software EstimateS 9.1 (Colwell 2006). O índice de diversidade de Shannon foi calculado no software PAST (Hammer *et al.* 2001). O software Primer 6 foi utilizado para a realização do escalonamento multidimensional (MDS) (Clarke & Gorley 2006). As análises estatísticas e gráficos foram realizadas no programa Statistica 10 (Statsoft, Inc., www.statsoft.com). Para todos os testes, os resultados foram considerados significativos quando $p < 0.05$.

RESULTADOS

Riqueza geral

Foram coletados 16.889 espécimes de invertebrados, e observados 25 indivíduos de vertebrados, totalizando 705 espécies (Apêndice 1). Apenas duas apresentaram troglomorfismos e foram consideradas troglóbias: *Pseudochthonius* sp1 (Pseudoscorpiones: Chthoniidae) e *Troglobius* sp1 (Collembola: Paronellidae). Avaliando as diferentes litologias amostradas, mais espécies foram observadas cavernas em minério de ferro (412 spp.), seguidas pelas quartzíticas (289 spp.) e calcárias (228 sp.) (Tabela 2). A Gruta Clarabóias apresentou a maior riqueza (263 spp.), seguida pela Gruta Morro Redondo (210 spp.) e Gruta do Lobo (170 spp.), respectivamente. Um total de 338 espécies (47.94% do total) foi exclusivamente amostrado por métodos de captura ativa; 216 espécies (30.64% do total) foram coletadas apenas pela captura passiva e 151 espécies (21.42% do total) foram coletadas em ambos métodos. Dos 587 quadrantes amostrados nas nove cavernas, apenas 73 (12.44%) não apresentaram

nenhum espécime. Os quadrantes apresentaram, em média, 4.49 espécies (± 4.20 spp.). No geral, a coleta manual por exaustão apresentou o maior número de espécies (431 spp.), seguido pelo extrator de Winkler (285 spp.) e o método de coleta manual proposto por plotagem de espécimes (278 spp.).

Tabela 2. Riqueza de espécies amostradas de acordo com os métodos utilizados, por caverna e litologia. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m² nos quadrantes. Lito = Litologias amostradas. F.04 = coleta manual proposta por Ferreira (2004) nos quadrantes. EXT = coleta manual por exaustão nos quadrantes. WKL = extratores de Winkler. PTL = armadilha de queda (*pitfall*). PAR/TET = coleta manual por exaustão nas paredes e tetos das cavidades. AFQ = coleta manual por exaustão nas áreas fora dos quadrantes. TOT = Riqueza total amostrada pelos métodos. GL = Gruta do Lobo. GC1 = Gruta do Campo I. GC3 = Gruta do Campo III. MAM = Gruta do Mamute. MAC1 = Gruta dos Macacos I. CARL = Gruta do Carlinhos. CLAB = Gruta das Clarabóias. MORG = Gruta dos Morgan. MORR = Gruta do Morro Redondo. Quart. = Quartzito. Calc. = Calcário. M.Fer = Minério de Ferro.

		T1	T2	T3	F.04	EXT	WKL	PTL	PAR/TET	AFQ	TOT
Cavernas	GL	43	58	66	73	116	38	19	31	24	170
	GC1	28	43	53	50	86	36	17	22	18	133
	GC3	18	26	32	44	63	37	11	7	22	105
	MAM	16	23	30	22	50	-	21	14	11	71
	MAC1	16	22	31	24	58	-	20	21	42	98
	CARL	19	29	35	39	80	41	22	19	30	145
	CLAB	31	52	62	70	107	166	26	9	29	263
	MORG	18	23	32	38	62	-	14	12	34	94
	MORR	32	46	55	80	124	66	33	7	39	210
Lito	Quart.	66	91	110	121	185	90	32	49	48	289
	Calc.	48	65	84	73	146	41	47	40	68	228
	M.Fer.	60	87	109	140	216	202	52	24	77	412
Geral	148	205	247	278	431	285	105	94	163	705	
(Rank)	(7)	(5)	(4)	(3)	(1)	(2)	(8)	(9)	(6)		

A análise de Kruskal-Wallis demonstrou que, em todas as cavernas, houve diferenças significativas entre os métodos de captura ativa (Figura 5). De acordo com os testes de Tukey, os métodos de captura manual por tempo/m² e o por plotagem de espécimes não foram satisfatórios em amostrar a real riqueza de espécies de cada caverna, uma vez que sempre diferiram da coleta por exaustão, considerada como controle em relação às demais metodologias de captura manual. Comparando apenas os métodos de busca ativa que são frequentemente utilizados em inventários da fauna subterrânea, a categoria de tempo T1 apresentou os menores valores para riqueza de espécies em todas as cavernas. A riqueza amostrada pelo método por plotagem de espécimes é estatisticamente superior aos demais nas cavernas ferruginosas. Apesar de T3 ter exibido mais espécies entre os métodos avaliados na maioria das cavernas calcárias, este método diferiu estatisticamente do método por plotagem de espécimes nesta litologia apenas em uma das cavidades amostradas. Para as cavernas quartzíticas, o método por plotagem de espécimes também apresentou mais espécies, mas apenas em uma cavidade este foi significativamente distinto dos demais métodos.

Eficiência dos métodos

Considerando todos os quadrantes, o método por plotagem de espécimes foi o mais eficiente para amostrar a riqueza de espécies nas cavernas quartzíticas e ferruginosas (63,64% ±4,80% e 63,74% ±1,77%, respectivamente) (Figura 6). Para as cavernas em calcário, a categoria T3 da coleta manual de tempo/m² apresentou o maior índice (52,40% ±6,68%). A categoria T1 foi o método menos eficiente em todas as litologias.

A amostragem pela aleatorização de quadrantes foi mais eficiente quando, nos quadrantes, utilizamos o método de coleta por exaustão (Figura 6). Nesta condição, a partir de 30% dos quadrantes, o número de espécies amostradas se assemelha aos encontrados pelos demais métodos considerando

todos os quadrantes. Entretanto, considerando apenas os métodos de coleta manual por tempo/m² e por plotagem de espécimes, mesmo utilizando 70% dos quadrantes, os percentuais de espécies coletadas ficam abaixo dos 50% e 55% para as categorias da coleta manual por tempo/m² e por plotagem de espécimes, respectivamente. A utilização de baixo percentual de quadrantes (10% e 30%) indicou baixa eficiência na amostragem do número de espécies para as litologias amostradas.

As armadilhas de queda amostraram, em média, 15.57% ($\pm 5.83\%$) das espécies presentes em cada caverna (Tabela 3). Os extratores de Winkler, quando utilizados, coletaram uma média de 34.58% ($\pm 13.36\%$) do total de espécies observadas em cada caverna.

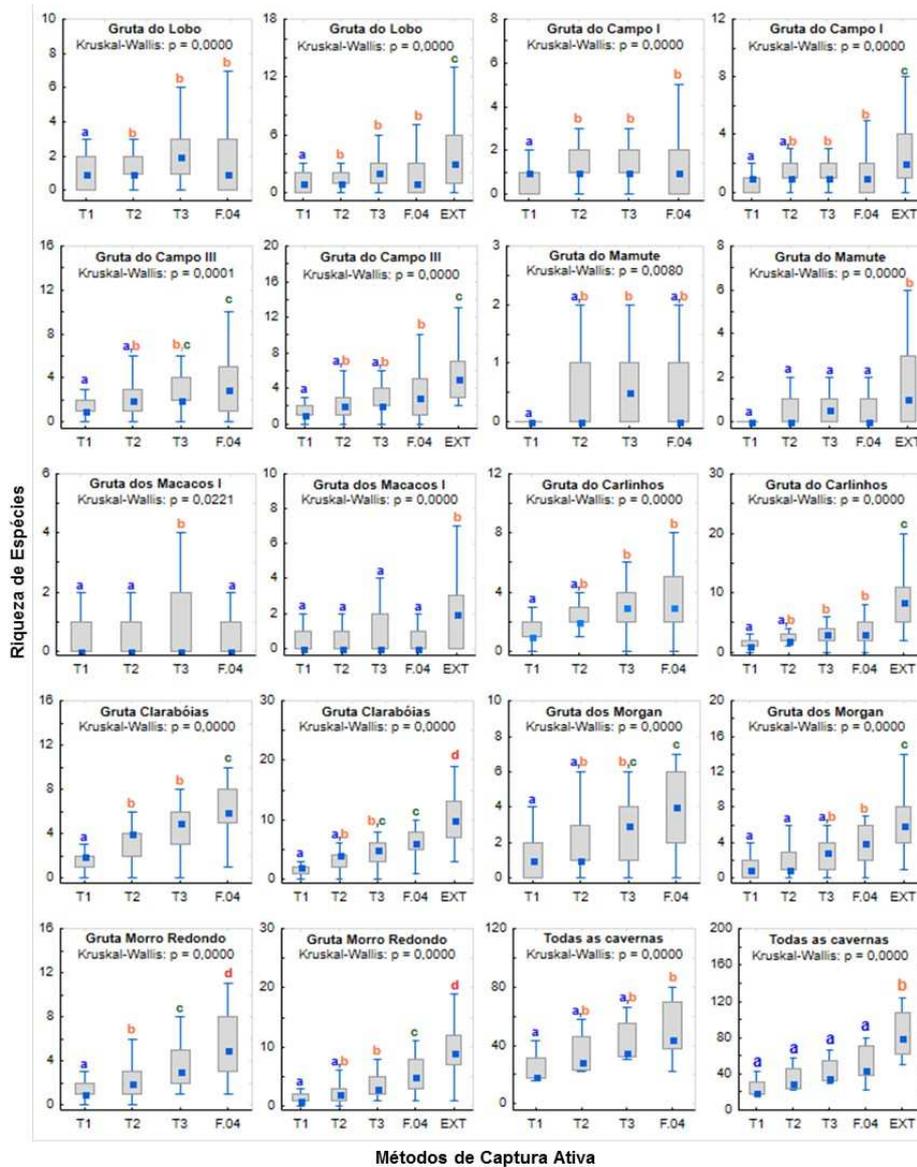


Figura 5. Comparação entre a riqueza de espécies encontradas pelos métodos de coleta manual. Em cada caverna, a comparação foi realizada para todos métodos de captura ativa e considerando apenas os comumente utilizados. A análise de Kruskal-Wallis informa quando houve diferenças entre os métodos. As letras sobre os gráficos indicam as diferenças avaliadas pelo teste de Tukey.

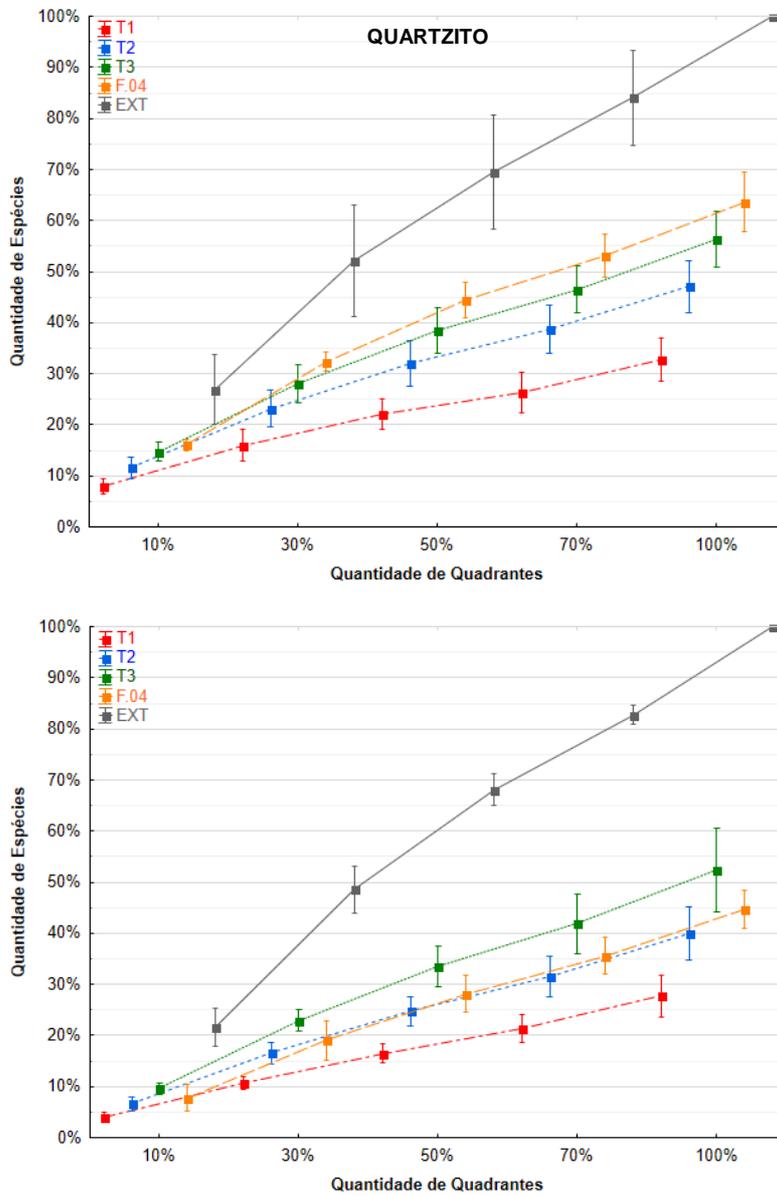
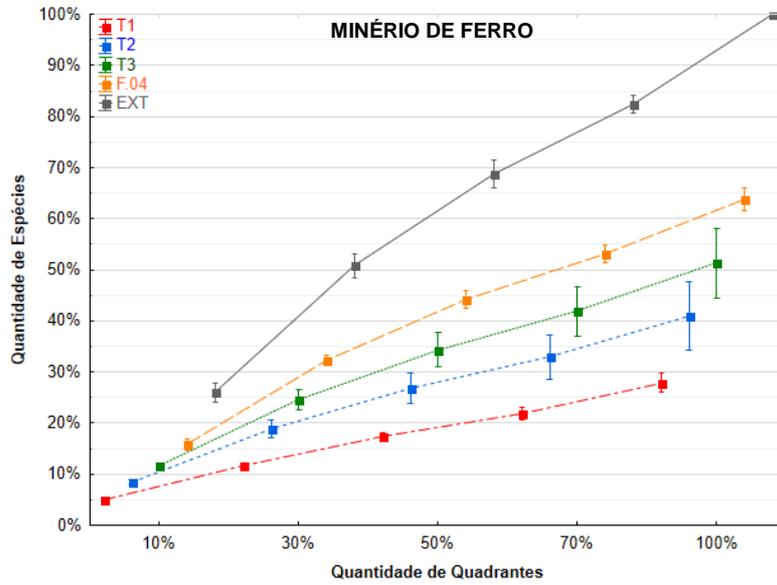


Figura 6. Eficiência dos métodos de coleta manual para diferentes quantidade de quadrantes em cada litologia. A eficiência foi avaliada pelo percentual de espécies encontradas nos métodos em relação ao número total de espécies (amostrado pela coleta por exaustão). Os percentuais de quadrantes indicam a eficiência dos métodos realizando a amostragem por aleatorização das unidades



Cont. Figura 6. Eficiência dos métodos de coleta manual para diferentes quantidade de quadrantes em cada litologia. A eficiência foi avaliada pelo percentual de espécies encontradas nos métodos em relação ao número total de espécies (amostrado pela coleta por exaustão). Os percentuais de quadrantes indicam a eficiência dos métodos realizando a amostragem por aleatorização das unidades amostrais.

Tabela 3. Eficiência dos métodos de captura passiva em cada caverna amostrada. A eficiência foi avaliada pelo percentual entre o número de espécies (S) encontradas nos métodos em relação ao número total de espécies de cada caverna (%TOT).

Métodos	GL		GC1		GC3		MAM		MAC1		CARL		CLAB		MORG		MORR	
	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT	S	%TOT
Winkler	38	22,35	36	27,07	37	35,24	-	-	-	-	41	28,28	166	63,12	-	-	66	31,43
Pitfall	19	11,18	17	12,78	11	10,48	21	29,58	20	20,41	22	15,17	26	9,89	14	14,89	33	15,71
Riqueza Caverna	170		133		105		71		98		145		263		94		210	

Diversidade de substratos

Os substratos observados foram: sedimento compacto, sedimento fino, argila, areia, grânulo, seixo, calhau, matacão, rocha matriz, detritos orgânicos, serrapilheira, tronco, raízes, carcaças, fezes de vertebrados não voadores, guano de morcegos frugívoros, guano de morcegos hematófagos, plantas, água e cupinzeiros.

Entre as cavernas, o aumento da diversidade de substratos promoveu aumento no número de espécies coletadas para a coleta por exaustão (Figura 7). Para os demais métodos, a relação não foi significativa (T1: $p = 0,2124$; T2: $p = 0,1293$; T3 = $0,1426$ e F.04: $p = 0,0585$).

A Gruta do Lobo foi a única caverna onde houve relação significativa entre os métodos de captura manual com a diversidade de substratos presentes nos quadrantes (Figura 8). Além da Gruta do Lobo, a coleta manual por exaustão apresentou mais espécies com o aumento da diversidade de substratos nas cavernas Gruta do Campo I, Gruta dos Macacos I e Gruta Morro Redondo (Figura 9). Para as demais cavernas, as relações não foram significativas.

Composição de espécies e experiência do coletor

A composição de espécies encontradas nos métodos de captura ativa e passiva diferiram em todas as cavernas amostradas (Figura 10). As amostras de Winkler e Pitfall apresentam, portanto, espécies diferentes daquelas amostradas pelos métodos de captura ativa.

A experiência do coletor foi importante para o aumento do número de espécies no método por plotagem de espécimes em três cavernas (Figura 11). Em duas oportunidades, coletores mais experientes aumentaram a riqueza encontrada nas categorias T2 e T3, e na coleta por exaustão. Na Gruta do Lobo, todos os métodos de captura ativa foram influenciados pela experiência dos coletores. Em todas as situações, a relação entre experiência do coletor e riqueza de espécies foram menores para as categorias de tempo/m² inferiores (T1 e T2) e para a coleta por exaustão.

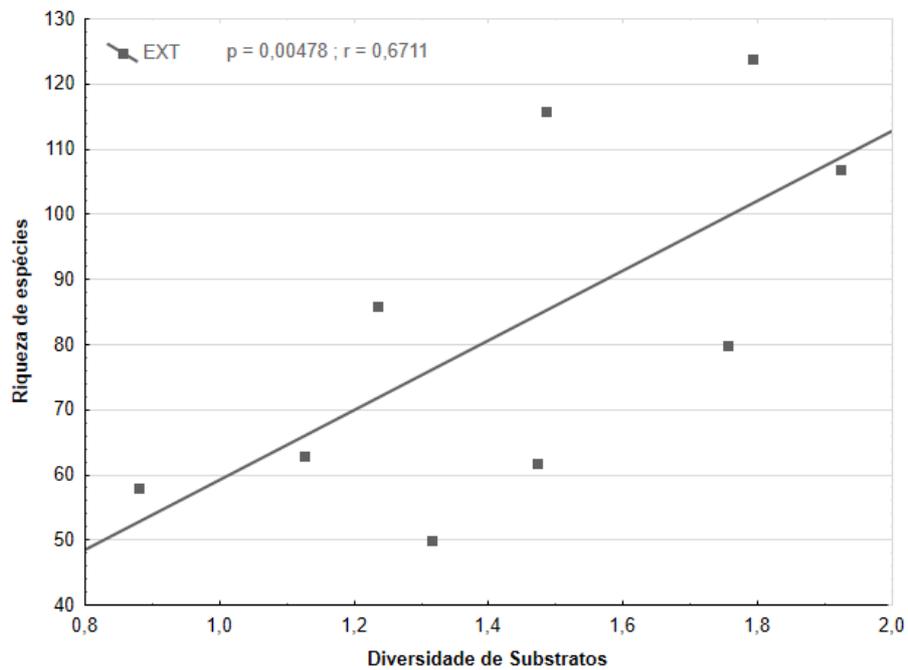


Figura 7. Regressão linear entre a riqueza de espécies da coleta por exaustão e a diversidade de substratos das cavernas amostradas.

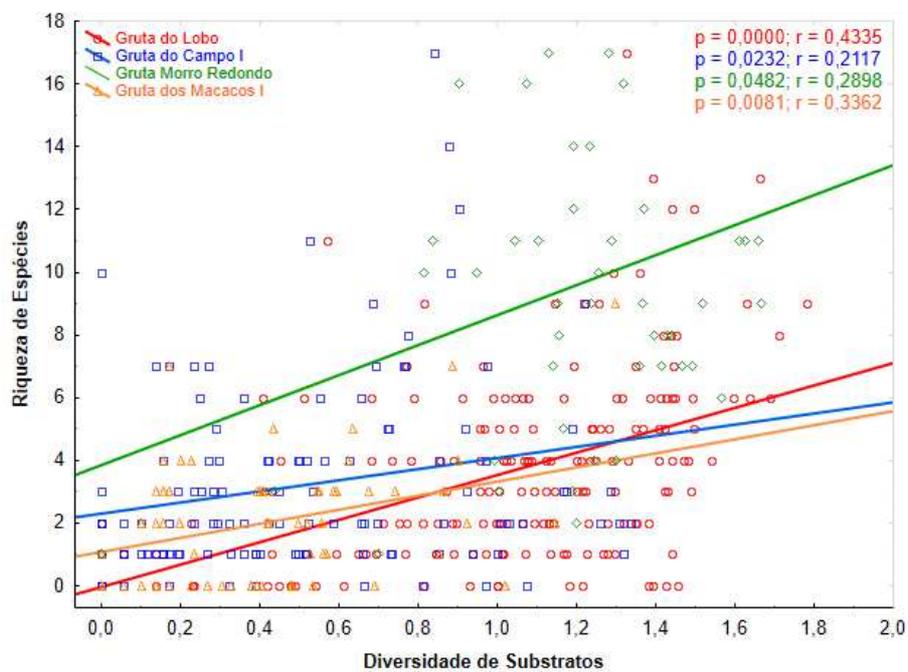


Figura 8. Regressão linear entre a riqueza de espécies da coleta por exaustão e a diversidade de substratos dos quadrantes para cada caverna.

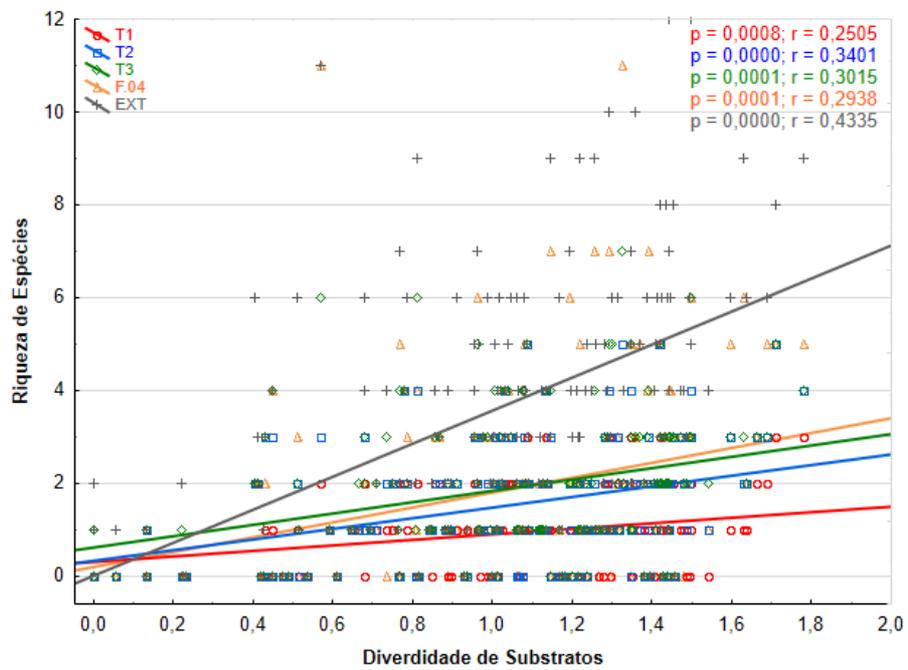


Figura 9. Regressão linear entre a riqueza de espécies dos métodos de captura ativa e a diversidade.

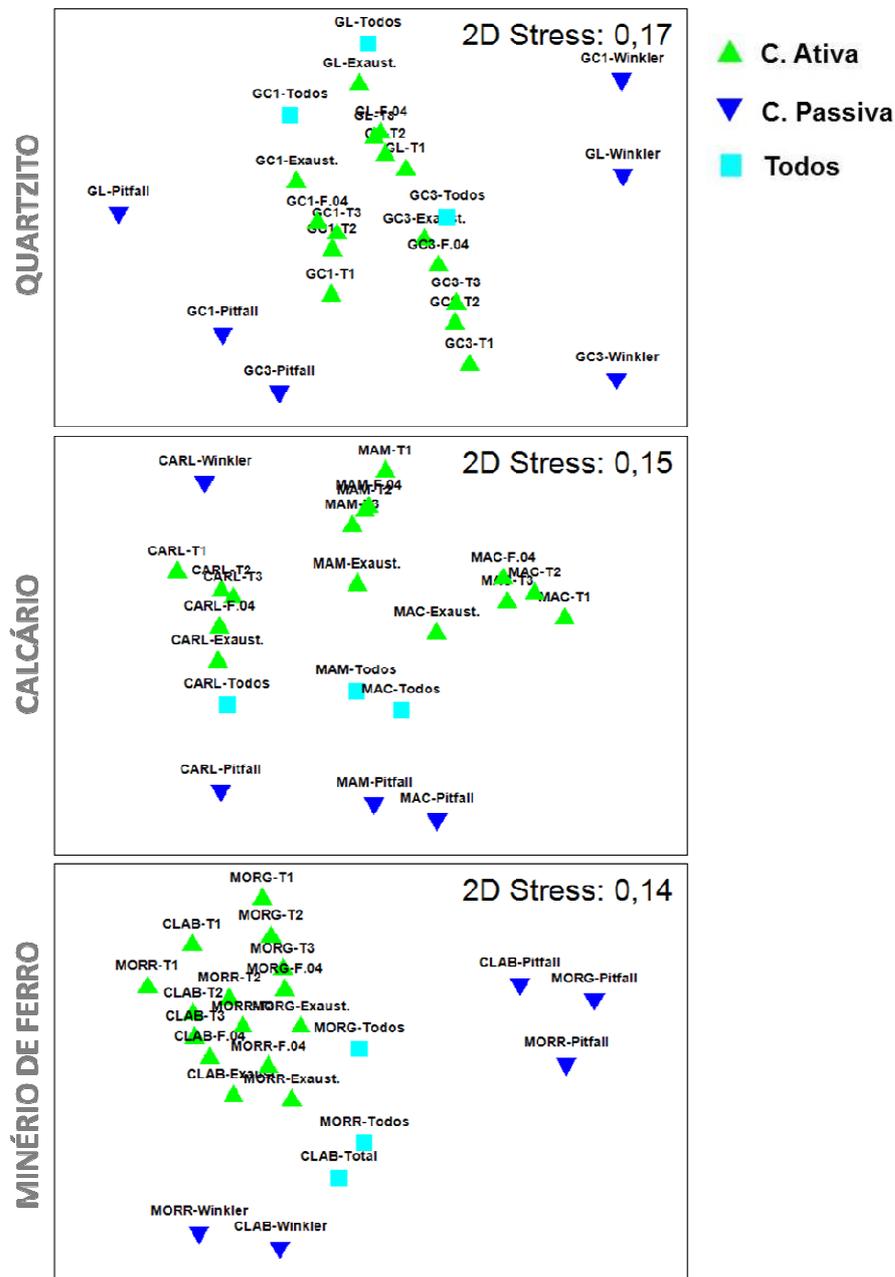


Figura 10. Escalonamento multidimensional (MDS) baseado no índice de similaridade de Bray-Curtis dos métodos de captura ativa (triângulos verdes), passiva (triângulos azuis invertidos) e todos os métodos (quadrados azuis) por cavidade, de acordo com a litologia. Os pontos mais distantes são os que apresentam singularidade dos elementos faunísticos. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão.

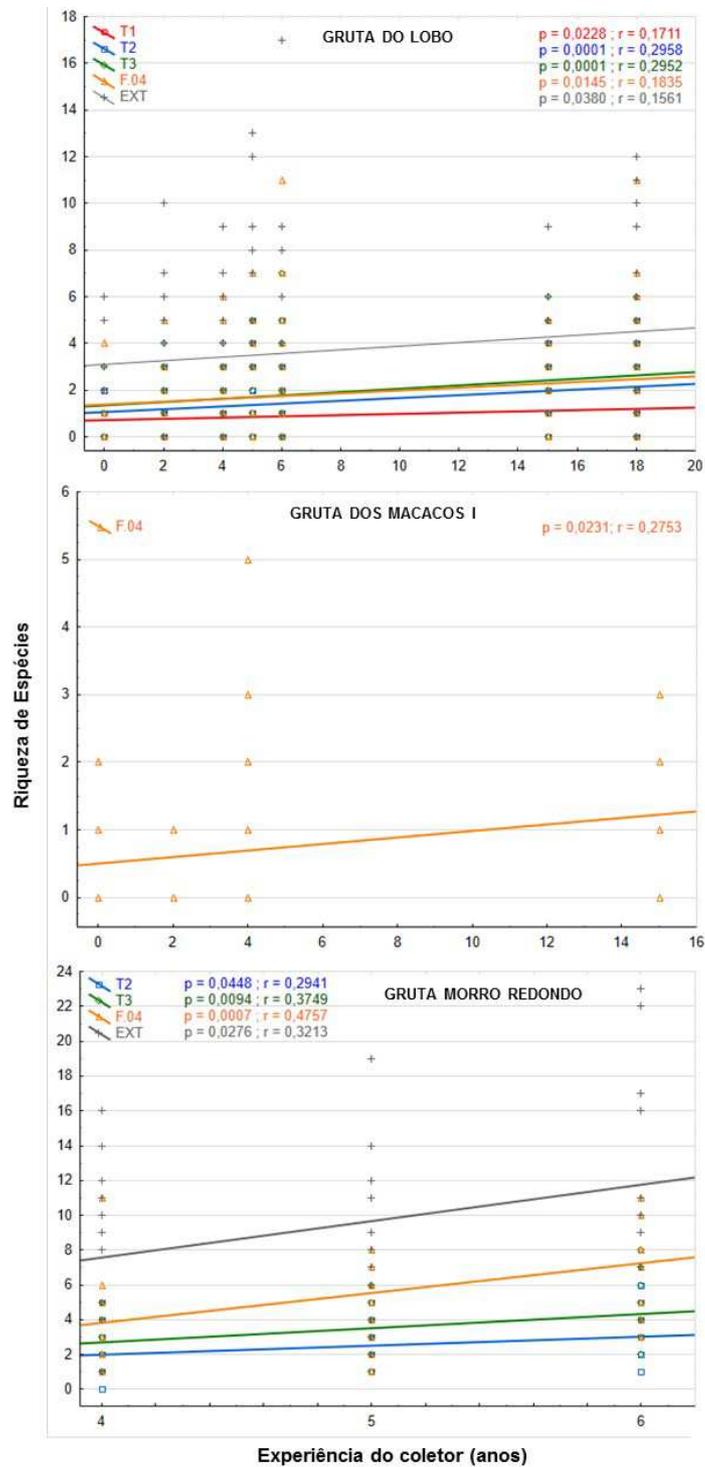


Figura 11. Regressão linear entre a riqueza de espécies dos métodos de captura ativa e a experiência do coletor para três cavernas amostradas.

Estimadores de riqueza

O estimador de riqueza ICE foi o mais apropriado para as categorias T1 e T2 do método de tempo/m² (Figura 10 A,B). Apesar de ser estatisticamente semelhante a outros estimadores, o ICE apresentou médias mais próximas a 1 para as duas categorias e menor variação nos valores estimados nas diferentes cavernas. O estimador Jackknife 2 foi o que melhor estimou a riqueza de espécies para a categoria T3 e para o método por plotagem de espécimes (Figura 11 A,B). Em todos os métodos, muitos estimadores mostraram-se apropriados, não diferindo estatisticamente daqueles que mais aproximaram da riqueza que foi realmente observada em cada cavidade. A única ressalva é quanto à utilização do Bootstrap, que se mostrou ineficiente em estimar a riqueza de espécies em cavernas, subestimando o número de espécies presentes nestes ecossistemas. A amplitude de variação da riqueza estimada pela assíntota de Michaelis-Menten diminui a segurança em utilizá-lo em dados de fauna subterrânea, uma vez que a riqueza prevista pode estar distante da real.

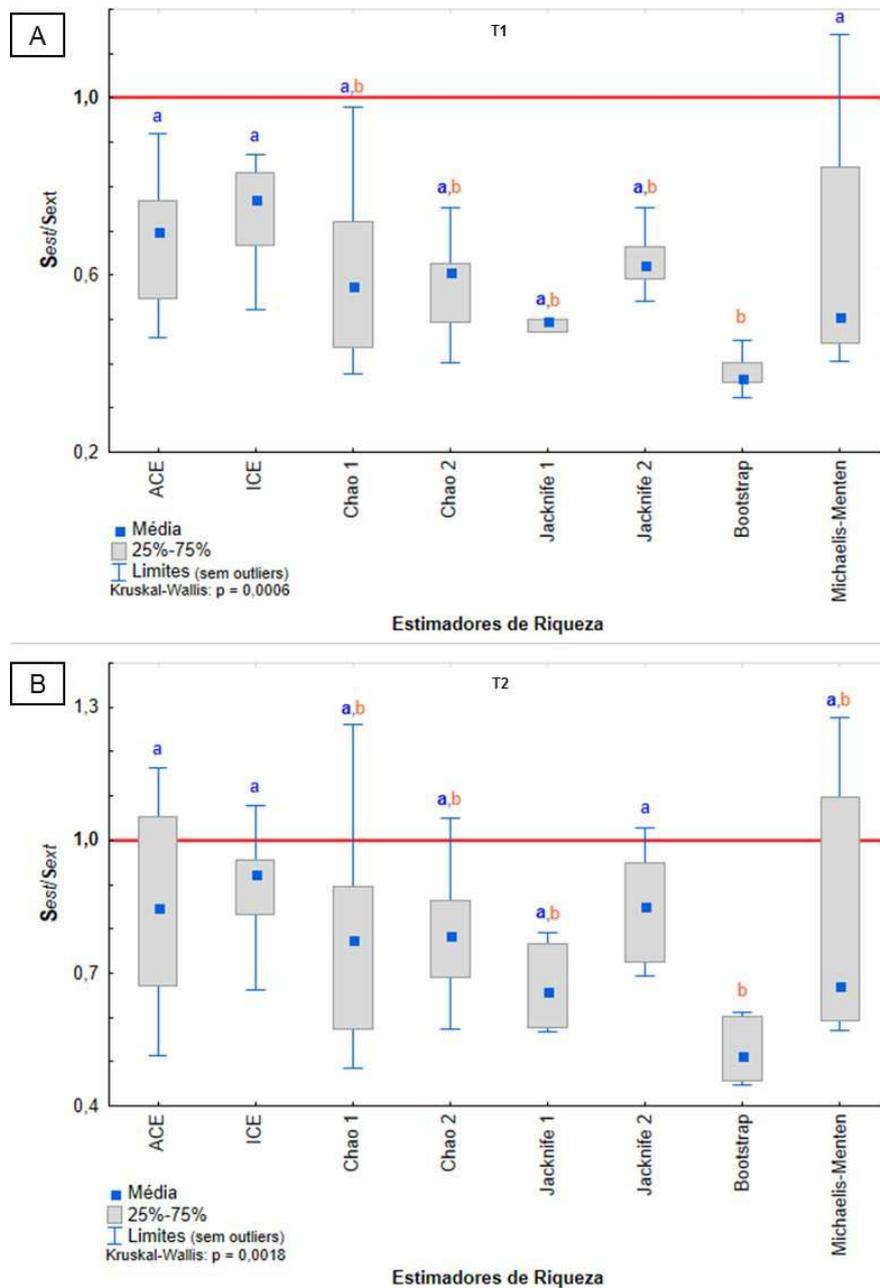


Figura 11. Avaliação dos estimadores de riqueza de acordo com os métodos de coleta manual. A) Categoria T1 do tempo do método de coleta manual/m²; B) Categoria T1 do tempo do método de coleta manual/m². Sest/Sext = relação entre a riqueza estimada e a riqueza total coletada pelo método de exaustão. A análise de Kruskal-Wallis informa quando houve diferenças entre os métodos. As letras sobre os gráficos indicam as diferenças avaliadas pelo teste de Tukey.

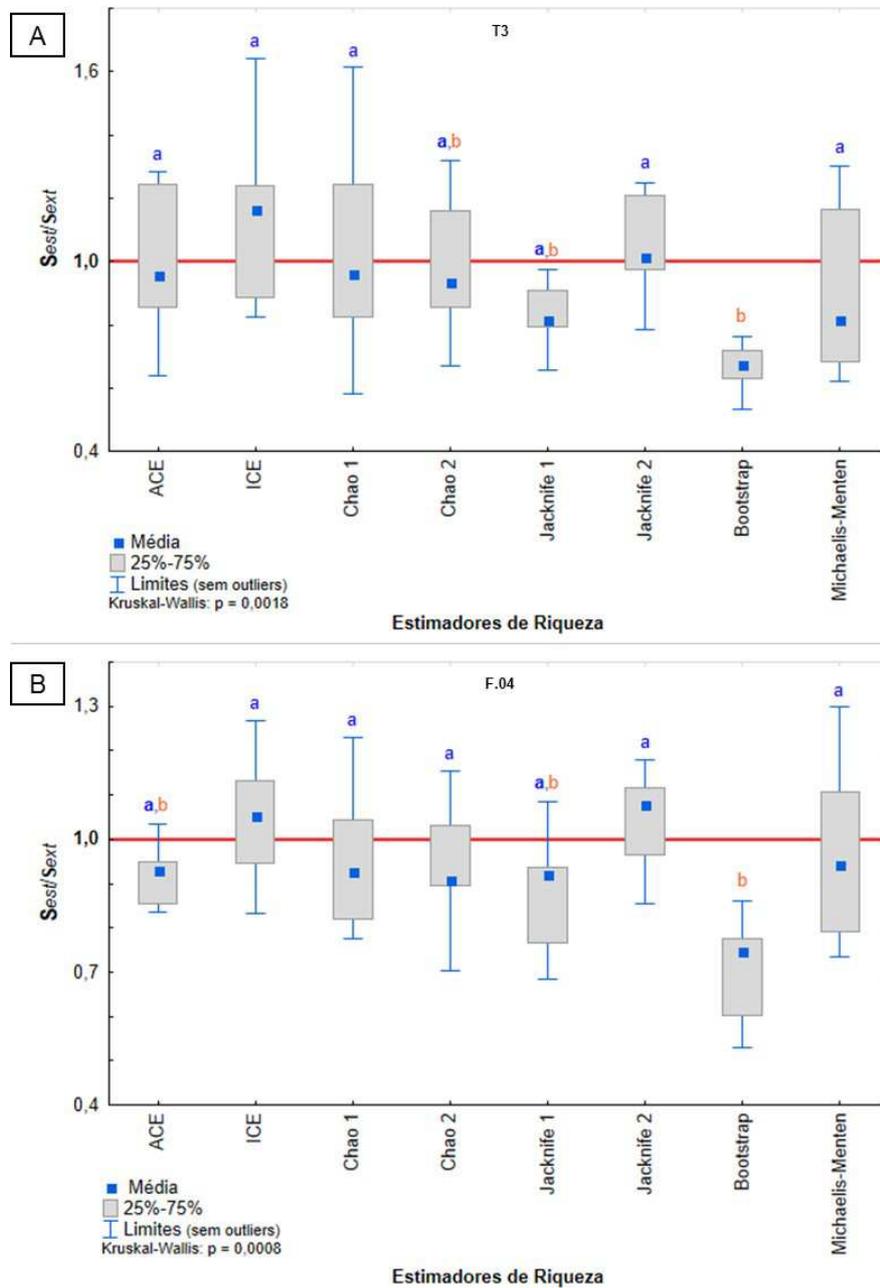


Figura 12. Avaliação dos estimadores de riqueza de acordo com os métodos de coleta manual. A) Categoria T3 do tempo do método de coleta manual/m²; B) Método de coleta manual proposto por Ferreira (2004). Sest/Sext = relação entre a riqueza estimada e a riqueza total coletada pelo método de exaustão. A análise de Kruskal-Wallis informa quando houveram diferenças entre os métodos. As letras sobre os gráficos indicam as diferenças avaliadas pelo teste de Tukey.

DISCUSSÃO

Trabalhos comparando efetivamente padrões gerais de variação de estruturas de comunidades em uma escala global são pouco frequentes. Os poucos trabalhos que existem, muitas vezes são superficiais, chegando à conclusões também superficiais e ou errôneas. Culver e Sket (2000), na definição dos hotspots de biodiversidade subterrânea, definem que a escassez de cavernas de alta diversidade de espécies troglomórficas nos trópicos ainda é um enigma. Deharveng e Bedos (2012), comparando a fauna subterrânea tropical com a regiões temperadas, atestam que os trópicos são conhecidos por ter a maior biodiversidade na Terra para os ecossistemas da superfície, mas que isso pode não ser verdade para habitats subterrâneos. Entretanto, é evidente a necessidade de comparações mais precisas, principalmente considerando que ambientes temperados foram historicamente mais estudados, possuindo táxons amostrados por diferentes técnicas.

Tais comparações inexitem primariamente em função da impossibilidade de comparações confiáveis referentes à estrutura e composição de comunidades de cavernas ao redor do mundo. Esta impossibilidade decorre da completa falta de padronização de métodos, bem como da aplicação de métodos muitas vezes inapropriados para a coleta de fauna em diferentes compartimentos destes ambientes. Como resultado, trabalhos nos quais são evidenciados padrões de distribuição de espécies subterrâneas são limitados a grupos específicos, como coleópteros (Zagmajster *et al.* 2008; Zagmajster *et al.* 2010) ou apenas com espécies troglóbias (Niemiller & Ziegler 2013), baseados em databases, limitados a dados de presença e ausência de espécies.

Trabalhos que avaliam o emprego de diferentes métodos de amostragem de espécies cavernícolas são pouco frequentes e, quando presentes, são restritos a uma cavidade e delimitados a um recurso (ex. guano) (Pellegrini & Ferreira 2012b; Santana *et al.* 2010). A ausência de um protocolo ou estudo demonstrando a eficiência dos métodos de coleta

resultou, historicamente, no emprego de diversos métodos diferentes para a amostragem da fauna subterrânea em todo o mundo: coletas por captura manual (Howarth 1972; Peck 1974; McDaniel & Smith 1976; Peck 1981; Trajano 1987; Prous 2004; Wynne & Pleytez 2005; Niemiller & Ziegler 2013), captura manual e pitfall (Reddel & Veni 1996; Ashmole & Ashmole 1997; Ferreira & Horta 2001; Silva 2006; Santana *et al.* 2010; Sendra & Reboleira 2012), captura manual oportunista (Moulds & Bannik, 2012), captura manual e quadrantes amostrais (Sharratt *et al.* 2000; Bertelli-Simões 2013), coleta manual por tempo (Zeppelini Filho *et al.* 2003; Schneider & Culver 2004; Andrade 2010; Fernandes & Bichuette 2013), coleta manual de tempo/m² (Lunghi *et al.* 2014), coleta manual e iscas (Jefferson *et al.* 2004; Graening *et al.* 2006), coleta manual e funis de Berlese (Cokendolpher & Poliak 1996; Welbourn 1999), coleta manual e armadilhas luminosas (McClure *et al.* 1967), coleta manual com plotagem de espécimes (Ferreira 2004; Souza-Silva & Ferreira 2009; Zampaulo 2010; Souza-Silva 2011a,b; Simões 2013), pitfall (Růzicka & Zacharda 1994), armadilhas em gotejamentos (Pipan & Culver 2005; Moldovan *et al.* 2007; Pipan & Culver 2007), coleta por aleatorização de quadrantes amostrais (Cordeiro 2008) e sobreposição de diferentes métodos de coleta (Peck 1985; Pinto-da-Rocha 1993; Bertolani *et al.* 1994; Reeves 2000; Reeves & Ozier 2000; Buhlmann 2001; Lewis *et al.* 2003; Peck & Thayer 2003; Moore *et al.* 2005; Moseley 2007). Em algumas situações, os métodos utilizados não são sequer informados (Østbye & Lauritzen 2013; Trajano 2000). Esta grande variação de métodos empregados dificulta a determinação de “hotspots” reais de biodiversidade subterrânea, bem como de áreas prioritárias para conservação, uma vez que a comparação da diversidade e padrões de riqueza de espécies entre os estudos ficam impraticáveis. Desta forma, a avaliação dos métodos apresentada neste estudo pode ser considerada um passo importante na padronização de futuros estudos.

O presente estudo, realizado por meio da sobreposição de métodos de captura ativa e passiva, representa o maior esforço na avaliação da

riqueza de espécies em cavernas de diferentes litologias já realizado no país. A utilização de diferentes métodos demonstrou um alto número de espécies nas cavernas amostradas e colocou as cavernas Gruta Clarabóias, Gruta do Morro Redondo e Gruta do Lobo entre as mais ricas em espécies do país, em segundo, terceiro e oitavo lugar, respectivamente. Até o momento, a Gruta do Janelão (Januária/Itacarambi, Minas Gerais), com 275 spp., apresenta a maior riqueza de espécies em cavernas brasileiras; as cavernas Lapa Nova (Vazante, Minas Gerais, com 226 spp., quarto lugar), Grutas de Maquiné (Cordisburgo, Minas Gerais, com 177 spp., quinto lugar), Gruta do Brejal (Januária/Itacarambi, Minas Gerais) e Gruta Extrema (Mambá, Goiás) (171 spp. cada uma, compreendendo o sexto e sétimo lugares) completam o grupo das oito mais ricas cavernas brasileiras (Ferreira 2003; Souza-Silva 2008; Souza-Silva *et al.* 2012; Pellegrini & Ferreira, 2012b). No entanto, todas as cavernas supracitadas foram amostradas em pelo menos duas estações do ano, contrastando com uma única coleta realizada em cada caverna deste estudo. Além disso, deve-se ainda considerar a baixa extensão das cavidades deste estudo quando comparadas às demais, praticamente todas elas com mais de 200 metros de extensão. Esta comparação evidencia o quanto as atuais amostragens subestimam a riqueza de espécies da maioria das cavernas, uma vez que o padrão esperado é que cavernas maiores apresentem mais espécies, independentemente da litologia (Souza-Silva 2011a).

Como esperado, as cavernas em Minério de Ferro apresentaram a maior riqueza de espécies. Souza-Silva e colaboradores (2011a), demonstraram que as cavernas ferruginosas, quando comparadas às cavernas de outras litologias, apresentam forte tendência de aumento de espécies com pequenos aumentos da projeção linear (devido ao grande número de canalículos nesta litologia). Assim, em minério de ferro, mesmo em pequenas cavidades, é esperado elevado número de espécies.

Sete cavernas aqui amostradas já foram alvo de outros estudos: Souza-Silva e colaboradores (2011b) amostraram as cavernas Gruta do Lobo

e Gruta do Campo I e encontram 58 e 35 espécies, respectivamente. Zampaulo (2010) amostrou as cavernas Gruta do Mamute (39 spp.) e Gruta dos Macacos I (47 spp.). Em 2010 e 2011, Prous (2013) realizou dois eventos de coleta nas cavidades Gruta dos Morgan (51 spp. no total; 34 spp. no período chuvoso e 39 spp. na seca), Gruta Morro Redondo (54 spp. no total; 41 spp. no período chuvoso e 31 spp. na seca) e Gruta Clarabóias (49 spp. no total; sendo 36 spp. no período chuvoso e 29 na seca). Nestes estudos, a amostragem foi realizada utilizando o método de captura ativa com plotagem de espécimes em toda área da cavidade. A diferença entre a riqueza encontrada nos estudos anteriores com o número total de espécies amostrado neste estudo é resultado da sobreposição de diferentes metodologias. Entretanto, mesmo comparando as riquezas encontradas pelo método por plotagem de espécimes para um único evento de coleta, os resultados do presente estudo são superiores para quase todas cavidades (Gruta do Lobo, 73 spp.; Gruta do Campo I, 35 spp.; Gruta do Mamute, 22 spp.; Gruta dos Macacos I, 24 spp.; Gruta Clarabóias, 70 spp.; Gruta dos Morgan, 38 spp.; Gruta Morro Redondo, 80 spp.). O uso dos quadrantes na aplicação do método pode ter influenciado no aumento do número de espécies, demonstrando que a delimitação espacial da caverna por meio de quadrantes aumenta a percepção do coletor para espécies não amostradas regularmente.

A diferença de espécies da coleta por exaustão para os demais métodos de captura ativa demonstra que a riqueza de espécies das cavernas tem sido historicamente subestimada. Tal fato já havia sido mencionado por Ferreira (2005), ao comparar amostragens realizadas por diferentes métodos em algumas cavernas brasileiras. Entretanto, apesar do número real de espécies em uma área num dado tempo ser claramente finito, em muitos casos, coletas exaustivas não são fisicamente ou logisticamente possíveis (Delabie *et al.* 2000). Outro fator importante é o impacto que este método pode causar sobre as populações cavernícolas devido ao alto número de espécimes coletados, especialmente em locais onde ocorrem espécies

troglóbias, que geralmente apresentam baixa densidade populacional e estão restritas a uma ou poucas cavernas (Culver 1982). A utilização de métodos que limitam a amostragem de indivíduos garante a manutenção das espécies e permite inferir a riqueza presente nas cavernas de forma indireta, por meio de estimadores que riqueza, extrapolação da curva do coletor e demais técnicas.

Na perspectiva da utilização de métodos que restringem o número de indivíduos coletados, nossos resultados indicam que o método por plotagem de espécimes apresentou maior riqueza de espécies e é mais eficiente em cavernas ferruginosas e quartzíticas. O sucesso deste método nestas litologias pode ser explicado por sua própria aplicação: uma vez que o esforço do coletor não é delimitado pelo tempo, sendo a amostragem finalizada quando este julgar que todos os espécimes presentes foram amostrados, é esperado que quanto mais espécies presentes, mais espécies serão amostradas (Figura 12). Neste método, enquanto o coletor estiver encontrando espécimes diferentes, a amostragem não cessa. Assim, como as cavernas ferruginosas e quartzíticas apresentam maior número de espécies, conforme demonstrado pela sobreposição dos métodos, o coletor encontrará sempre diferentes indivíduos a serem amostrados, aumentando a riqueza de espécies encontradas. Para minério de ferro, litologia onde o método por plotagem de espécimes destacou-se dos demais, esta situação é ainda mais evidente, uma vez que a cada metro na extensão das cavidades há um grande aumento no número de espécies (Souza-Silva *et al.* 2011a).

Nas cavernas carbonáticas, a categoria T3 da coleta manual de tempo/m² foi o método mais eficiente, apesar de não apresentar a maior riqueza em todas as cavernas. Apesar da delimitação temporal parecer uma restrição ao coletor, esta pode ser responsável em mantê-lo atento a novos espécimes mesmo em locais onde aparentemente não há nenhum. A morfologia da Gruta do Mamute e Gruta dos Macacos I é característica de cavernas calcárias, com volumosos condutos vadosos, seguindo a direção do curso de água que foi responsável pela formação da cavidade. Estes

condutos apresentam grandes áreas homogêneas para o coletor inspecionar, muitas vezes com poucas espécies presentes. Assim, por ter um período pré-determinado para a amostragem, o coletor é obrigado a estender sua busca nestas áreas, possibilitando o encontro de espécimes não amostrados. A Gruta do Carlinhos difere das demais de sua litologia devido à pequena extensão, sendo fortemente influenciada pelo ambiente externo. As comunidades encontradas nestas áreas de grande influência epígea (ex. zonas de entrada) geralmente abrigam uma ampla diversidade de animais que não apresentam associação ao ambiente subterrâneo (Chapman 1993). Assim, como muitas espécies ocorreram nesta cavidade, o método por plotagem de espécimes apresentou maior riqueza pelos mesmos motivos demonstrado para as cavernas quartzíticas e ferruginosas.

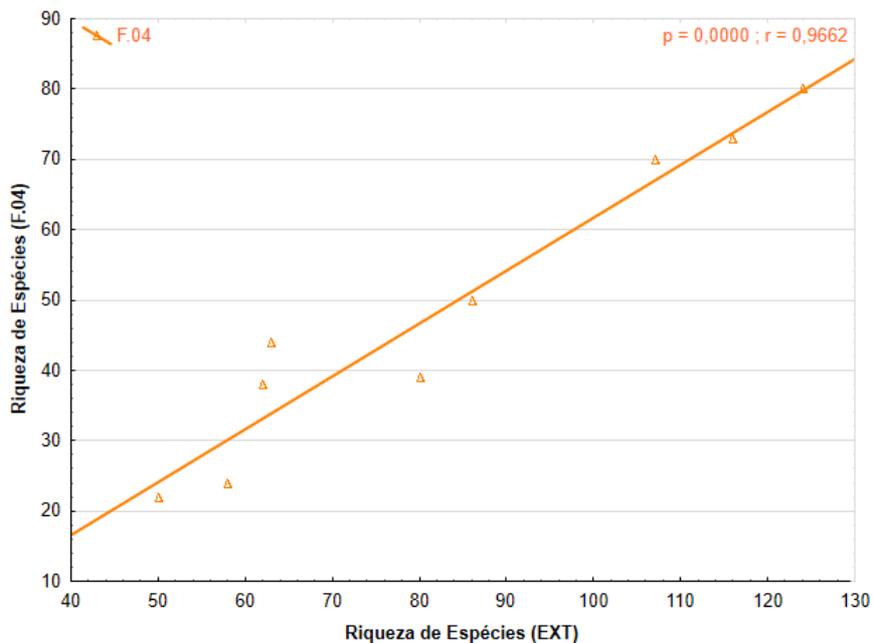


Figura 13. Regressão linear entre a riqueza de espécies da coleta por exaustão e a riqueza amostrada pelo método por plotagem de espécimes nas cavernas amostradas.

A aleatorização de quadrantes amostrais em cavernas demonstrou baixa eficiência na amostragem da riqueza da fauna subterrânea. Cordeiro (2008) utilizou esta técnica em quatro cavernas carbonáticas na Serra da

Bodoquena. Segundo a autora, este método foi escolhido no intuito de reduzir o impacto da coleta excessiva na comunidade local devido à replicação dos eventos de coleta e ao pequeno porte das cavernas estudadas (Cordeiro 2008). O percentual de quadrantes amostrados para cada cavidade foi de 20.20% (Gruta Córrego Azul I), 12.57% (Gruta Córrego Azul III), 13.98% (Gruta das Fadas) e 46.51% (Gruta Senhor Natal). Nos quadrantes amostrados, Cordeiro (2008) realizou uma inspeção minuciosa do substrato sendo realizada a coleta manual de invertebrados, que seria equivalente à coleta por exaustão realizada neste estudo. Considerando os dados sobre a eficiência da aleatorização dos quadrantes obtidos no presente estudo, a amostragem realizada por Cordeiro (2008) provavelmente não foi eficiente na avaliação da riqueza em três das quatro cavidades. Na Gruta Córrego Azul I, Cordeiro (2008) encontrou 27 espécies em 20.20% dos quadrantes. Baseando-se nas proporções encontradas nas cavernas calcárias de Pains, caso a autora tivesse coletado em 100% dos quadrantes, poderia ter encontrado até 243 espécies (± 23 spp.). Nas cavernas Córrego Azul III, Gruta das Fadas e Gruta Senhor Natal, a autora encontrou 71, 27 e 41 espécies, respectivamente. Considerando os dados obtidos no presente estudo, a estimativa de espécies que poderiam ser amostrados em todos os quadrantes destas cavernas seriam 263 espécies (± 32 spp.) na Gruta Córrego Azul III, 95 espécies (± 8 spp.) na Gruta das Fadas e 63 espécies (± 3 spp.) na Gruta Senhor Natal. Entretanto, é importante ressaltar que as variações entre os biomas nos quais as cavernas estão inseridas devem ser consideradas para comparações mais consistentes.

A relação encontrada entre a diversidade de substratos e a riqueza de espécies indicam que cavernas mais heterogêneas apresentam, de fato, maior número de espécies. Prous (2005) e Cordeiro (2008) encontraram o mesmo padrão em cavernas carbonáticas de diferentes províncias espeleológicas. O fato desta relação ocorrer apenas na coleta por exaustão, avaliando todas as cavernas, indica que os métodos de captura ativa não são satisfatórios na amostragem de todos os micro-habitats presentes nas cavidades. Conforme

demonstrado por Souza-Silva e Ferreira (2009), a presença de vários micro-habitats, como canalículos, fissuras, blocos abatidos e corpos de água, permite que algumas espécies não sejam coletadas pelo método de coleta manual. Apesar da coleta por exaustão amostrar todas as espécies visualmente presentes nos quadrantes, ainda é uma coleta manual restrita à observação do coletor, não sendo capaz de amostrar todos os micro-habitats. Assim, em uma menor escala, avaliando por quadrantes, não foi possível observar a relação entre diversidade de substrato e riqueza de espécies individualmente em todas cavernas. Na Gruta da Lobo, apesar da relação ter sido significativa para os demais métodos de captura ativa, esta foi fraca, indicando que a significância pode ter sido efeito do tamanho da amostra.

A diferença na composição de espécies entre métodos de captura ativa e passiva é amplamente discutida em diferentes ecossistemas e comunidades de invertebrados no ambiente epígeo (Druce *et al.* 2004; Brennan *et al.* 2005; Cort *et al.* 2013; Sabu *et al.* 2010; Sabu *et al.* 2011) e também em cavernas (Pellegrini & Ferreira 2012b; Santana *et al.* 2010). De forma geral, estudos demonstram que as armadilhas de queda apresentam tendência em amostrar espécies mais ativas e os extratores de Winkler são eficientes para a extração exaustiva de macroinvertebrados do solo (Sabu *et al.* 2010; Krell *et al.* 2005; Nadkarni & Longino 1990). Os métodos manuais, por sua vez, tendem a favorecer espécies mais lentas, geram amostragens discretas e coletam apenas os táxons que estão presentes no momento da amostragem (Cort *et al.* 2013). Para cavernas, os métodos de captura ativa são incentivados pois obtém um grande número de espécies com menor mortalidade de espécimes (Hunt & Millar 2001). Entretanto, a eficiência demonstrada pelos métodos de captura passiva no presente estudo indica que estes devem ser considerados nas amostragens de fauna subterrânea. Conforme demonstrado em estudos anteriores e corroborado por este, a associação de métodos é de suma importância para se fazer uma amostragem representativa da riqueza de espécies, uma vez que amostra diferentes tipos de habitats e táxons presentes nos ecossistemas (Sabu *et al.*

2011; Pellegrini & Ferreira 2012b; Santana *et al.* 2010; Cort *et al.* 2013). Nenhum método consegue ser efetivo para todos os táxons, sendo necessário combinar eficientemente dois ou mais métodos de acordo com objetivo do estudo (Edwards 1991, Standen 2000).

Apesar das coletas em cavernas serem baseadas na captura manual, a experiência do coletor nunca foi alvo de investigação em estudos de fauna subterrânea. Coscaron e colaboradores (2009), utilizando hemípteros como modelo para estimar a diversidade, demonstraram que a experiência do coletor afeta a riqueza de espécies encontradas, mas não a abundância. Já Bragagnolo e Pinto-da-Rocha (2003) detectaram que coletores mais experientes capturam, em média, mais indivíduos por amostras. O método com plotagem de espécimes é mais influenciado pela experiência do coletor provavelmente devido às diferenças entre os coletores na capacidade de distinguir espécies e definir quando o censo foi suficiente. Na primeira situação, é provável que profissionais mais experientes consigam reconhecer mais facilmente espécies diferentes enquanto coletores com pouca experiência tenham dificuldades nesta distinção e, ocasionalmente, considerem indivíduos de diferentes espécies como de uma mesma devido às semelhanças morfológicas. Outra possibilidade baseia-se na capacidade em finalizar o censo em uma determinada área: coletores inexperientes podem brevemente supor que uma área foi suficientemente amostrada, finalizando a amostragem sem representar todos os espécimes. Outro fator importante refere-se à prioridade de amostragem em micro habitats que sejam potenciais à ocorrência de espécies. Desta forma, espera-se que coletores mais experientes sejam capazes de identificar estes locais com maior precisão. Nesse sentido, como informado por Bragagnolo e Pinto-da-Rocha (2003), um coletor mais experiente tem, geralmente, mais facilidade de encontrar indivíduos que estejam menos visíveis na área de amostragem, por terem um melhor conhecimento dos hábitos e características destes. O aumento da acuidade na detecção de pequenas espécies com o aumento da experiência do coletor também é uma possibilidade, apesar de ainda não ter sido testada.

A menor influência da experiência do coletor nas categorias T1 e T2 pode indicar que o tempo disponibilizado não foi suficiente para explicitar diferenças entre os coletores. Nestes métodos, a restrição de coleta ocorre apenas para indivíduos similares que apresentam alta abundância. Assim, pode diminuir a influência do coletor por evitar a distinção de espécies durante a amostragem, sendo coletados os indivíduos que apresentam qualquer variação morfológica. Situação semelhante acontece na coleta por exaustão: uma vez que todos os espécimes são coletados, a experiência do coletor passa a não ser significativa na distinção de espécies, entretanto, aumenta sua importância em localizar os micro-habitats apropriados para a ocorrência de diferentes espécies.

De acordo com Toti e colaboradores (2000), a melhor maneira de testar o desempenho de estimadores de riqueza de espécies é utilizando os conjuntos de dados de um local onde a riqueza real é conhecida. Uma vez que utilizamos a captura ativa por exaustão e demais métodos de coleta passiva, os dados apresentados atendem essencialmente este requisito. Assim sendo, um bom estimador deve atender os seguintes critérios: 1) apresentar a riqueza média estimada mais próxima possível da riqueza real amostrada, 2) apresentar menor variação entre os valores estimados para um mesmo método; 3) deve produzir estimativas que não diferem amplamente dos demais estimadores.

Para a categoria de tempo T1, o estimador ICE, baseado em cobertura de amostras, gerou estimativas de riqueza mais realistas para os nossos conjuntos de amostras do que os demais. Este estimador baseia-se em incidência, utilizando espécies encontradas em 10 ou menos amostras e que não são *uniques* (Lee & Chao 1994). Considerando que esta categoria delimita um curto período de tempo ao coletor para amostrar uma determinada área, é esperado que poucas espécies raras sejam encontradas nesta categoria. Dias (2004) cita que espécies raras, por estarem em menor abundância que as comuns, são mais difíceis de serem capturadas, portanto é possível que um maior tempo de procura leve ao encontro de um maior

número de espécies. Nesta perspectiva, os estimadores não paramétricos que estimam o número de espécies baseados numa quantificação de raridade não são eficientes para baixos tempos de amostragem.

Na categoria T3 e no método por plotagem de espécimes, Jackknife2 atendeu mais precisamente aos critérios estabelecidos para um bom estimador. Este estimador baseia-se em incidência, utilizando o número de espécies encontradas em somente uma ou duas amostras para a estimativa (Colwell 2006). Com mais tempo disponível para coleta ou quando esta é atemporal, aumenta a probabilidade de encontro de espécies raras (Dias 2004). Assim, estimadores que avaliam a raridade das espécies passam a ser mais importantes.

Para todos os métodos avaliados, a estimativa por Bootstrap apresentou os menores índices. Vários estudos, em diferentes ecossistemas, já demonstraram o baixo desempenho deste estimador para avaliar a diversidade de espécies (Colwell & Coddington 1994; Chazdon *et al.* 1998; Toti *et al.* 2000; Bragagnolo & Pinto-da-Rocha 2003). Apesar das restrições do estimador, Simões (2013) optou pela utilização do Bootstrap por este basear em todas espécies amostradas sem considerar a abundância. Como este estimador subestima a riqueza real em cavernas, a eficiência da amostragem citada por Simões (2013) provavelmente está abaixo do que a informada.

Trajano (2000) cita que a taxa de inclusão de novos táxons na lista de fauna cavernícola do Vale do Ribeira está a estabilizar, sendo que a maioria das adições atuais referem-se a uma identificação mais precisa de taxa anteriormente amostrado. Entretanto, conforme demonstrado neste estudo, a cada novo método empregado, mais espécies serão amostradas. Assim, inventários futuros em cavernas desta província espeleológica, utilizando métodos ainda não utilizados na região, provavelmente promoverão a inclusão de taxa ainda não presentes na lista de fauna. Tal fato é comprovado pelas descrições recentes de duas novas espécies para este sistema: o primeiro *Cryptops* (Chilopoda: Scolopendromorpha)

troglofórmico da América do Sul (Ázara & Ferreira 2013) e uma nova espécie de anfípoda troglóbico, *Hyaella epikarstica* (Rodrigues *et al.* 2014). Reitera-se que ambas as espécies citadas foram coletadas por meio de buscas visuais, um método historicamente já empregado nas cavernas da área, o que indica que mesmo a aplicação de métodos convencionais ainda irão levar à descobertas de novas espécies em cavernas da região, ao contrário do postulado por Trajano (2000). Esta premissa também é válida para este trabalho e os demais realizados em cavernas até o presente momento.

A escolha do método a ser utilizado para amostrar a fauna subterrânea deve ser baseada nos objetivos do estudo, considerando o tipo de informação a ser acessada (ex. riqueza, abundância, composição de espécies) e a escala ecológica (ex. populações, comunidades). Os resultados apresentados aqui demonstram que o método por plotagem de espécimes é mais indicado para amostrar a riqueza de espécies em cavernas ferruginosas e quartzíticas; no calcário, a categoria T3 do método da coleta de tempo/m² é mais eficiente. Destaca-se, no entanto, que a amostragem pela categoria T3 mostrou-se mais eficiente somente em casos de cavernas calcárias com substratos muito homogêneos, já que este método “força” uma amostragem continuada (até a finalização do tempo), elevando eventualmente o número de espécies.

Desta forma, considerando a necessidade da padronização das técnicas no intuito de possibilitar comparações amplas, sugere-se que as amostragens realizadas nos ambientes subterrâneos sejam realizadas por métodos atemporais, priorizando micro-habitats, conforme previsto no método por plotagem de espécimes, por este apresentar maior número de espécies em 67% das cavernas (seis cavernas) e por ter sido mais eficiente em duas litologias. Além disto, apesar de mais eficiente nas cavernas calcárias, a prática da coleta de tempo/m², para períodos iguais ou superiores a 90s/m², pode ser inviável para muitas cavernas desta litologia, que apresentam extensão e áreas quilométricas. Para cada método de captura ativa, deve-se escolher o estimador que melhor represente a natureza dos

dados coletados. Sempre que possível, ao utilizar o método por plotagem de espécimes ou a coleta manual de tempo/m² (para períodos de tempo superior a 90s/m²), sugere-se priorizar coletores mais experientes. Os métodos de captura manual comumente utilizados não foram capazes de acompanhar a variação da riqueza de acordo com a diversidade dos substratos. Métodos de captura passiva são importantes como complementos da amostragem manual independente da litologia.

A aplicação de métodos corretos no intuito de se amostrar a fauna de uma dada caverna é de suma importância na determinação da riqueza de espécies destes ecossistemas. Afinal, informações precisas sobre o número de espécies de um ecossistema é a base para a determinação de área prioritárias para conservação (Myers *et al.* 2000; Culver & Sket 2000). Desta forma, cada vez mais se faz necessário se conhecer a fauna total de uma caverna (não só os troglóbios), especialmente em regiões tropicais (onde existe uma elevada riqueza de taxa troglófilos) para fins de conservação e manejo. Além do mais, o conhecimento da comunidade presente nos ambientes subterrâneos permite que sejam reconhecidas espécies invasoras nestes sistemas, que podem promover impactos negativos sobre as espécies nativas, principalmente para os troglóbios, muitas vezes endêmicos e restritas a uma ou poucas cavidades (Mazza *et al.* 2014). Estudos mais amplos permitem ainda a real compreensão da estrutura de uma comunidade, que depende primariamente do entendimento de todos seus componentes. Assim, a comparação dos métodos e a padronização das amostragens podem ser de extrema importância na medida em que contribuem para que futuros trabalhos possam gerar dados de fato comparáveis, levando a análises que permitam acessar de forma confiável os padrões globais de estruturação de comunidades subterrâneas.

REFERÊNCIAS

- Andrade, R. (2010) Bioespeleologia. In: Golder Associates. 2010. *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – Projeto Ferro Carajás S11D*. Volume I-A. RT-079-515-5020-0029-02-J. 588pp.
- Ashmole, N.P. & Ashmole, M.J. (1997) The land fauna of Ascension Island: new data from caves and lava flows, and a reconstruction of the prehistoric ecosystem. *Journal of Biogeography*, 24, 549-589.
- Ázara, L. N. & Ferreira, R. L. (2013) The first troglobitic *Cryptops* (*Trigonocryptops*) (Chilopoda: Scolopendromorpha) from South America and the description of a non-troglobitic species from Brazil. *Zootaxa*, 3709, 432-444.
- Bernardi, L.F.O., Klompen, H. & Ferreira, R.L. (2014) *Neocaruscipora*, a new mite species (Parasitiformes: Opilioacarida: Opilioacaridae) from Brazilian Amazon caves. *Acarologia*, 54, 47-56.
- Bertelli-Simões, L. (2013) *Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus viabilidade de táxons*. Master thesis, Programa de pós-graduação em ecologia e recursos naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 197 pp.
- Bertolani, R., Manicardi, G. & Rebecchi, L. (1994) Faunistic study in the karst complex of Frasassi (Genga, Italy). *International Journal of Speleology*, 23(1-2), 61-77.
- Bragagnolo, C. & Pinto-da-Rocha, R. (2003) Diversidade de Opiliões do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro, Brasil (Arachnida: Opiliones). *Biota Neotropica*, 3, 1–13.
- Brennan, K.E.C, Majer, J.D. & Moir, M.L. (2005) Refining sampling protocols for inventorying invertebrate biodiversity: influence of driftfence length and pitfall trap diameter on spiders. *The Journal of Arachnology*, 33, 681–702.

- Brescovit, A.D., Ferreira, R.L., Souza-Silva, M. & Rheims, C. (2012) *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa*, 3572, 23-32.
- Buhlmann, K.A. (2001) A biological inventory of eight caves in northwestern Georgia with conservation implications. *Journal of Cave and Karst Studies*, 63(3), 91-98.
- Chao, A. & Lee, S.M. (1992) Estimating the Number of Classes via Sample Coverage. *Journal of the American Statistical Association*, 87 (417), 210-217.
- Chapman, P. (1993) *Caves and Cave Life*. Harper Collins, New Naturalist Series. 219 pp.
- Chazdon, R.L., Colwell, R.K., Denslow, J.S. & Guariguata, M.R. (1998) Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. In: Dallmeier, F. & Comiskey, J. (Eds). *Forest Biodiversity Research, Monitoring and Modeling: Conceptual Background and Old World Case Studies*, 285–309. Parthenon Publishing, Paris, France.
- Churchill, T.B. & Arthur, J.M. (1999) Measuring spider richness: effects of different sampling methods and spatial and temporal scales. *Journal of Insect Conservation*, 3, 287-295.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N. (2006) *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Colwell, R.K. & Coddington, J.A. (1994) Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B345, 101–118.
- Colwell, R.K. (2006) *Estimate S: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species From Samples*. URL <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates> [Acessado em 18 de Junho de 2014].

- Cokendolpher, J. C. & Polyak, V. J. (1996) Biology of the Sinkhole Flats caves, Eddy County, New Mexico. *Journal of Caves and Karst Studies*, 58(3), 181-191.
- Cordeiro, L. M. (2008) *Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal do Mato Grosso, Campo Grande, 120 pp.
- Cort, R., Larned, S.T. & Datry, T. (2013) A comparison of pitfall-trap and quadrat methods for sampling ground-dwelling invertebrates in dry riverbeds. *Hydrobiologia*, 717, 13–26.
- Coscaron, M.C., Melo, C., Coddington, J.A. & Corronca, J. (2009) Estimating biodiversity: a case study on true bugs in argentinian wetlands. *Biodiversity and Conservation*, 18, 1491–1507.
- Culver, D. C. (1982) *Cave Life. Evolution and Ecology*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts and London, England. 189 pp.
- Culver, D.C. & Sket, B. (2000) Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62(1), 11-17.
- Culver, D.C & Wilkens, H. (2000) Critical review of relevant theories of the evolution of subterranean animals. In: Wilkens, H., Culver, D. C. & Humphreys, W. F. *Ecosystems of the World, v. 30: Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Press, 381-397.
- Culver, D.C., Christman, M.C., Sket, B., Trontelj, P. (2004) Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1209–1229.
- Culver, D.C. & Pipan, T. (2009) *The biology of caves and other subterranean habitats*. Library of Congress Cataloging in Publication Data, Oxford University Press, Oxford.
- Culver, D.C., Trontelj, P., Zagamajster, M. & Pipan, T. (2013) Paving the way for standardized and comparable biodiversity studies. *Subterranean Biology*, 10, 43–50.

- Deharveng, L. & Bedos, A. (2012) Diversity patterns in the tropics. In: White, W.B. & Culver, D.C. (Eds). *Encyclopedia of Caves*, 2nd edn, 238-250. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Delabie, J.H.C., Fisher, B.L., Majer, J.D. & Wright, I.W. (2000) Sampling effort and choice of methods. In: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso, L.E. & Schultz, T.R. (Ed.). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Washington: Smithsonian Institution Press, 145-154.
- Dias, S. C. (2004) Planejando estudos de diversidade e riqueza: uma abordagem para estudantes de graduação. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 26, 373–379.
- Druce, D., Hamer, M., Slotow, R. (2004) Sampling strategies for millipedes (Diplopoda), centipedes (Chilopoda) and Scorpions (Scorpionida) in savanna habitats. *African Zoology*, 39 (2), 293-304.
- Edwards, C.A. (1991) The assessment of populations of soil inhabiting invertebrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34, 145–176.
- Fernandes, C.S. & Bichuette, M.E. (2013) Levantamento preliminar de invertebrados em três cavernas areníticas do Rio Grande do Sul, Brasil. *Espeleo-Tema*, 24 (1), 41-47.
- Ferreira, R.L. & Horta, L.C.S. (2001) Impactos sobre comunidades de invertebrados em cavernas brasileiras. *Revista Brasileira de Biologia*, 61, 7-17.
- Ferreira, R. L. (2003) Depósitos sedimentares em cavernas: registros de vida passada. *Bios*, 11(11), 39-52.
- Ferreira, R.L. (2004) *A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos*. PhD thesis, Programa de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, 161 pp.
- Ferreira, R.L. (2005) A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 3(17), 106-115.

- Fisher, B. L. (1999) Improving inventory efficiency: a case study of leaf-litter ant diversity in Madagascar. *Ecological Applications*, 9, 714–731.
- Ford, D. & Williams, P. (2007) *Karst hydrogeology and geomorphology*. British Library Cataloguing in Publication Data, Blackwell Publishers, Oxford, 576 pp.
- Gillieson, D.S. (1998) *Caves: processes, development and management*. British Library Cataloguing in Publication Data, Blackwell Publishers, Oxford, 340 pp.
- Ginés A. & Ginés J. (1992) Les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17(18), 5-20.
- Gotelli, N.J. & Colwell, R.K. (2001) Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379-391.
- Graening, G.O., Slay, M.E. & Bitting, C. (2006) Cave fauna of the Buffalo National River. *Journal of Cave and Karst Studies*, 68, 153–163.
- Halse, S.A. & Pearson, G.B. (2014) Troglifauna in the vadose zone: comparison of scraping and trapping results and sampling adequacy. *Subterranean Biology*, 13, 17-34.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001) *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*. *Palaeontologia Electronica*, 4(1).
- Hoch, H. & Ferreira, R.L. (2013) *Potiguaratroglobia* gen. n., sp. n. first record of a troglotic Kinnaridae from Brazil (Hemiptera: Fulgoromorpha). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 60, 33-40.
- Holsinger, J. (1988) Troglobites: the evolution of cave-dwelling organisms. *American Scientist*, 76, 147-153.
- Holsinger, R. & Culver, D. C. (1988) The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology. *Brimleyana*, 14, 1-162.
- Howarth, F.G. (1972) Cavernicoles in lava tube on the island of Hawaii. *Science*, 175, 325-26.

- Hunt, M.R. & Millar, I. (2001) *Cave invertebrate collecting guide*. Wellington, New Zealand, Department of Conservation, 29 pp.
- Iniesta, L.F.M., Ferreira, R.L. & Wesener, T. (2012) The first troglobitic *Glomeridesmus* from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of Glomeridesmida (Diplopoda). *Zootaxa*, 3550, 26-42.
- Jefferson, G.T., Chapman, P., Carter J. & Proudlove, G. (2004) The invertebrate fauna of the Ogof Ffynnon Ddu cave system, South Wales, UK. *Cave and Karst Science*, 31(2), 63–76.
- Krell, F.T., Chungb, A.Y.C., DeBoisea, E., Eggletona, P., Giustia, A., Inwarda, K., Krell-Westerwalbesloha, S. (2005) Quantitative extraction of macro-invertebrates from temperate and tropical leaf litter and soil: Efficiency and time-dependent taxonomic biases of the Winkler extraction. *Pedobiologia*, 49, 175-186.
- Lee, S. M. & Chao, A. (1994) Estimating population size via sample coverage for closed capture-recapture models. *Biometrics*, 50, 88–97.
- Lewis, J.J., Moss, P., Tecic, D. & Nelson, M.E. (2003) A conservation focused inventory of subterranean invertebrates of the southwest Illinois Karst. *Journal of Cave and Karst Studies*, 65(1), 9-21.
- Lienhard, C. & Ferreira, R.L. (2013) Three new species of *Psyllipsocus* (Psocodea: Psocoptera: Psyllipsocidae) from Brazilian caves with description of a novel structure presumably representing a male accessory genital organ. *Revue Suisse de Zoologie*, 120, 421-443.
- Lienhard, C. & Ferreira, R.L. (2014) New species of *Psyllipsocus* from Brazilian caves (Psocodea: Psocoptera: Psyllipsocidae). *Revue Suisse de Zoologie*, 121, 211-246.
- Lunghi, E., Manenti, R., Ficetola, G.F. (2014) Do cave features affect underground habitat exploitation by non-troglobite species?. *Acta Oecologica*, 55, 29-35.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, N.J., 224 pp.

- Magurran, A.E. (2004) *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd, New York, 256 pp.
- Mazza, G., Reboleira, A.S.P.S., Gonçalves, F., Aquiloni, L., Inghilesi, A.F., Spigoli, D., Stoch, F., Taiti, S., Gherardi, F. & Tricarico, E. (2014) A new threat to groundwater ecosystems: first occurrences of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in European caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76(1), 62–65.
- May, R.M. (1988) How many species are there on earth?. *Science*, 241, 1441-1449.
- McClure, H.E., Lim, B.L. & Winn, S.E. (1967) Fauna of the Dark Cave, Batu Caves, Kuala Lumpur, Malaysia. *Pacific Insects*, 9(3), 399–428.
- McDaniel, V.R. & Smith, K.L. (1976) Cave fauna of Arkansas: selected invertebrate taxa. *Proceedings of the Arkansas Academy of Science*, 30, 57-60.
- Moldovan, O.T., Pipan, T., Iepure, S., Mihevc, A. & Mulec, J. (2007) Biodiversity and ecology of fauna in percolating water in selected Slovenian and Romanian caves. *Acta Carsologica*, 36, 493–501.
- Mommertz, S., Schauer, C., Kösters, N., Lang, A. & Filser, J. (1996) A comparison of D-vacuum, fenced and unfenced pitfall trap sampling of epigeal arthropods in agroecosystems. *Annales Zoologici Fennici*, 33, 117–124.
- Moore, J.C., Saunders, P., Selby, G., Horton, H., Chelius, M.K., Chapman, A. & Horrocks, R.D. (2005) The distribution and life history of *Arrhopalites caecus* (Tullberg): Order: Collembola, in Wind Cave, South Dakota, USA. *Journal of Cave and Karst Studies*, 67(2), 110–119.
- Moseley, M. (2007) Acadian biospeleology: composition and ecology of cave fauna of Nova Scotia and southern New Brunswick, Canada. *International Journal of Speleology*, 36, 1-21.

- Moulds, T. & Bannik, P. (2012) Preliminary notes on the cavernicolous arthropod fauna of judbarra/gregory karst area, northern Australia. *Helictite*, 41, 75-85.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Nadkarni, N.M. & Longino, J.T. (1990) Invertebrates in canopy and ground organic matter in a neotropical montane forest, Costa Rica. *Biotropica*, 22, 286-289.
- Niemiller, M.L. & Zigler, K.S. (2013) Patterns of cave biodiversity and endemism in the Appalachians and Interior Plateau of Tennessee, USA. *Plos One*, 8(5), e64177.
- Østbye, E. & Lauritzen, S.E. (2013) A checklist of invertebrates from Norwegian caves and mines. *Fauna norvegica*, 33, 35-51.
- Peck, S.B. (1974) The invertebrate fauna of tropical American caves. Part II. Puerto Rico, na ecological and zoogeographical analysis. *Biotropica*, 6, 14-31.
- Peck, S.B. (1981) The subterranean fauna of Mona Island (Puerto Rico): a Caribbean karst environment. *National Speleological Society Bulletin*, 43, 59-68.
- Peck, S.B. (1985) The invertebrate faunas of tropical American caves, Part 6: Jumandi Cave, Ecuador. *International Journal of Speleology*, 14, 1-8.
- Peck, S.B. & Thayer, M.K. (2003) The Cave-inhabiting rove beetles of the United States (Coleoptera; Staphylinidae; excluding Aleocharinae and Pselaphinae): Diversity and distributions. *Journal of Cave and Karst Studies*, 65(1), 3-8.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. (2012a) Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation. *International Journal of Speleology*, 41, 359-366.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. (2012b) Metodologias diferenciadas aumentam a eficiência de inventários faunísticos em

- cavernas?. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*, 21(1), 111-122.
- Pinto-da-Rocha, R. (1993) Invertebrados cavernícolas da porção meridional da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 10(2), 229–255.
- Pipan, T. & Culver, D.C. (2005) Estimating biodiversity in the epikarstic zone of a West Virginia Cave. *Journal of Caves and Karst Studies*, 67, 103-109.
- Pipan, T. & Culver, D.C. (2007) Regional species richness in an obligate subterranean dwelling fauna–epikarst copepods. *Journal of Biogeography*, 34, 854-861.
- Pritt, J.J. & Frimpong, E.A. (2014) The effect of sampling intensity on observed patterns of rarity and community assessment metrics in stream fish samples. *Ecological Indicators*, 39, 169-178.
- Prous, X., Ferreira, R.L. & Martins, R.P. (2004) Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology*, 29, 374-382.
- Prous, X. (2005) *Entradas de cavernas: interfaces de biodiversidade entre ambientes externo e subterrâneo. Distribuição dos artrópodes da lapa do Mosquito, MG*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da vida silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 110 pp.
- Prous, X. (2013) Diagnóstico Bioespeleológico. In: *Projeto Ferro Puro Ltda. DNPM 9.608/1942. 2013. Estudo Espeleológico, Paleontológico, Arqueológico e Análise de Relevância de 17 Cavernas inseridas na ADA e AID do Empreendimento*. 588p.
- Ratton, P., Mahnert, V. & Ferreira, R.L. (2012) A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. *The Journal of Arachnology*, 40, 274-280.
- Reddell, J. & Veni, G. (1996) Biology of the Chiquibul Cave System, Belize and Guatemala. *Journal of Cave and Karst Studies*, 58, 131–138.

- Reeves, W.K. (2000) Invertebrate Cavernicoles of the Great Smoky Mountains National Park, USA. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 116 334-343.
- Reeves, W.K., Jensen, J.B. & Ozier, J.C. (2000) New Faunal and Fungal Records from Caves in Georgia, USA. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62(3), 169-179.
- Rodrigues, S.G., Bueno, A.A.P., Ferreira, R.L. (2014) A new troglobiotic species of *Hyalella* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) with a taxonomic key for the Brazilian species. *Zootaxa*, 3815, 200-214.
- Růzicka V. & Zacharda M. (1994) Arthropods of stony debris in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Arctic Alpine Research*, 26, 332-338.
- Sabu, T.K. & Shiju, R.T. (2010) Efficacy of pitfall trapping, Winkler and Berlese extraction methods for measuring grounddwelling arthropods in moist-deciduous forests in the Western Ghats. *Journal of Insect Science*, 10(98), 1-17.
- Sabu, T.K., Shiju, R.T., Vinod, K.V. & Nithya, S. (2011) A comparison of the pitfall trap, Winkler extractor and Berlese funnel for sampling ground-dwelling arthropods in tropical montane cloud forests. *Journal of Insect Science*, 11(28), 1-19.
- Santana, M.E.V., Souto, L.S. & Dantas, M.A.T. (2010) Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias – Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem. *Scientia Plena*, 6(12), 1-8.
- Santos, A.J., Buzatto, B. & Ferreira, R.L. (2013) Two New Cave-dwelling species of the Short-tailed Whipscorpion Genus *Rowlandius* (Arachnida: Schizomida: Hubbardiidae) from Northeastern Brazil, with Comments on Male Dimorphism. *Plos One*, 8, 1-12.
- Schneider, K. & Culver, D.C. (2004) Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high

- density cave region in West Virginia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66(2), 39-45.
- Sendra, A. & Reboleira, A.S.P.S. (2012) The world's deepest subterranean community - Krubera-Voronja Cave (Western Caucasus). *International Journal of Speleology*, 41(2), 221-230.
- Sharratt, N., Picker, M.D., Samways, M.J. (2000) The invertebrate fauna of the sandstone caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. *Biodiversity and Conservation*, 9, 107–143.
- Silva, F.J. (2006) *Invertebrados de cavernas do Distrito Federal: diversidade, distribuição temporal e espacial*. PhD thesis, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 131 pp.
- Simões, M.H. (2013) *Invertebrados cavernícolas: subsídios para determinação de cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 104 pp.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. (2012) *Eukoeneriavirgemdalapa* (Palpigradi: Eukoeneriidae): a new troglobitic palpigrade from Brazil. *Zootaxa*, 3295, 59-64.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. (2013) Two new species of the enigmatic *Leptokoeneria* (Eukoeneriidae: Palpigradi) from Brazil: first record of the genus outside intertidal environments. *Plos One*, 8, 1-18.
- Souza-Silva, M. (2008) *Ecologia e conservação de invertebrados cavernícolas na mata atlântica brasileira*. PhD thesis, Programa de Ecologia, Conservação e Manejo da Fauna Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 225 pp.
- Souza-Silva, M. & Ferreira, R. (2009) Estrutura das comunidades de invertebrados em cinco cavernas insulares e intertidais na costa brasileira. *Espeleo-Tema*, 20 (1), 25–36.
- Souza-Silva, M., Martins, R. P. & Ferreira, R. L. (2011a) Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the

- Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, 20, 1713-1729.
- Souza-Silva, M., Nicolau, J. C., Ferreira, R.L. (2011b) Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do Mandembe, Luminárias, MG..*Espeleo-Tema*, 22, 79-91.
- Souza-Silva, M., Bernardi, L. F. O., Martins, R. P., & Ferreira, R. L. (2012) Transport and consumption of organic detritus in a neotropical Limestone cave. *Acta Carsologica*, 41, 139-150.
- Standen, V. (2000) The adequacy of collecting methods for estimating species richness of grassland invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 37, 884–893.
- Toti, D.S., Coyle, F.A. & Miller, J.A. (2000) A structured inventory of Appalachian grass bald and heath bald spider assemblages and a test of species richness estimator performance. *Journal of Arachnology*, 28, 329-345.
- Trajano, E. (1987) Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia*, 3(8), 533-561.
- Trajano, E. (2000) Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. *Biotropica*, 32 (4), 882–893.
- Trajano, E., Bichuette, M. E. & Batalha, M. A. (2012) Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. *Espeleo-Tema*, 23(1), 13-22.
- Welbourn W.C. (1999) Invertebrate cave fauna of Kartchner Caverns, Arizona. *Journal of Cave and Karst Studies*, 61, 93-101.
- Wynne, J.J. & Pleytez, W. (2005) Sensitive ecological areas and species inventory of Actun Chapat Cave, VACA Plateau, Belize. *Journal of Cave and Karst Studies*, 67, 148–157.
- Zagmajster, M., Culver, D.C. & Sket, B. (2008) Species richness patterns of obligate subterranean beetles in a global biodiversity hotspot - effect of scale and sampling intensity. *Diversity and Distributions*, 14, 95-105.

- Zagmajster, M., Culver, D.C., Christman, M.C. & Sket, B. (2010) Evaluating the sampling bias in pattern of subterranean species richness – combining approaches. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3035-3048.
- Zampaulo, R. A. (2010) *Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 190 pp.
- Zeppelini-Filho, D., Ribeiro, A.A., Ribeiro, G.C., Fracasso, M.P.A., Pavani, M.M., Oliveira, O.M.P., Oliveira, A.S. & Marques, A.C. (2003) Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 43(5), 93-99.
- Yoshizawa, K., Ferreira, R.L., Kamimura, Y. & Lienhard, C. (2014) Female penis, male vagina, and their correlated evolution in a cave insect. *Current Biology*, 24, 1-5.

MANUSCRITO 2

**O USO DE DIFERENTES MÉTODOS DE COLETA ALTERA A
RELEVÂNCIA DAS CAVIDADES?**

Running title: O uso de diferentes métodos na Análise de Relevância

Manuscrito redigido conforme as normas da revista científica “Revista Brasileira de Espeleologia”, versão preliminar.

RESUMO

A análise de relevância de cavidades naturais subterrâneas, regulamentada pelo Decreto Federal nº 6.640/2008, consiste na valoração das cavidades, em graus de relevância, comparando uma série de atributos, entre eles, parâmetros biológicos. Entretanto, a Instrução Normativa que estabelece a metodologia para a classificação da relevância das cavernas não define os métodos de amostragem de fauna apropriados para as análises. Assim, técnicas distintas de coleta são utilizadas, gerando questionamentos sobre a capacidade da análise em manter a classificação de relevância quando utilizados diferentes métodos e dificultando a comparação das comunidades em escalas mais amplas. Desta forma, avaliamos o efeito dos métodos de coleta sobre a determinação do grau de relevância de cavernas em diferentes litologias. Para este experimento, escolhemos cavernas em três litologias diferentes. Cada cavidade foi dividida em quadrantes amostrais, onde os métodos de coleta manual foram avaliados. Em relação aos métodos de captura passiva, extratores de Winkler e armadilhas de queda foram empregados quando possível. A análise de relevância foi realizada considerando somente os atributos que podem ser analisados com os dados obtidos pela amostragem de diferentes métodos de coleta. Nossos resultados demonstram que em todas as cavernas amostradas houve alterações na relevância devido ao método de coleta escolhido para a análise. Espécies troglomórficas não foram amostradas por todos os métodos avaliados e, quando presentes, a quantidade de indivíduos foi diferente de acordo com o método. A ocorrência de táxons novos apresentou divergências conforme o método utilizado. Em relação ao atributo riqueza de espécies, a utilização de métodos diferentes promoveu a alteração nas variáveis em oito das nove cavernas estudadas. Os métodos de captura passiva apresentaram composição diferenciada quando comparada aos demais para quase todas as cavidades em escala local. Este estudo demonstra claramente que a aplicação de diferentes métodos de coleta altera consideravelmente o grau de relevância das cavidades. A permissividade da análise de relevância quanto às técnicas de amostragem dificulta a determinação de locais prioritários para a conservação e coloca em risco o patrimônio espeleológico brasileiro. Desta forma, a padronização dos métodos de coleta é necessária e urgente, visto que a classificação atual pode não ser capaz de valorar a rica fauna subterrânea do país.

Palavras-chave: Cavernas. Métodos de coleta. Fauna subterrânea. Análise de Relevância. Conservação.

INTRODUÇÃO

A legislação brasileira é composta por uma série de decretos e resoluções que discorrem sobre o patrimônio espeleológico nacional e o licenciamento ambiental (Figueiredo *et al.* 2010). Em 1990, foi instituído do Decreto 99556/90, o qual define que as cavernas constituem patrimônio cultural brasileiro e, como tal, seriam integralmente preservadas e conservadas. Entretanto, o aquecimento econômico ligado ao minério de ferro e o maior rigor dos órgãos de licenciamento ambiental promoveram a necessidade de se cadastrar e estudar o patrimônio espeleológico (ex. Auler & Piló 2005, Ferreira 2005). Em 2008, foi publicado o Decreto 6640, que dispõe uma nova abordagem a artigos do Decreto anterior, promovendo a valoração das cavidades por meio de estudos específicos e a possibilidade de supressão parcial ou total de cavernas em função de seu grau de relevância. Nesta perspectiva é então publicada uma Instrução Normativa em 2009 (IN 02/2009), que estabelece a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Posteriormente, em 2012, a Instrução Normativa MMA n°30 é publicada para estabelecer os procedimentos sobre a compensação espeleológica.

A análise de relevância de cavidades naturais subterrâneas, regulamentada pelo Decreto Federal n° 6.640/2008, consiste na avaliação comparativa de atributos físicos e biológicos em relação aos mesmos atributos de outras cavernas em escala local e regional. Esta análise prevê que as cavernas sejam classificadas em quatro graus de relevância distintos: máxima, alta, média e baixa. Os critérios para classificação de máxima relevância são apresentados no próprio Decreto, enquanto que os critérios e a metodologia para classificação dos demais graus estão presentes na Instrução Normativa MMA n° 02/2009.

Apesar de a referida IN apresentar uma série de atributos biológicos referentes à riqueza e abundância de espécies, que devem ser analisados para as cavernas durante os estudos ambientais, a mesma não define os métodos

de coleta apropriados para as análises. Desta forma, técnicas distintas de coleta são utilizadas nos estudos ambientais da fauna subterrânea, o que dificulta a comparação ou sobreposição das informações para avaliações em escalas mais amplas (Andrade 2010, Coelho *et al.* 2010, Mascarenhas 2013, Prous 2013, Oliveira *et al.* 2013). A ausência da padronização das coletas promove ainda questionamentos sobre a capacidade da análise em manter a classificação do grau de relevância de uma caverna quando esta é amostrada por diferentes métodos.

Neste contexto, considerando a necessidade legal da valoração das cavidades durante os estudos ambientais e o atual uso de diferentes métodos para amostrar a fauna subterrânea, com o presente estudo objetivou-se avaliar o efeito dos métodos de coleta sobre a determinação do grau de relevância de cavernas em diferentes litologias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido em nove cavernas, sendo três em cada uma das litologias: quartzito, calcário e minério de ferro (Tabela 1). Todas as cavidades estão inseridas no domínio da Mata Atlântica, no estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). No intuito de evitar grande impacto sobre as populações da fauna subterrânea pela sobreposição de métodos, as coletas foram realizadas apenas na estação chuvosa, pois a riqueza de espécies em cavernas geralmente é maior neste período (Sharrat *et al.* 2000). Desta forma, apesar da Instrução Normativa (IN 02/2009) exigir pelo menos dois eventos de coleta, respeitando as variações sazonais que correm nas comunidades subterrâneas, esta prática não foi adotada no presente estudo uma vez que objetivo se restringiu à comparação dos métodos.

Tabela 4. Lista de todas as cavernas estudadas. A localização está em UTM (E, N, Z) e é informado a litologia, projeção horizontal em metros (PH), área estimada em metros quadrados (ÁREA EST.), número de quadrantes (Nº DE QUAD.) e data de coleta para cada caverna.

CAVERNA	SIGLA	MUNICÍPIO	LITOLOGIA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			PH (m)	ÁREA EST. (m ²)	Nº DE QUAD.	DATA DE COLETA
				E	N	Z				
Gruta do Lobo	GL	Luminárias	Quartzito	519836	7617734	23	122,00	398,25	177	05 e 06/03/2013
Gruta do Campo I	GC1	Luminárias	Quartzito	520333	7618185	23	60,60	261,00	116	08/03/2013
Gruta do Campo III	GC3	Luminárias	Quartzito	520243	7618156	23	25,00	83,25	37	07/03/2013
Gruta do Mamute	MAM	Pains	Calcário	429612	7743143	23	90,00	153,00	68	28/03/2013
Gruta dos Macacos I	MAC1	Pains	Calcário	429828	7743267	23	56,00	137,25	61	29/03/2013
Gruta do Carlinhos	CARL	Pains	Calcário	429739	7743832	23	40,00	67,50	30	30/03/2013
Gruta das Clarabóias	CLAB	Santa Bárbara	Minério de Ferro	640345	7775728	23	27,99	58,50	26	03/05/2013
Gruta dos Morgan	MORG	Santa Bárbara	Minério de Ferro	641230	7774921	23	25,59	56,25	25	02/05/2013
Gruta do Morro Redondo	MORR	Santa Bárbara	Minério de Ferro	640238	7774417	23	38,24	105,75	47	01/05/2013

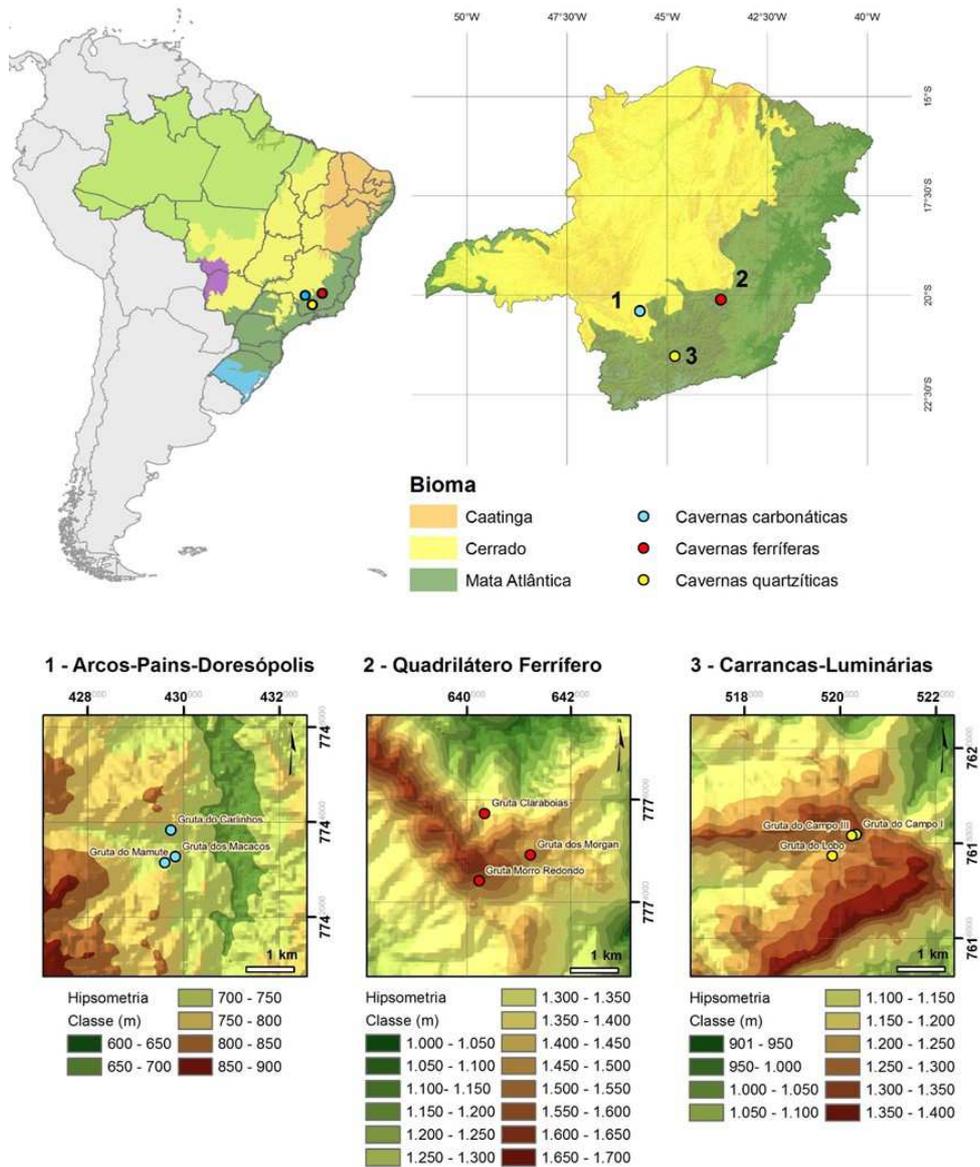


Figura 14. Mapa dos biomas brasileiros com localização das cavernas amostradas de acordo com a litologia.

Métodos de coleta empregados

Coleta manual por plotagem de espécimes (Ferreira 2004) (F.04)

Este método é caracterizado pela procura detalhada em diferentes micro-habitats, no intuito de determinar a composição da fauna nas cavernas. As espécies têm suas abundâncias estimadas por meio de contagem dos organismos em campo, com anotação do seu local de captura em um croqui da caverna (Ferreira 2004). Esta metodologia visa diminuir o impacto promovido pela coleta, reduzindo a amostragem de espécimes que sejam considerados de uma mesma espécie. Este método não é limitado pelo tempo ou área amostral, de modo que a coleta é finalizada quando o coletor julgar que todas as espécies presentes foram amostradas e contabilizadas.

Coleta manual por Tempo/m² (T1, T2 e T3)

Este método é caracterizado pela busca por invertebrados na maior diversidade possível de ambientes encontrados no interior da cavidade, utilizando-se, para isto, de intervalos de tempo padronizados por unidades de área (padronizadas ou não). A área total da caverna é inventariada, sendo que o tempo disponibilizado ao coletor depende da dimensão da cavidade e da diversidade dos substratos encontrados (Zeppelini-Filho *et al.* 2003, Andrade 2010). Neste método, indivíduos similares que apresentam alta abundância não são exaustivamente amostrados.

No presente estudo, com intuito de avaliar a riqueza de espécies encontradas em cada período de tempo, utilizamos três categorias: 30s/m², 60s/m² e 90s/m², denominadas T1, T2 e T3 respectivamente. As categorias de tempo foram ajustadas para os quadrantes de 2,25 m².

Coleta Manual por Exaustão (EXT)

Por meio deste método realizou-se uma varredura detalhada por toda a área da cavidade, independentemente do tipo de substrato e sem quaisquer limitações de tempo de coleta. Durante a amostragem, foram capturados todos os indivíduos avistados. Este método permitiu aferir a eficiência dos demais métodos de coleta manual ao amostrar espécimes que não foram

considerados em outros métodos, seja pela busca pormenorizada ou por terem sido considerados similares aos que já haviam sido coletados.

Extrator de Winkler

Para este método, foram retiradas amostras de serrapilheira das cavernas no intuito de amostrar a fauna presente neste tipo de substrato. As amostras foram agitadas por meio de peneiras antes da inserção nos extratores, para desalojar a fauna e remover o excesso de material amostrado. Após a peneiração, cada amostra foi colocada dentro de um saco de tecido de malha grossa e levada a um extrator mini-Winkler (Fisher 1999) por um período de 72 horas. O material filtrado pelo extrator foi mantido em recipientes com álcool 70%.

Armadilhas de queda (Pitfall)

Este método consistiu na instalação, no piso das cavernas, de recipientes plásticos (6 cm de diâmetro, 8 cm de profundidade) enterrados no solo até a borda, contendo, em parte, álcool 70%. Em cada armadilha havia uma isca (fígado) como atrativo para aumentar a eficiência de captura. O tempo de amostragem para este método foi 72 horas contínuas, evitando possível viés na captura decorrente de variação temporal da atividade da fauna (Mommertz *et al.* 1996).

Procedimentos

Coleta e identificação dos taxa

Cada cavidade teve sua área dividida em quadrantes de 1,5m x 1,5m (2,25m²) onde as metodologias de captura ativa foram avaliadas (Figura 2). Para a realização do experimento, cada quadrante teve sua fauna amostrada pelos métodos de captura ativa. O procedimento de coleta por quadrante ocorreu em equipes compostas por um coletor e um responsável por delimitar o tempo de coleta com o auxílio de um cronômetro.

Embora os métodos de coleta manual por plotagem de espécimes e de amostragem por tempo/m² sejam distintos quanto à limitação temporal na busca por invertebrados, ambos apresentam características operacionais semelhantes, priorizando a coleta em locais potenciais para a ocorrência da

fauna. Desta forma, assumindo que estes métodos se diferem basicamente pela limitação temporal, a coleta nos quadrantes procedeu da seguinte maneira: o coletor iniciou sua coleta pela metodologia de plotagem de espécimes e também de tempo/m², com o responsável pelo cronômetro atento ao término das categorias de tempo (T1, T2 e T3). Ao atingir o período limite da primeira categoria de tempo (T1), o recipiente de coleta foi substituído e entregue pelo coletor ao responsável por delimitar o tempo, assim obteve-se os dados da composição e riqueza de espécies neste primeiro tempo de coleta. O mesmo procedimento foi realizado para as demais categorias temporais, com um novo recipiente para coleta a cada intervalo de tempo.

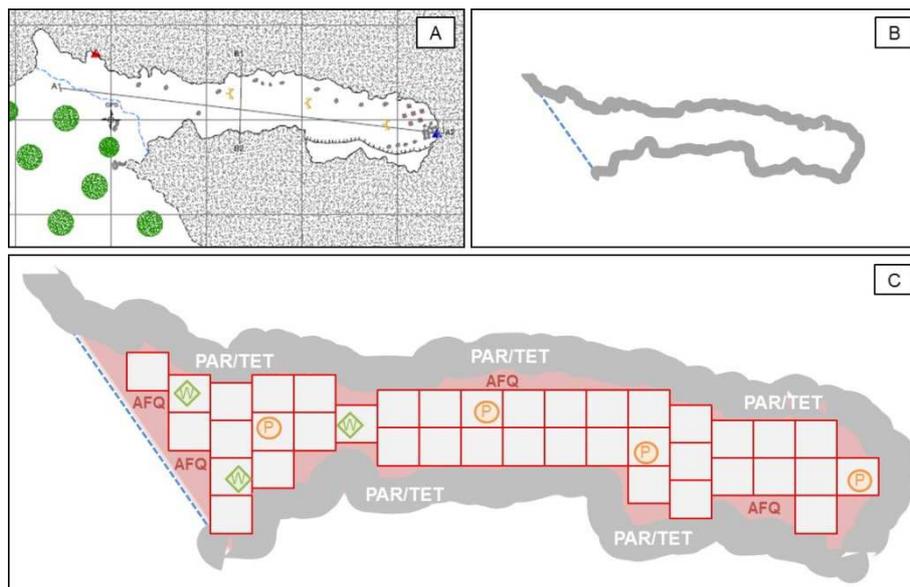


Figura 15. Aplicação dos métodos avaliados em uma cavidade fictícia. A) Planta baixa da cavidade fictícia; B) Perímetro previsto para a cavidade. A barra azul indica a linha d'água desta cavidade, onde fecha o primeiro plano horizontal; C) Disposição dos quadrantes (1,5mx1,5m) no interior da cavidade, onde foram aplicados os métodos de coleta manual. Os métodos de captura passiva são representados pelos extratores de Winkler (W, losango em verde) e armadilhas de queda (P, círculos em laranja). As demais áreas não contempladas pelos quadrantes também foram amostradas: paredes e tetos (PAR/TET) e a área fora dos quadrantes (AFQ).

A riqueza e composição de espécies em cada categoria de tempo foi representada pela soma das categorias anteriores. Para T1, avaliamos os espécimes encontradas durante esta primeira categoria. Em T2, consideramos os espécimes encontradas durante esta categoria, acrescidas do total de espécimes encontrado em T1. Em T3, foram considerados os indivíduos encontradas durante este período de tempo e os encontrados nas categorias T1 e T2.

Como no método por plotagem de espécimes não há limitação temporal, este ocorreu ininterruptamente até que o momento em que o coletor julgou que a amostragem foi suficiente. Assim, o término da coleta por este método incidiu em momento distintos, seja durante alguma categoria de tempo ou após a finalização destas. Desta forma, a riqueza e composição de espécies encontrada neste método foi o somatório da riqueza encontrada nas categorias de tempo finalizadas anteriormente e acrescidas da riqueza encontrada até o término do método por plotagem de espécimes. Por exemplo, em uma situação em que a coleta por plotagem foi finalizada entre as categorias de tempo T2 e T3, os espécimes considerados para este método corresponderam ao somatório das categorias de tempo T1 e T2, acrescidas ainda dos indivíduos encontrados no intervalo de coleta entre T2 e T3 no qual o método por plotagem de espécimes ainda estava sendo realizado.

A coleta manual por exaustão iniciou apenas após o término dos demais métodos de captura ativa. Desta forma, as espécies amostradas por exaustão foram representadas pelo somatório encontrado pelos demais métodos acrescida ainda dos indivíduos coletados durante o período da coleta exaustiva.

Os métodos de captura passiva foram utilizados para avaliar a fauna da cavidade como um todo, de forma que tais armadilhas não foram instaladas e extraídas em todos os quadrantes. Para a coleta de amostras para o extrator de Winkler, foram selecionados locais que apresentaram grande quantidade de serrapilheira e matéria orgânica, quando presentes. Esta

técnica não foi aplicada na Gruta do Mamute, Gruta dos Macacos I e Gruta dos Morgan devido à ausência de substratos. As armadilhas de queda (*pitfall*) foram instaladas em locais distantes das zonas de entrada das cavidades, evitando a coleta de espécies da comunidade epígea. O número de *pitfalls* foi proporcional à dimensão de cada cavidade, sendo instalado um a cada 15m, aproximadamente. Priorizamos a instalação em locais onde a coleta manual fosse inacessível e/ou ineficiente, como regiões com grandes blocos abatidos que dificultam a coleta.

Adicionalmente aos métodos utilizados, a área do piso das cavidades que não pôde ser amostrada em quadrantes, teve sua fauna coletada pelo método de exaustão (Figura 2). O mesmo ocorreu para paredes e teto (PAR/TET). Esta prática permitiu avaliar a fauna não observada dentro dos quadrantes. Os espécimes encontrados nestas áreas foram adicionados aos demais e considerados na avaliação de todos os métodos.

Em relação aos vertebrados, a ocorrência foi registrada por meio de imagens fotográficas e anotações em planilha de campo, não sendo realizada a coleta de espécimes.

Todos os organismos coletados foram fixados em álcool 70% e transportados para o laboratório, onde foram identificados até o menor nível taxonômico possível, separados em morfoespécies e encaminhados para especialistas. A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada por meio da identificação, nos espécimes, de características morfológicas denominadas “troglomorfismos” (p.e. redução das estruturas oculares, alongamento de apêndices, dentre outras). Tais características utilizadas foram avaliadas por táxon, com o auxílio dos especialistas/taxonomistas.

Em relação aos vertebrados, quando não foi possível realizar a identificação em campo, as imagens foram separadas e comparadas às identificações presentes em materiais bibliográficos especializados. Quando necessário, especialistas foram consultados.

Análise de Relevância

A classificação da relevância das cavidades baseia-se na análise em escala local e regional. A primeira é delimitada pela unidade geomorfológica, como serras, morrotes ou sistema cárstico. A escala regional compreende a unidade espeleológica, ou seja, área com homogeneidade fisiográfica que apresente diversas formas do relevo cárstico e pseudocárstico, como dolinas, sumidouros, cavernas, entre outros (IN 02/2009). Uma vez que o objetivo com o presente estudo é avaliar os efeitos de diferentes métodos de coleta na análise dos atributos que definem a relevância das cavidades, realizou-se as análises apenas em escala local. As cavernas avaliadas foram agrupadas de acordo com a litologia, respeitando os limites das unidades espeleológicas e geomorfológicas.

Para a determinação da relevância, cada método foi considerado como uma unidade amostral. Assim, a análise foi realizada agrupando as cavernas em escala local e conforme o método avaliado.

De acordo com o Decreto 6.640/2008, considerando apenas os atributos biológicos, a cavidade deve ser considerada de máxima relevância quando apresentar pelo menos um dos seguintes atributos: 1) abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais; 2) habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos; 3) habitat de troglóbio raro e 4) interações ecológicas únicas. Os conceitos a serem considerados para cada item são informados no Anexo I da Instrução Normativa (IN 02/2009).

As espécies troglóbias com distribuição restrita às cavernas deste estudo foram consideradas raras. Para as demais, não foi determinada a raridade, pois o baixo número de cavernas amostradas em cada litologia e a ausência de informações sobre a fauna epígea adjacente impossibilita a avaliação da real distribuição dos espécimes encontrados.

A classificação das cavernas como de alta, média ou baixa relevância é definida pelos atributos apresentados nos artigos 7º, 8º, 9º e

10ºda IN 02/2009. Neste trabalho avaliamos somente os atributos que podem ser analisados com os dados obtidos pela amostragem de diferentes métodos de coleta (Tabela 2).

Para a análise de riqueza no contexto local das cavidades em minério de ferro, além dos dados obtidos no presente estudo, foram utilizados os dados da riqueza de 88 cavidades da Serra da Gandarela (Coelho *et al.* 2010, Prous 2013). Para as cavernas quartzíticas, foram considerados a riqueza de quatro cavidades do Vale do Mandembe (Souza-Silva 2011b). Quanto às cavernas calcárias, foram considerados os dados de riqueza de espécies de 167 cavidades da província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG) (Ferreira 2004, Zampaulo 2010).

A riqueza de espécies foi obtida por meio do somatório do total de morfoespécies encontradas para os diferentes métodos, em cada caverna. Os valores para as variáveis (alta, média e baixa) do atributo riqueza de espécies foram definidos por meio do cálculo da média e desvio padrão do número de espécies encontrados em escala local (considerando o somatório das espécies encontradas em cada caverna nos estudos anteriores). Para isso, foram utilizados os dados de riqueza das cavernas amostradas nos estudos anteriores, em escala local, e inserimos estas informações no cálculo da média e desvio padrão de espécies para cada método. Desta forma, para o cálculo da riqueza média e desvio padrão, agrupamos a riqueza de espécies encontradas nas cavernas de uma mesma litologia (escala local) conforme o método de amostragem considerado e adicionamos, em cada grupo, as informações de riqueza das cavernas amostradas em estudo anteriores. Para cada método, as cavernas que apresentaram número de espécies acima do somatório da riqueza média com o desvio padrão foram consideradas como alta riqueza de espécies. Quando abaixo da diferença entre a média e desvio padrão, baixa riqueza de espécies. Aquelas cavidades cuja o número de espécies estivesse entre os limites da soma e diferença entre a riqueza média e desvio padrão foram consideradas como média riqueza de espécies.

Para o cálculo da abundância relativa foram considerados apenas as espécies com tamanho corporal maiores ou igual a 1 cm (IN 02/2009). Os valores de abundância foram obtidos pelo somatório de indivíduos de uma mesma espécie. A classificação (alta, média e baixa abundância relativa) foi definida por meio do cálculo da média e desvio padrão da abundância de espécies em cada caverna. Assim, uma espécie foi considerada com abundância alta em uma caverna quando esta apresentou abundância acima da média geral acrescida do desvio padrão. A espécie foi considerada com abundância relativa baixa quando sua abundância foi inferior à média menos o desvio padrão. O intervalo entre estas duas classes foi considerado como abundância relativa média. Para reduzir as diferenças numéricas existentes entre certas populações e evitar valores negativos devido a eventuais valores elevados de desvio padrão, os valores da abundância de cada população foram transformados em $\log(x)+1$, sendo “x” o número de indivíduos em cada população. Quando espécies maiores que 1 centímetro não foram registradas ou somente um espécime (destas espécies) foi registrado, não foram realizados cálculos referentes a este atributo, devido à inviabilidade estatística da análise.

Para a avaliação da singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local foi utilizada a análise de dispersão multivariada (PERMDISP). Esta análise demonstra a singularidade das cavidades com base na distância das amostras em relação à média do grupo, considerando a composição, riqueza e abundância de espécies, avaliados pelo índice de Bray-Curtis. As cavernas com maiores distância em relação à média promovem mais variação no grupo e, portanto, devem ser consideradas como singulares em relação às demais. Entretanto, quando o resultado desta análise apresenta distâncias muito semelhantes, indica que as amostras ou são todas muito parecidas, ou são todas muito diferentes entre si. Desta forma, para avaliação mais precisa, adicionalmente a análise de dispersão multivariada foi realizado um dendograma (Cluster, UPGA) construído com base na composição quantitativa da fauna de invertebrados, usando o índice

de Bray-Curtis (Magurram 2004). Nesta análise, quanto maior a distância entre as comunidades maior será a dissimilaridade entre ambas. Assim, as cavidades que apresentaram elevados valores na dispersão multivariada e alta dissimilaridade no Cluster foram consideradas como singulares em escala local. Para a realização da análise de dispersão multivariada (PERMDISP) foi utilizado o software Primer 6 (Clarke & Gorley 2006). O dendograma (Cluster) foi elaborado no software PAST (Hammer et. al. 2001).

Tabela 5. Atributos e conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas no presente estudo (retirados da IN02/2009).

Atributo avaliado	Conceito	Variável
Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais	Cavidade que compreenda um abrigo, ou parte importante do habitat de espécies constantes de lista oficial, nacional ou do estado de localização da cavidade, de espécies ameaçadas de extinção.	Presença
		Ausência
Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos	Presença de espécie troglóbia com distribuição geográfica restrita (troglóbio endêmico). Presença de espécie troglóbia sem registro de parentes epígeos próximos (relicto filogenético), ou ainda, cujos parentes epígeos mais próximos se encontram em uma região geográfica distinta (relicto geográfico).	Presença
		Ausência
Habitat de troglóbio raro	Presença de espécie troglóbia que apresente número reduzido de indivíduos, ou de distribuição geográfica restrita.	Presença
		Ausência
Interações ecológicas únicas	Ocorrência de interações ecológicas duradouras raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico/evolutivo.	Presença
		Ausência
Localidade tipo	Caverna citada como local geográfico de onde foram coletados os exemplares tipo utilizados na descrição de determinada espécie ou táxon superior.	Presença
		Ausência
Populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante (polinizadores, dispersores de sementes e morcegos insetívoros) que possuam relação significativa com a cavidade.	Presença
		Ausência
Presença de táxons novos	Ocorrência de animais pertencentes a táxons ainda não descritos formalmente.	Presença
		Ausência

Cont. Tabela 2. Atributos e conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas no presente estudo (retirados da IN 02/2009).

Atributo avaliado	Conceito	Variável
Riqueza de espécies	Estimativa do número de espécies presentes na caverna.	Alta Média Baixa
Abundância relativa	Estimativa da quantidade de indivíduos de cada espécie, considerando vertebrados e os invertebrados cujos adultos possuam tamanho corporal igual ou superior a 1 cm.	Alta (30% ou mais das espécies apresentam abundância alta) Média (de 10% a 20% das espécies apresentam abundância alta) Baixa (menos de 10% das espécies apresentam abundância alta)
Composição singular da fauna	Ocorrência de populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola.	Presença Ausência
Presença de espécies troglóbias que não consideradas raras, endêmicas ou relictas	Animais de ocorrência restrita ao ambiente subterrâneo.	Presença Ausência
Presença de espécies troglomórficas	Ocorrência de animais cujas características morfológicas revelem especialização decorrente do isolamento no ambiente subterrâneo.	Presença Ausência

Cont. Tabela 2. Atributos e conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas no presente estudo (retirados da IN 02/2009).

Atributo avaliado	Conceito	Variável
Presença de troglóxeno obrigatório	Troglóxeno que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida.	Presença Ausência
População excepcional em tamanho	Conjunto de indivíduos da mesma espécie com número excepcionalmente grande de indivíduos.	Presença Ausência
Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	Especificidade ou endemismo dos elementos bióticos identificados na cavidade, se comparados àqueles também encontrados no enfoque local.	Presença Ausência

RESULTADOS

Foram coletados 16.889 espécimes de invertebrados e observados 25 vertebrados, totalizando 705 espécies, de aproximadamente 221 famílias e 36 ordens (Apêndice 1). Avaliando as diferentes litologias amostradas, mais espécies foram observadas em cavernas ferruginosas (412 spp.), seguidas pelo quartzito (289 spp.) e calcário (228 sp.). A Gruta Clarabóias (Minério de Ferro) apresentou a maior riqueza (263 spp.), seguida pela Gruta Morro Redondo (Minério de Ferro) (210 spp.) e Gruta do Lobo (Quartzito) (170 spp.), respectivamente (Tabela 3).

Apenas duas espécies apresentaram troglomorfismos e foram consideradas troglóbias: *Pseudochthonius* sp1 (Pseudoscorpiones: Chthoniidae) e *Troglobius* sp1 (Collembola: Paronellidae). A primeira foi considerada rara e endêmica, estando, até o momento, com a distribuição restrita apenas às cavidades calcárias inventariadas neste estudo. A espécie do gênero *Troglobius*, além de rara (está restrita às cavernas em quartzito do presente estudo) e endêmica, foi considerada um relictos geográfico (ver discussão). Estas espécies não foram amostradas por todos os métodos avaliados e, quando presentes, a quantidade de indivíduos foi diferente de acordo com o método (Tabela 3).

Apenas uma espécie de morcego (Phillostomidae: *Carollia perspicillata*) com população estabelecida e função ecológica importante foi encontrada (ver discussão). Em relação aos táxons novos, além das espécies troglóbias, que certamente representam novas espécies, outras quatro espécies foram consideradas novas (Tabela 4). Três espécies novas referem-se à ordem Collembola, duas das quais, representam novos gêneros (gen. nov. ca. *Gisinurus*, da família Sminthuridae e gen. nov. ca. *Tritosminthurus*, da família Bourletiellidae) e uma nova espécie do gênero *Cyphoderus* (Paronellidae). A outra espécie nova pertence a ordem Acari (Opiliacaridae: *Neocarus* sp.n.). A ocorrência de táxons novos apresentou divergências conforme o método utilizado (Tabela 4).

Em relação às categorias de riqueza de espécies previstas pela IN 02/2009, a utilização de métodos diferentes promoveu a alteração nas variáveis em oito das nove cavernas estudadas (Tabela 5). Em quatro cavidades, a riqueza de espécies pode ser considerada baixa, média ou mesmo alta de acordo com o método de coleta empregado. Para abundância relativa, o mesmo padrão foi encontrado: oito cavidades apresentaram divergências em relação às categorias avaliadas para este atributo (Tabela 6).

A análise de dispersão multivariada e o cluster demonstraram que os métodos de captura passiva apresentaram composição faunística singular para quase todas as cavidades em escala local quando comparada às demais técnicas (Figuras 3, 4 e 5). O extrator de Winkler foi a técnica que mais contribuiu no acréscimo de espécies diferentes para os grupos de cavernas quartzíticas e calcárias (Figuras 3 e 4). Em cavernas ferruginosas, as armadilhas de queda amostraram as comunidades mais singulares (Figura 5).

Independentemente dos métodos avaliados ou da litologia, não houve espécies que contemplassem os atributos: “Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais”, “Localidade Tipo”, “Presença de espécies troglóbias que não consideradas raras, endêmicas ou relictas”, “Presença de troglóxeno obrigatório” e “População excepcional em tamanho”. Em relação ao atributo “Interações ecológicas únicas”, nenhuma interação ecológica rara ou incomum foi observada durante o estudo. Quanto ao atributo “composição singular da fauna”, todas as cavernas apresentaram espécies comumente encontradas em comunidades associadas ao ambiente subterrâneo.

Para os demais atributos presentes na Instrução Normativa (IN 02/2009) avaliados, houve variações conforme o método de coleta utilizado (Tabelas 7, 8 e 9). Em todas as cavernas amostradas houve alterações na relevância devido ao método de coleta escolhido para a análise (Tabelas 7, 8 e 9). Entre as cavernas quartzíticas, a Gruta do Campo III apresentou a maior variação, podendo ser de relevância baixa, média ou até máxima conforme o

método empregado (Tabela 7). A Gruta do Carlinhos, entre as calcárias, apresenta baixa relevância quando utilizada a categoria T1 da coleta manual de tempo/m² e máxima relevância quando consideram todos os métodos (Tabela 8). Nas cavernas ferruginosas, a Gruta dos Morgan apresentou maior variação de relevância (Tabela 9). Quando utilizados todos os métodos, seis das nove cavidades avaliadas foram consideradas de máxima relevância (Tabelas 7, 8 e 9). A determinação de baixa relevância das cavidades ocorreu apenas quando utilizado as categorias T1 e T2 da coleta manual de tempo/m² (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 6. Riqueza (S) e abundância (Ab) de espécies amostradas de acordo com os métodos utilizados, por caverna e litologia. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão. ST = Riqueza de espécies troglomórficas. AbT = Abundância de espécies troglomórficas. Lito = Litologia.

		T1				T2				T3				F.04			
		S	Ab	ST	AbT	S	Ab	ST	AbT	S	Ab	ST	AbT	S	Ab	ST	AbT
Cavernas	GL	43	198	0	0	58	353	0	0	66	481	0	0	73	896	0	0
	GC1	28	114	1	15	43	211	1	27	53	289	1	42	50	730	1	109
	GC3	18	58	0	0	26	93	0	0	32	136	0	0	44	342	0	0
	MAM	16	30	0	0	23	46	0	0	30	70	0	0	22	63	0	0
	MAC1	16	20	0	0	22	35	0	0	31	86	0	0	24	109	0	0
	CARL	19	60	0	0	29	100	1	1	35	143	1	1	39	429	1	1
	CLAB	31	49	0	0	52	98	0	0	62	133	0	0	70	296	0	0
	MORG	18	39	0	0	23	67	0	0	32	108	0	0	38	209	0	0
	MORR	32	70	0	0	46	144	0	0	55	206	0	0	80	443	0	0
Lito	Quart.	66	370	1	15	91	657	1	27	110	906	1	42	121	1968	1	109
	Calc.	48	110	0	0	65	181	1	1	84	299	1	1	73	601	1	1
	Ferro	60	158	0	0	87	309	0	0	109	447	0	0	140	948	0	0

CONTINUA...

Cont. Tabela 3. Riqueza (S) e abundância (Ab) de espécies amostradas de acordo com os métodos utilizados, por caverna e litologia. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão. ST = Riqueza de espécies troglomórficas. AbT = Abundância de espécies troglomórficas. Lito =

		EXT				Winkler				Pitfall				Todos			
		S	Ab	ST	AbT	S	Ab	ST	AbT	S	Ab	ST	AbT	S	Ab	ST	AbT
Cavernas	GL	116	1939	0	0	38	275	0	0	19	270	0	0	170	2720	1	2
	GC1	86	1143	1	108	36	117	0	0	17	285	1	6	133	1742	1	120
	GC3	63	555	1	29	37	87	0	0	11	153	0	0	105	885	1	29
	MAM	50	368	1	1	-	-	-	-	21	664	0	0	71	1262	1	1
	MAC1	58	253	1	2	-	-	-	-	20	794	0	0	98	1291	1	2
	CARL	80	876	1	2	41	153	0	0	22	2268	0	0	145	3491	1	4
	CLAB	107	558	0	0	166	1677	0	0	26	296	0	0	263	2621	0	0
	MORG	62	502	0	0	-	-	-	-	14	187	0	0	94	833	0	0
	MORR	124	951	0	0	66	347	0	0	33	670	0	0	210	2066	0	0
Lito	Quart.	185	3637	1	137	90	479	0	0	32	708	1	6	289	5347	1	151
	Calc.	146	1497	1	5	41	153	0	0	47	3726	0	0	228	6044	1	7
	Ferro	216	2011	0	0	202	2024	0	0	52	1153	0	0	412	5520	0	0

Tabela 8. Avaliação do atributo “riqueza de espécies” para os diferentes métodos de coleta de acordo com escala local (litologia). Para cada método e litologia são fornecidos a riqueza média local e o desvio padrão (DP). As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão.

		T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos
Quartzito	Riqueza Média (DP)	35,50 (±12,55)	41,83 (±12,51)	45,83 (±13,75)	48,50 (±14,15)	64,83 (±29,30)	39,17 (±8,71)	28,50 (±15,53)	88,67 (±51,63)
	Gruta do Lobo	Média	Alta	Alta	Alta	Alta	Média	Média	Alta
	Gruta do Campo I	Média							
	Gruta do Campo III	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Baixa	Média
Calcário	Riqueza Média (DP)	41,09 (±18,07)	41,23 (±17,92)	41,36 (±17,83)	41,29 (±17,89)	41,90 (±18,07)	41,04 (±18,33)	41,16 (±17,98)	42,64 (±20,04)
	Gruta do Mamute	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Média	-	Baixa	Alta
	Gruta dos Macacos I	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	-	Baixa	Alta
	Gruta do Carlinhos	Baixa	Média	Média	Média	Alta	Média	Baixa	Alta
M. de Ferro	Riqueza Média (DP)	39,67 (±16,92)	40,20 (±16,86)	40,57 (±16,97)	41,08 (±17,60)	42,46 (±20,74)	42,21 (±22,30)	39,57 (±17,03)	46,07 (±36,25)
	Gruta Clarabóias	Média	Média	Média	Alta	Alta	Alta	Média	Alta
	Gruta dos Morgan	Média	Baixa	Média	Média	Média	-	Baixa	Alta
	Gruta Morro Redondo	Média	Média	Média	Alta	Alta	Alta	Média	Alta

Tabela 9. Avaliação do atributo “abundância de espécies” para os diferentes métodos de coleta de acordo com escala local (litologia). Os valores representam o percentual de espécies que apresentam abundância alta. As cores demonstram a classificação da abundância relativa: Verde = Baixa abundância relativa. Amarelo = Média abundância relativa. Vermelho = Alta abundância relativa. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão.

		T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos
Quart.	Gruta do Lobo	14,29%	22,22%	20,00%	18,18%	11,11%	0,00%	25,00%	8,33%
	Gruta do Campo I	20,00%	22,22%	15,38%	18,18%	11,76%	33,33%	33,33%	17,39%
	Gruta do Campo III	0,00%	0,00%	14,29%	12,50%	20,00%	0,00%	25,00%	13,33%
Calcário	Gruta do Mamute	25,00%	20,00%	20,00%	25,00%	14,29%	-	16,67%	14,29%
	Gruta dos Macacos I	0,00%	25,00%	16,67%	16,67%	9,09%	-	25,00%	5,26%
	Gruta do Carlinhos	0,00%	25,00%	25,00%	20,00%	14,29%	-	33,33%	5,26%
M. Ferro	Gruta Clarabóias	20,00%	16,67%	28,57%	25,00%	20,00%	33,33%	33,33%	15,79%
	Gruta dos Morgan	-	0,00%	0,00%	0,00%	12,50%	-	33,33%	6,25%
	Gruta Morro Redondo	20,00%	14,29%	14,29%	6,67%	4,00%	-	25,00%	3,33%

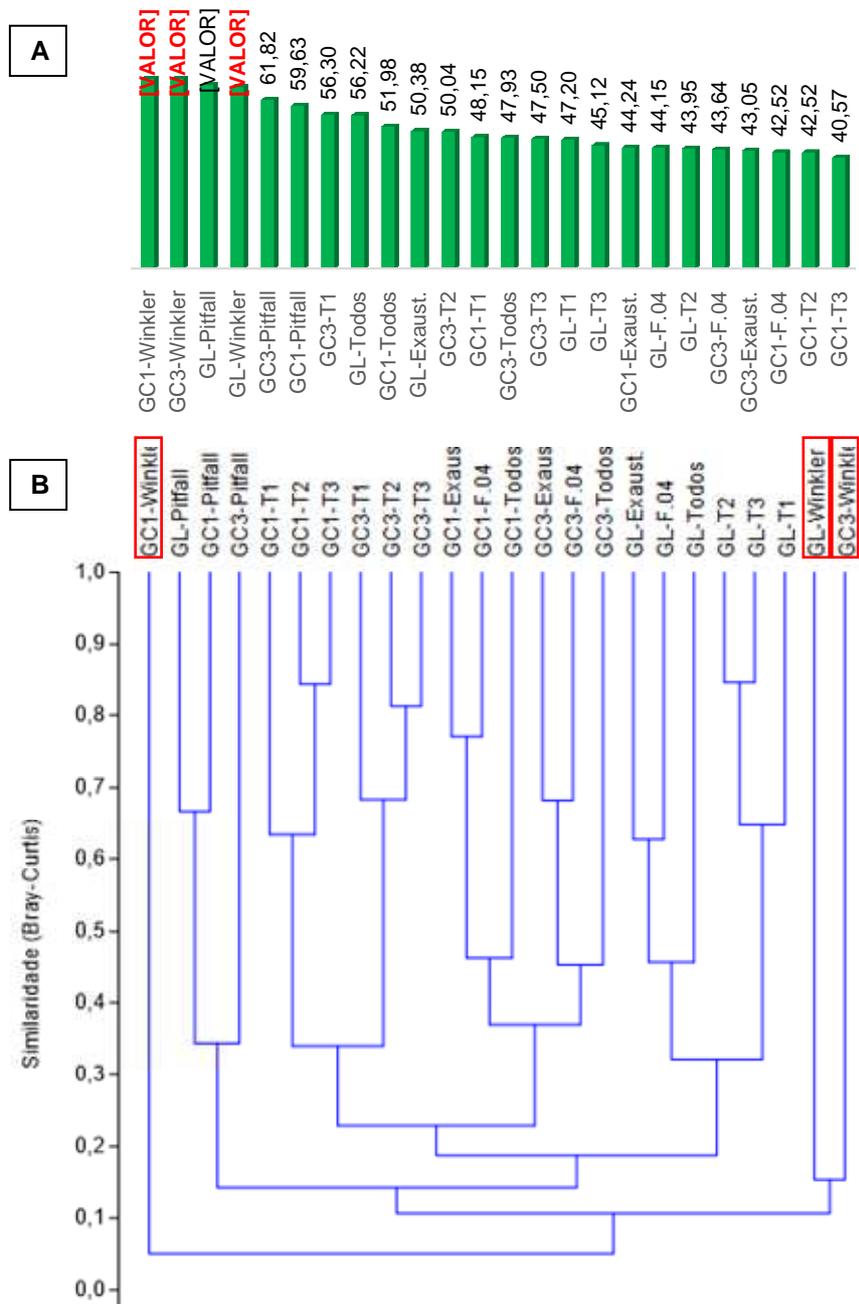


Figura 16. A) Histograma com a medida da dispersão permutacional (PERMDISP) dos métodos para as cavidades quartzíticas. B) Dendrograma evidenciando os padrões de similaridade (Bray-Curtis) entre os métodos (ICC=0,83). Em vermelho, os métodos que apresentaram singularidade dos elementos faunísticos. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXAUST = coleta manual por exaustão.

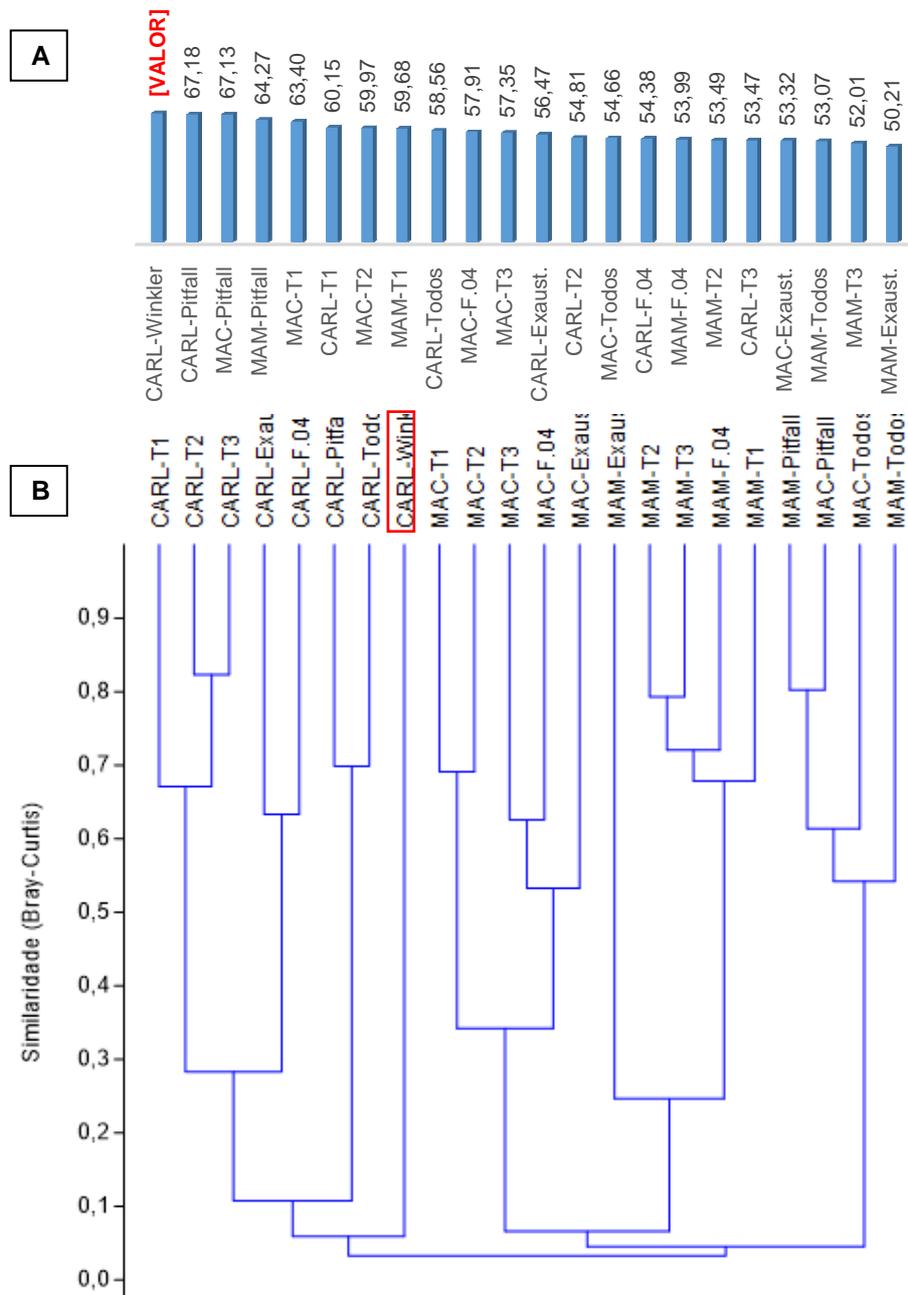


Figura 4. A) Histograma com a medida da dispersão permutacional (PERMDISP) dos métodos para as cavidades calcárias. B) Dendrograma evidenciando os padrões de similaridade (Bray-Curtis) entre os métodos (ICC=0,96). Em vermelho, os métodos que apresentaram singularidade dos elementos faunísticos. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXAUST = coleta manual por exaustão.

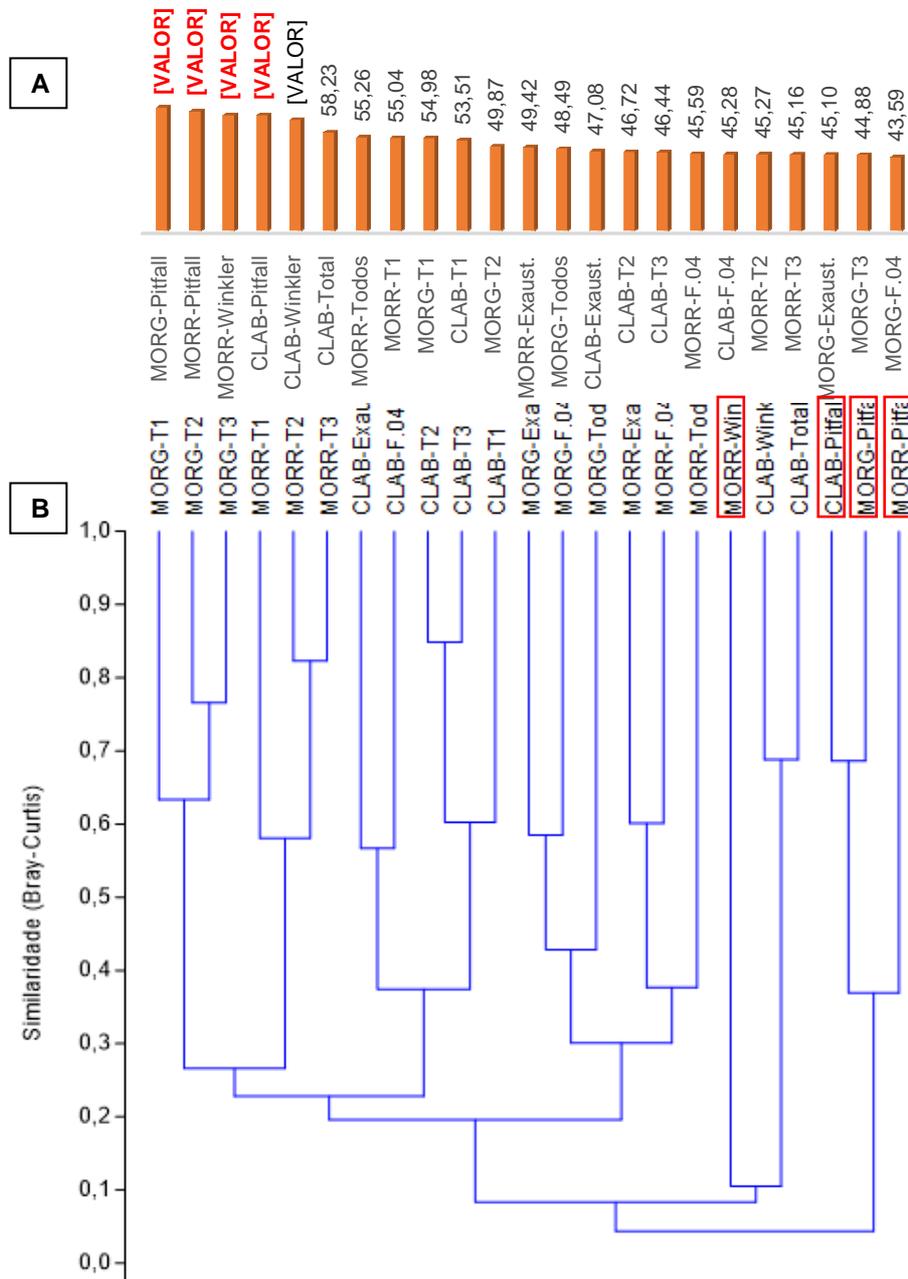


Figura 4. A) Histograma com a medida da dispersão permutacional (PERMDISP) dos métodos para as cavidades ferruginosas. B) Dendrograma evidenciando os padrões de similaridade (Bray-Curtis) entre os métodos (ICC=0,85). Em vermelho, os métodos que apresentaram singularidade dos elementos faunísticos. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXAUST = coleta manual por exaustão.

Tabela 10. Resumo da análise de relevância das cavernas quartzíticas de acordo o método de coleta. O (X) indica presença do atributo avaliado e (-) indica que o atributo está ausente. O grau de relevância das cavidades é indicado pelas letras: MX = Máxima; A = Alta; M = Média; B = Baixa. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão.

INCISOS	ATRIBUTOS AVALIADOS	Gruta do Lobo							Gruta do Campo I							Gruta do Campo III									
		T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos	T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos	T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos
VII	Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X
VIII	Habitat de troglóbio raro	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X
IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB O ENFOQUE LOCAL E REGIONAL (Art. 7º)																									
II	Populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	Presença de táxons novos	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X
IV	Alta riqueza de espécies	-	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	Alta abundância relativa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VIII	Presença de espécies troglomórficas	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X
IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB O ENFOQUE LOCAL (Art. 8º)																									
IV	Média riqueza de espécies	X	-	-	-	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	X
V	Média abundância relativa de espécies	X	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	X	-	-	X	-	-	X	X	X	-	X	X
VII	Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB O ENFOQUE LOCAL (Art. 10º)																									
II	Baixa riqueza de espécies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	X	-
III	Baixa abundância relativa de espécies	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
Relevância		M	A	A	A	A	M	M	MX	MX	MX	MX	MX	MX	A	MX	MX	B	B	M	M	MX	M	M	MX

Tabela 11. Resumo da análise de relevância das cavernas calcárias de acordo o método de coleta. O (X) indica presença do atributo avaliado e (-) indica que o atributo está ausente. O grau de relevância das cavidades é indicado pelas letras: MX = Máxima; A = Alta; M = Média; B = Baixa. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão. # = relevância não analisada devido a impossibilidade de aplicar o método.

INCISOS	ATRIBUTOS AVALIADOS	Gruta do Mamute								Gruta dos Macacos I								Gruta do Carlinhos							
		T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos	T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos	T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos
VII	Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-	X	X	X	X	-	-	X
VIII	Habitat de troglóbio raro	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-	X	X	X	X	-	-	X
IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB O ENFOQUE LOCAL E REGIONAL (Art. 7º)																									
II	Populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	Presença de táxons novos	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X	X	X	X	X	-	X
IV	Alta riqueza de espécies	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X
V	Alta abundância relativa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	
VIII	Presença de espécies troglomórficas	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-	X	X	X	X	-	-	X
IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB O ENFOQUE LOCAL (Art. 8º)																									
IV	Média riqueza de espécies	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-
V	Média abundância relativa de espécies	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	-	-	X	-	-	X	X	X	X	-	-	-
VII	Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	
IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB O ENFOQUE LOCAL (Art. 10º)																									
II	Baixa riqueza de espécies	X	X	-	X	-	-	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-
III	Baixa abundância relativa de espécies	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X
Relevância		M	M	M	M	MX	#	M	MX	A	A	A	M	MX	#	M	MX	B	MX	MX	MX	MX	A	A	MX

Tabela 12.Resumo da análise de relevância das cavernas ferruginosas de acordo o método de coleta. O (X) indica presença do atributo avaliado e (-) indica que o atributo está ausente. O grau de relevância das cavidades é indicado pelas letras: MX = Máxima; A = Alta; M = Média; B = Baixa. As categorias T1, T2 e T3 representam a coleta de tempo/m². F.04 = coleta manual por plotagem de espécimes. EXT = coleta manual por exaustão. # = relevância não analisada devido a impossibilidade de aplicar o método.

INCISOS	ATRIBUTOS AVALIADOS	Gruta Clarabóias								Gruta dos Morgan								Gruta do Morro Redondo									
		T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos	T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos	T1	T2	T3	F.04	EXT	Winkler	Pitfall	Todos		
VII	Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
VIII	Habitat de troglóbio raro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB O ENFOQUE LOCAL E REGIONAL (Art. 7º)																											
II	Populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
III	Presença de táxons novos	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
IV	Alta riqueza de espécies	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	X	X	-	X	
V	Alta abundância relativa	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-		
VIII	Presença de espécies troglomórficas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB O ENFOQUE LOCAL (Art. 8º)																											
IV	Média riqueza de espécies	X	X	X	-	-	-	X	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	
V	Média abundância relativa de espécies	X	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
VII	Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-		
IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB O ENFOQUE LOCAL (Art. 10º)																											
II	Baixa riqueza de espécies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
III	Baixa abundância relativa de espécies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	X	X	-	-	X	
Relevância		M	M	M	A	A	A	A	A	M	B	M	M	M	#	A	A	M	M	M	A	A	A	M	A		

DISCUSSÃO

A escolha do método de coleta adequado para um dado objetivo é uma das principais premissas para qualquer estudo ambiental, inclusive para cavernas (Hunt & Millar 2001). Entretanto, a falta de padronização de métodos, bem como a aplicação de métodos muitas vezes inapropriados para a coleta de fauna impossibilita que sejam realizadas comparações amplas entre sistemas espeleológicos. Como resultado, estudos que avaliam padrões gerais de variação de estruturas de comunidades subterrâneas são pouco frequentes. Quando presentes, restringem-se a um táxon específico, como coleópteros (Zagmajster *et al.* 2008; Zagmajster *et al.* 2010) ou apenas espécies troglóbias (Niemiller & Ziegler 2013), limitados a dados de presença e ausência de espécies. Entretanto, a fauna subterrânea é representada por uma alta diversidade de taxa, com diferentes níveis de dependência ao habitat subterrâneo (Culver & Wilkens 2000). Ademais, as cavernas apresentam uma infinidade de micro-habitats, como canalículos, fissuras, blocos abatidos e corpos de água, e considerável diversidade de substratos (Prous 2005, Cordeiro 2008, Souza-Silva & Ferreira 2009). Desta forma, para a real valoração do ambiente subterrâneo e comparações efetivas de padrões gerais de variação de estruturas de comunidades é necessário considerar todos os táxons presentes. Para tanto, talvez seja necessário considerar o uso de dois ou mais métodos para alcançar este objetivo, afinal nenhum método consegue ser efetivo para todos os táxons (Edwards 1991, Standen 2000).

A Instrução Normativa determina que os procedimentos de levantamento faunístico devem seguir métodos consagrados ou de eficácia comprovada cientificamente (IN 02/2009, Art. 16 § 9º). Entretanto, a referida IN não indica minimamente o que seria considerado um “método consagrado”, e a literatura carece de estudos que demonstrem a eficiência dos métodos de coleta. O resultado destes fatores culmina no emprego de diversos métodos diferentes

para a amostragem da fauna subterrânea brasileira, tanto em trabalhos científicos quanto em estudos ambientais: coletas por captura manual (Trajano, 1987; Prous, 2004), captura manual e pitfall (Silva 2006, Santana *et al.* 2010), captura manual e quadrantes amostrais (Bertelli-Simões 2013), coleta manual por tempo (Andrade 2010, Zeppelini-Filho *et al.* 2003, Fernandes & Bichuette 2013), captura manual por tempo e pitfall (Mascarenhas 2013); coleta manual com plotagem de espécimes (Ferreira 2004, Prous 2005, Souza-Silva & Ferreira 2009, Zampaulo 2010, Souza-Silva 2011a,b, Simões 2013, Prous 2013, Oliveira *et al.* 2013), coleta por aleatorização de quadrantes amostrais (Cordeiro 2008) e sobreposição de diferentes métodos (Pinto-da-Rocha 1993). Em algumas situações, os métodos utilizados não são sequer informados (Dessen *et al.* 1980, Trajano 2000).

Outra determinação da Instrução Normativa refere-se à obrigatoriedade da comparação entre cavernas da mesma litologia sob enfoque local para definição das variáveis dos atributos "Riqueza de espécies" e "Abundância relativa de espécies" (IN 02/2009, Art. 16 § 5º). Entretanto, uma vez que não há padronização entre os métodos de coleta da fauna subterrânea, os dados obtidos por diferentes estudos, com técnicas distintas de amostragem, podem promover distorções na média e desvio padrão da riqueza e abundância de espécies. Esta situação é corroborada pelos resultados do presente estudo, que demonstraram que, para uma mesma caverna (p. ex. Gruta Clarabóias), a riqueza variou de 31 a 263 espécies, de acordo com o método utilizado. Esta divergência no número de espécies promove variação da média e desvio padrão local, alterando as categorias do atributo e, por conseguinte, modifica o grau de relevância das cavidades.

O atributo "Abundância Relativa de Espécies", conceitualmente, pode ser considerado o critério mais inconsistente da Instrução Normativa (IN 02/2009). Primeiro por determinar, sem justificativa técnica-científica, um limite

de tamanho corporal para as espécies que devem ser consideradas na análise. Além disto, na determinação das variáveis (alta, média e baixa) desconsidera a classificação da abundância relativa quando as cavernas apresentam entre 20% e 30% das espécies com alta abundância, pois este intervalo não foi mencionado na IN 02/2009 (Anexo I). E ainda não determina a forma na qual o cálculo deve ser realizado, permitindo que as categorias sejam obtidas de diferentes maneiras. A utilização de diferentes métodos de coleta promove ainda mais inconsistência neste atributo pois, conforme demonstrado no presente estudo, o número de indivíduos amostrados altera de acordo com a técnica de amostragem.

Além das inconsistências, a análise da “Abundância relativa de espécies” vem sendo aplicada de forma errônea em muitos estudos ambientais (Andrade 2010, Mascarenhas 2013, Prous 2013, Oliveira *et al.* 2013). Nestes, a classificação da abundância relativa em alta, média ou baixa foi primeiramente calculada para cada espécie considerando todas as cavernas inventariadas na área de estudo. Esta abordagem, além de não apresentar significado biológico para a análise de relevância das cavernas, uma vez que a análise foi realizada para as espécies, está sujeita a alterações de acordo com o tamanho da amostra. Desta forma, o atributo da “Abundância relativa de espécies” deve ser revisado pois, devido às suas falhas, este pode não refletir a relevância real das cavernas analisadas.

As espécies troglomórficas têm grande importância na determinação de relevância de uma cavidade (IN 02/2009, Art. 3º e Art. 7º). A presença de espécies restritas ao ambiente subterrâneo garante alta relevância a uma dada caverna, quando a espécie não é considerada rara, endêmica ou relictas. Quando constatado algum destes “status”, a cavidade é elevada à condição de máxima relevância, garantindo a preservação deste ambiente. A atenção especial a estas espécies é justificada e necessária, uma vez que estas populações apresentam características ecológicas peculiares como distribuição restrita e estratégia K,

critérios que são indicadores de espécies que requerem proteção e integridade de habitat (Culver 1982, Sharratt *et al.* 2000). Ademais, por estarem restritas ao ambiente subterrâneo, caracterizado por elevada estabilidade ambiental, estas espécies podem apresentar sensibilidade a bruscas variações. Conforme demonstrado por Usher (1986), espécies raras, como a maioria das espécies troglomórficas, são consideradas mais vulneráveis à extinção que espécies comuns, principalmente pela sua alta susceptibilidade a mudanças ambientais estocásticas.

O gênero *Troglobius* (Collembola: Paronellidae) é conhecido apenas para cavernas do hemisfério sul, sendo duas espécies encontradas no Brasil e uma espécie em Madagascar (Zepellini-Filho *et al.* 2014). Uma vez que as espécies conhecidas até o momento foram registradas apenas em cavernas, com distribuição desconexa, os autores supõem que este gênero compreenda um relicto geográfico cuja distribuição original (Gondwanica) foi fragmentada (Zepellini-Filho *et al.* 2014). Para o gênero *Pseudochthonius*, no Brasil, há uma espécie troglóbia (*Pseudochthoniusstrinatii*) descrita para uma caverna de São Paulo (Beier 1969). Em cavernas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero (MG) há uma espécie troglomórfica, ainda não descrita, possivelmente troglóbia, restrita às cavidades desta região (Oliveira *et al.* 2013). Apesar do alto número de cavernas amostradas por estudos anteriores na província espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis (MG) (Ferreira 2004, Zampaulo 2010), nenhuma espécie troglomórfica de *Pseudochthonius* havia sido amostrada. Desta forma, como a espécie encontrada é limitada às cavidades do presente estudo, deve ser considerada rara devido a sua distribuição restrita. De acordo com Dias (2004), espécies raras, por estarem em menor abundância que as comuns, são mais difíceis de serem capturadas. Desta forma, a utilização de diferentes métodos de coleta possivelmente aumentará a probabilidade de encontro destas espécies, uma vez que aumenta a amostragem em diferentes tipos de habitats, aumentando

as chances de amostragem de táxons presentes nos ecossistemas (Sabu *et al.* 2011, Pellegrini *et al.* 2012, Santana *et al.* 2010, Cort *et al.* 2013).

O conceito para determinação de uma espécie com função ecológica importante da Instrução Normativa baseia-se na capacidade desta como polinizador, dispersor de semente ou no controle populacional de insetos (IN 02/2009, Anexo I). Dentre as espécies encontradas neste estudo, destaca-se a espécie de quiróptero *Carollia perspicillata*. Morcegos deste gênero possuem hábito alimentar frugívoro sendo importantes no processo de dispersão de sementes e polinização (Mikich 2002). Historicamente, estudos demonstram que os morcegos apresentam extrema importância na dispersão de sementes, podendo influenciar a estrutura da vegetação por meio das espécies de frutos que consomem (Fleming & Heithaus 1981).

Os diferentes valores para a riqueza e abundância de espécies troglomórficas de acordo com o método de coleta utilizado sugerem que os estudos ambientais podem estar subestimando o número de organismos troglomórficos ou conferindo raridade a espécies amplamente distribuídas. Uma das características comuns a espécies troglóbias é que estas geralmente apresentam baixa densidade populacional (Culver 1982) e muitas vezes compreendem espécies diminutas, como pseudoescorpiões, colêmbolos, demais aracnídeos e insetos (Beier 1969, Oliveira *et al.* 2013, Zepellini-Filho *et al.* 2014). Desta forma, é provável que muitas cavernas já estudadas apresentem espécies troglóbias, que não foram amostradas devido à ineficiência dos métodos de amostragem empregados. Outra possibilidade é que algumas espécies podem estar amplamente distribuídas em escala local ou em toda unidade espeleológica, entretanto, por ser ocasionalmente amostrada por algum método, são consideradas raras devido à distribuição pontual ou restrita produzida pela amostragem ineficiente. Tal situação é exemplificada pelas espécies do presente estudo: a espécie de *Troglobius*, nos métodos de coleta

manual por tempo/m² e por plotagem de espécimes estava restrita à Gruta do Campo I. Entretanto, ao utilizar vários métodos, a distribuição foi ampliada para as demais cavernas quartzíticas amostradas. A mesma situação ocorreu com a espécie de *Pseudochthonius* nas cavernas calcárias. Desta forma, a associação de métodos pode ser uma alternativa eficiente para uma melhor amostragem de espécies troglóbias. Afinal, como a fauna subterrânea cobre uma vasta variedade de taxa (Culver & Wilkens 2000) e nenhum método consegue ser altamente eficiente para todos os táxons de artrópodes de solo, a combinação de métodos poderá atender melhor os objetivos dos estudos (Edwards 1991, Standen 2000).

A influência dos métodos de coleta no atributo “presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local” demonstra que a composição de espécies das cavernas altera conforme a técnica de coleta. Métodos de coleta manuais favorecem a coleta de espécies mais lentas e amostram apenas os táxons que estão presentes no momento do inventário (Cort *et al.* 2013). Armadilhas de queda (*pitfalls*) geralmente amostram espécies ativas e os extratores de Winkler são eficientes para a extração exaustiva de macroinvertebrados do solo (Sabu *et al.* 2010, Krell *et al.* 2005, Nadkarni e Longino 1990). Desta forma, conforme o método utilizado, é esperado que a avaliação deste atributo se altere devido às diferenças dos táxons amostrados, modificando o grau de relevância da cavidade.

Conforme informado por Landeiro e colaboradores (2012), a distância do centroide (média do grupo avaliado) para os métodos avaliada pela análise de dispersão permutacional é uma medida da diversidade beta, definida como a diferença ou substituição de espécies entre os métodos empregados. Assim, quanto maior a dispersão, maior a diversidade beta, e, portanto, maior é a contribuição do método em adicionar diferentes espécies para a composição faunística da cavidade. Assim, como as técnicas de coleta passiva apresentaram elevada medida de dispersão, estas devem ser consideradas nos estudos

ambientais por sua importância na amostragem da diversidade e composição de espécies do ambiente subterrâneo avaliado.

Desde a sua publicação em 2008, o Decreto 6.640 têm sido alvo de críticas em função da fragilidade dos critérios propostos para determinação do grau de relevância das cavidades e por possibilitar a supressão parcial ou total de cavernas (Trajano & Bichuette 2010, Trajano *et al.* 2012). Ainda mais preocupante do que contestar os critérios adotados, é a ausência de uma normatização que institui os métodos passíveis de serem utilizados na amostragem da fauna subterrânea. Conforme demonstrado neste trabalho, a aplicação de diferentes métodos de coleta pode alterar consideravelmente o grau de relevância das cavidades. A fragilidade na análise de relevância, demasiadamente permissiva quanto às técnicas de amostragem, dificultam a determinação de locais prioritários para a conservação, colocando em risco o patrimônio espeleológico brasileiro. A legislação espeleológica falha não apenas por permitir que a importância de uma caverna seja subestimada dependendo do método empregado, mas por também consentir que cavernas com menor significância apresentem relevância alta e sejam utilizadas para compensar outras realmente representativas para o cenário local ou regional. A falta de padronização também impacta o empreendedor, uma vez que dificulta a comparação de estudos de uma mesma unidade espeleológica e pode ainda conferir raridade local a espécies que podem estar amplamente distribuídas. Além da revisão dos atributos da análise de relevância, a padronização dos métodos de coleta é necessária e urgente, visto que a classificação atual pode não ser capaz de valorar a rica fauna subterrânea do país.

REFERÊNCIAS

- Andrade, R. (2010) Bioespeleologia. In: Golder Associates. 2010. *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – Projeto Ferro Carajás S11D*. Volume I-A. RT-079-515-5020-0029-02-J. Belo Horizonte. 588pp.
- Auler, A.S. & Piló, L.B. (2005) Introdução às Cavernas de Minério de Ferro e Canga. *O Carste*, 17(3), 70-72.
- Beier, M. 1969. Ein wahrscheinlich troglobionter *Pseudochthonius* (Pseudoscorp.) aus Brasilien. *Revue suisse Zoologie*, 76(1), 1-2.
- Bertelli-Simões, L. (2013) *Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus viabilidade de táxons*. Master thesis, Programa de pós-graduação em ecologia e recursos naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 197 pp.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N. (2006) *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Coelho, A., Piló, L.B., Auler, A. & Bessi, R. (2010) *Espeleologia da área do projeto Apolo, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Carste Consultores Associados, 179 p.
- Cordeiro, L. M. (2008) *Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal do Mato Grosso, Campo Grande, 120 pp.
- Cort, R., Larned, S.T. & Datry, T. (2013) A comparison of pitfall-trap and quadrat methods for sampling ground-dwelling invertebrates in dry riverbeds. *Hydrobiologia*, 717, 13–26.
- Culver, D. C. (1982) *Cave Life. Evolution and Ecology*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts and London, England. 189 pp.

- Culver, D.C & Wilkens, H. (2000) Critical review of relevant theories of the evolution of subterranean animals. In: Wilkens, H., Culver, D. C. & Humphreys, W. F. *Ecosystems of the World, v. 30: Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Press, 381-397.
- Dessen, E.M.B., White, W.B., Silva, M.S., Temperini-Beck, M.T., & Trajano, E. (1980) Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Ciência & Cultura*, 32(6), 714-25.
- Dias, S. C. (2004) Planejando estudos de diversidade e riqueza: uma abordagem para estudantes de graduação. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 26, 373–379.
- Edwards, C.A. (1991) The assessment of populations of soil inhabiting invertebrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34, 145–176.
- Fernandes, C.S. & Bichuette, M.E. (2013) Levantamento preliminar de invertebrados em três cavernas areníticas do Rio Grande do Sul, Brasil. *Espeleo-Tema*, 24 (1), 41-47.
- Ferreira, R.L. (2004) *A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos*. PhD thesis, Programa de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, 161 pp.
- Ferreira, R.L. (2005) A Vida Subterrânea nos Campos Ferruginosos. *O Carste*, 17(3), 10-115.
- Figueiredo, L.A.V., Rasteiro, M.A. & Rodrigues, P. C. (2010) Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da sociedade civil. *Espeleo-Tema*, 21(1), 49-65.
- Fisher, B.L. (1999) Improving inventory efficiency: a case study of leaf-litter ant diversity in Madagascar. *Ecological Applications*, 9, 714–731.
- Fleming, T.H. & Heithaus, E.R..1981. Frugivorous bats, seed shadows, and the structure of tropical forests. *Biotropica*, 13, 45-53.

- Hammer, Ø., Harper, D.A.T & Ryan, P.D. (2001) *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*. *Palaeontologia Electronica*, 4(1).
- Hunt, M.R. & Millar, I. (2001) *Cave invertebrate collecting guide*. Wellington, New Zeland, Department of Conservation, 29 pp.
- Instrução Normativa N° 2. (2009) *Diário Oficial da União*, Seção 1 (160), 68-71. URL <http://www.sbe.com.br/leis/inmma%20%2020-08-2009.pdf>[acessado em 18 de Julho de 2014].
- Krell, F.T., Chungb, A.Y.C., DeBoisea, E., Eggletona, P., Giustia, A., Inwarda, K., Krell-Westerwalbesloha, S. (2005) Quantitative extraction of macro-invertebrates from temperate and tropical leaf litter and soil: Efficiency and time-dependent taxonomic biases of the Winkler extraction. *Pedobiologia*, 49, 175-186.
- Landeiro, V. L., Bini, L. M., Melo, A. S., Pes, A.M.O & Magnusson, W.E. (2012) The roles of dispersal limitation and environmental conditions in controlling caddisfly (Trichoptera) assemblages. *Freshwater Biology*, 57, 1554–1564.
- Magurran, A.E. (2004) *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd, New York, 256 pp.
- Mascarenhas, J. (2013) Bioespeleologia. In. Carste. 2013. *Diagnóstico espeleológico e análise de relevância das cavidades do projeto Várzea do Lopes, Itabirito, MG*. Belo Horizonte. 235p. URL http://www.institutocarste.org.br/br/images/stories/docs_08-2013/gerdau/varzea_Lopes.pdf[acessado em 19 de Julho de 2014].
- Mikich, S.B. (2002) A dieta dos morcegos frugívoros (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae) de um pequeno remanescente de Floresta Estacional Semidecidual do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19 (1), 239-249.

- Mommertz, S., Schauer, C., Kösters, N., Lang, A. & Filser, J. (1996) A comparison of D-vac suction, fenced and unfenced pitfall trap sampling of epigeal arthropods in agroecosystems. *Annales Zoologici Fennici*, 33, 117–124.
- Nadkarni, N.M. & Longino, J.T. (1990) Invertebrates in canopy and ground organic matter in a neotropical montane forest, Costa Rica. *Biotropica*, 22, 286-289.
- Niemiller, M.L. & Zigler, K.S. (2013) Patterns of cave biodiversity and endemism in the Appalachians and Interior Plateau of Tennessee, USA. *Plos One*, 8(5), e64177.
- Oliveira, M. P. A., Mescolotti, M. B. & Silva, T. G. (2013) *Diagnóstico Bioespeleológico. Projeto Brumafer – Diagnóstico Geoespeleológico, Bioespeleológico e Análise de Relevância*. Belo Horizonte. 312p.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. (2012b) Metodologias diferenciadas aumentam a eficiência de inventários faunísticos em cavernas?. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*, 21(1), 111-122.
- Pinto-da-Rocha, R. (1993) Invertebrados cavernícolas da porção meridional da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 10(2), 229–255.
- Prous, X., Ferreira, R.L. & Martins, R.P. (2004) Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology*, 29, 374 382.
- Prous, X. (2005) *Entradas de cavernas: interfaces de biodiversidade entre ambientes externo e subterrâneo. Distribuição dos artrópodes da lapa do Mosquito, MG*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da vida silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 110 pp.
- Prous, X. (2013) Diagnóstico Bioespeleológico. In: Projeto Ferro Puro Ltda DNPM 9.608/1942. 2013. *Estudo Espeleológico, Paleontológico,*

Arqueológico e Análise de Relevância de 17 Cavernas inseridas na ADA e AID do Empreendimento. Belo Horizonte. 588p.

- Sabu, T.K. & Shiju, R.T. (2010) Efficacy of pitfall trapping, Winkler and Berlese extraction methods for measuring grounddwelling arthropods in moist-deciduous forests in the Western Ghats. *Journal of Insect Science*, 10(98), 1-17.
- Sabu, T.K., Shiju, R.T., Vinod, K.V. & Nithya, S. (2011) A comparison of the pitfall trap, Winkler extractor and Berlese funnel for sampling grounddwelling arthropods in tropical montane cloud forests. *Journal of Insect Science*, 11(28), 1-19.
- Santana, M.E.V., Souto, L.S. & Dantas, M.A.T. (2010) Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias – Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem. *Scientia Plena*, 6(12), 1-8.
- Sharratt, N., Picker, M.D., Samways, M.J. (2000) The invertebrate fauna of the sandstone caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. *Biodiversity and Conservation*, 9, 107–143.
- Silva, F.J. (2006) *Invertebrados de cavernas do Distrito Federal: diversidade, distribuição temporal e espacial*. PhD thesis, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 131 pp.
- Simões, M.H. (2013) *Invertebrados cavernícolas: subsídios para determinação de cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 104 pp.
- Souza-Silva, M. & Ferreira, R. (2009) Estrutura das comunidades de invertebrados em cinco cavernas insulares e intertidais na costa brasileira. *Espeleo-Tema*, 20 (1), 25–36.

- Souza-Silva, M., Martins, R. P. & Ferreira, R. L. (2011a) Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, 20, 1713-1729.
- Souza-Silva, M., Nicolau, J. C., Ferreira, R.L. (2011b) Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do Mandembe, Luminárias, MG..*Espeleo-Tema*, 22, 79-91.
- Standen, V. (2000) The adequacy of collecting methods for estimating species richness of grassland invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 37, 884–893.
- Trajano, E. (1987) Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia*, 3(8), 533-561.
- Trajano, E. (2000) Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. *Biotropica*, 32 (4), 882–893.
- Trajano, E. & Bichuette, M. E. (2010) Relevância de cavernas: porque estudos ambientais espeleobiológicos não funcionam. *Espeleo-Tema*, 21(1), 105-112.
- Trajano, E., Bichuette, M. E. & Batalha, M. A. (2012) Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. *Espeleo-Tema*, 23(1), 13-22.
- Usher, M.B. (1986) Wildlife conservation evaluation: attributes, criteria and values. In: Usher, M.B. (ed.) *Wildlife Conservation Evaluation*, Chapman & Hall, London, 3-44.
- Zagmajster, M., Culver, D.C. & Sket, B. (2008) Species richness patterns of obligate subterranean beetles in a global biodiversity hotspot - effect of scale and sampling intensity. *Diversity and Distributions*, 14, 95-105.
- Zagmajster, M., Culver, D.C., Christman, M.C. & Sket, B. (2010) Evaluating the sampling bias in pattern of subterranean species richness – combining approaches. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3035-3048.

- Zampaulo, R. A. (2010) *Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação*. Master thesis, Programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 190 pp.
- Zeppelini-Filho, D., Ribeiro, A.A., Ribeiro, G.C., Fracasso, M.P.A., Pavani, M.M., Oliveira, O.M.P., Oliveira, A.S. & Marques, A.C. (2003) Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 43(5), 93-99.
- Zeppelini-Filho, D., da Silva, D.D. & Palacios-Vargas, J.G. (2014) A new species of *Troglobius* (Collembola, Paronellidae, Cyphoderinae) from a Brazilian iron cave. *Subterranean Biology*, 14, 1-13. doi: 10.3897/subtbiol.14.7355.

APÊNDICE**APÊNDICE A****Página**

TABELA 1 A Táxons encontrados nas cavernas do presente estudo	123
---	------------

Tabela 1A. Táxons encontrados nas cavernas do presente estudo.

Táxons	Famílias, Gêneros, Espécies (Nº de espécies)	S
Acari	Anoetidae (1); Euphthiracaroida (2); Phthiracaroida (2); Acaridae (4) (<i>Thyrophagus</i> sp.); Alycidae (1); Anystidae (1) (<i>Erythracarus</i> sp.); Argasidae (1) (<i>Ornithodoros</i> sp.); Ascidae (5); Bdellidae (4); Cunaxidae (4) (<i>Armacirus</i> spp.); Ereynetidae (1); Erythraeidae (5); Estigmaeidae (1); Eupalopsellidae (1); Eupodidae (2) (<i>Linopodes</i> sp.); Iolinidae (1); Laelapidae (6) (<i>Gaeolaelaps</i> sp., <i>Pseudoparasitus</i> sp., <i>Stratiolaelaps</i> sp.); Macrochelidae (3); Macronyssidae (3); Ologamasidae (5); Opiliacaridae (1) (<i>Neocarus</i> sp.); Otopheidomenidae (2); Paleacaridae (1); Penthaleidae (2); Podocinidae (1) (<i>Podocinum</i> sp.); Rhagidiidae (3); Rhodacaridae (1); Scutacaridae (1); Smarididae (1); Stigmaeidae (2); Tydeidae (?) (1); Vegaiidae (1); Indet. (94).	164
Anura	Bufoinae (2); Hylidae (2) (<i>Scinax fuscovarius</i>); Leptodactylidae (3) (<i>Leptodactylus labyrinthicus</i> , <i>Physalaemus</i> spp.)	7
Araneae	Amaurobiidae (2); Araneidae (2) (<i>Alpaida</i> gr. negro); Corinnidae (1); Ctenidae (4) (<i>Enoplocteunus</i> sp., <i>Isoctenus</i> sp.); Deinopidae (1); Gnaphosidae (2) (<i>Zimiromus</i> spp.); Hahniidae (3); Linyphiidae (6) (<i>Dubiaranea</i> sp., <i>Sphecozone</i> sp.); Mysmenidae (1) (<i>Mysmena</i> sp.); Nemesiidae (2) (<i>Stenoterommata</i> sp.); Nesticidae (1); Ochyroceratidae (3) (<i>Ochyrocera</i> sp., <i>Speocera</i> sp.); Oonopidae (5) (aff. <i>Gamasomorpha</i> , <i>Gamasomorpha</i> sp., <i>Neotrops</i> sp., <i>Triaeris stenaspis</i>); Palpimanidae (2) (<i>Fernandezina</i> sp.); Pholcidae (6) (<i>Leptopholcus</i> sp., <i>Mesabolivar</i> aff. <i>cyaneomaculatus</i> , <i>Mesabolivar difficilis</i> , <i>Mesabolivar</i> sp.); Prodidomidae (2) (<i>Lygromma</i> sp.); Salticidae (1); Scytodidae (1) (<i>Scytodes</i> sp.); Sparassidae (1); Symphytognathidae (1) (<i>Anapistula</i> sp.); Tetrablemmidae (3) (aff. <i>Matta</i> sp., <i>Matta</i> sp.); Tetragnathidae (1) (<i>Chrysometa</i> sp.); Theraphosidae (1); Theridiidae (10) (<i>Chryso</i> sp., <i>Coleosoma floridana</i> , <i>Dipoena</i> sp., <i>Echinotheridion</i> sp., <i>Theridion</i> spp., <i>Thymoites</i> sp.); Theridiosomatidae (1) (<i>Plato</i> sp.); Uloboridae (2) (<i>Uloborus</i> spp.).	65
Archaeognatha	Meinertellidae (2) (<i>Neomachilellus</i> sp.).	2

Cont. Tabela 1A. Táxons encontrados nas cavernas do presente estudo.

Táxons	Famílias, Gêneros, Espécies (Nº de espécies)	S
Blattodea	Blaberidae (1); Blattellidae (4); Blattidae (1); Polyphagidae (2); Pseudophyllodromiidae (1); Indet.(2)	11
Chiroptera	Phyllostomidae (2) (<i>Desmodus rotundus</i> , <i>Glossophaga soricina</i>)	2
Coleoptera	Carabidae (5); Chrysomelidae (1); Curculionidae (7); Dermestidae (2); Elateridae (5); Endomychidae (1); Euchnenidae (1); Hydrophilidae (1); Leiodidae (4) (<i>Dissochaetus</i> spp.); Nitidulidae (3); Phalacridae (1); Ptiliidae (3); Scaptiidae (1); Staphylinidae (37) (aff. <i>Euconnus</i> sp., <i>Stenus</i> sp.); Stratiomyidae (1); Tenebrionidae (3); Indet. (6).	82
Collembola	Bourletiellidae (1) (gen. nov. ca. gen. <i>Tritosminthurus</i>); Brachistomellidae (1) (<i>Brachistomella contorta</i>); Dicirtomidae (1) (<i>Calvatomina</i> sp.); Entomobryidae (17) (<i>Corynothrix</i> sp., <i>Dicranocentrus</i> spp., <i>Isotobria</i> sp., <i>Lepidocyrtus</i> sp., <i>Lepidosira</i> sp., <i>Mastigoceras</i> sp., <i>Pseudosinella</i> spp., <i>Seira</i> spp., <i>Seira xinguensis</i> , <i>Sinella</i> sp., <i>Verhoeffiella</i> spp.); Hypogastruridae (1) (<i>Xenylla</i> sp.); Isotomidae (5) (<i>Desoria</i> sp., <i>Folsomides</i> sp., <i>Isotomiella</i> ca. <i>nummulifer</i> , <i>Isotomodes</i> sp., <i>Proisotoma</i> sp.); Neanuridae (4) (<i>Arlesiella</i> sp., <i>Friesea</i> sp., <i>Neotropiella</i> sp., <i>Pseudachorutes</i> sp.); Paronellidae (12) (<i>Campylothorax</i> spp., <i>Cyphoderus agnotus</i> , <i>Cyphoderus javanus</i> , <i>Cyphoderus</i> sp. nov., <i>Lepidonella</i> spp., <i>Troglobius</i> sp., <i>Trogolaphysa</i> spp.); Sminthuridae (2) (gen. nov. sp. ca. <i>Gisinurus</i> , <i>Songhaica</i> sp.); Sturmiidae (1) (<i>Sturmius</i> sp.); Tullbergiidae (1) (<i>Tullbergia</i> sp.).	46
Diplura	Campodeidae (1); Japygidae (2); Projapygidae (1)	4
Diptera	Anisopodidae (1); Cecidomyiidae (10); Ceratopogonidae (8); Chaoboridae (1); Chironomidae (3); Culicidae (1); Drosophilidae (6); Ephydriidae (1); Faniidae (1); Heleomyzidae (1); Keroplatidae (1); Limoniidae (1); Milichiidae (2); Muscidae (2); Mycetophilidae (3); Mycomyiidae (1); Phoridae (8); Psychodidae (3); Sarcophagiidae (1); Sciaridae (6); Sphaeroceridae (3); Stratiomyidae (1); Tipulidae (2); Indet. (6).	73
Embioptera	-	1

Cont. Tabela 1A. Táxons encontrados nas cavernas do presente estudo.

Táxons	Famílias, Gêneros, Espécies (Nº de espécies)	S
Gastropoda	Charopidae (1); Subulinidae (3); Systrophiidae (2).	6
Geophilomorpha	Geophilidae (2); Schendilidae (1)	
Heteroptera	Ceratocombidae (3); Enicocephalidae (2); Lygaeidae (1); Miridae (1); Pyrrhocoridae (1); Reduviidae (11) (<i>Zelurus</i> sp.); Schizopteridae (2); Scydidae (1); Tingidae (1) (<i>Thaumamannia</i> sp.).	23
Homoptera	Cicadellidae (2); Cixiidae (1); Coccoidea (1); Diaspididae (2); Ortheziidae (2); Pseudococcidae (2).	8
Hymenoptera	Bethylidae (1) (<i>Dissomphalus</i> sp.); Brachonidae (5) (<i>Alysiame</i> sp.); Ceraphronidae (3); Diapriidae (3) Evaniidae (1) (<i>Evaniella</i> sp.); Figitidae (1) (<i>Ganaspidium</i> sp.) Formicidae (50) (<i>Acanthognathus</i> sp., <i>Acanthostichus</i> sp., <i>Amblyopone</i> sp., <i>Anochetus</i> sp., <i>Apterostigma</i> sp., <i>Basiceros</i> sp., <i>Brachymyrmex</i> spp., <i>Camponotus</i> spp., <i>Cardiocondyla</i> sp., <i>Crematogaster</i> sp., <i>Gnamptogenys</i> sp., <i>Heteroponera</i> spp., <i>Hypoconerops</i> sp., <i>Labidus</i> sp., <i>Linepithema</i> spp., <i>Octostruma</i> sp., <i>Odontomachus</i> sp., <i>Oxyecocus</i> sp., <i>Pachycondyla</i> spp., <i>Paratrechina</i> sp., <i>Pheidole</i> spp., <i>Platythyrea</i> spp., <i>Solenopsis</i> spp., <i>Strumigenys</i> spp., <i>Wasmannia</i> spp.); Ichneumonidae (1); Platygasteridae (1); Scelionidae (4); Indet. (1).	71
Insecta	Indet. (3)	3
Isopoda	Oniscidea (1); Dubioniscidae (1); Philosciidae (1); Platyarthridae (3) (<i>Trichorhina</i> spp.).	6
Isoptera	Rhinotermitidae (3) (<i>Heterotermes</i> sp.); Termiridae (3) (<i>Nasutitermes</i> sp.); Indet. (1).	7
Lepidoptera	Cosmopterigidae (1); Gelechiidae (2); Geometridae (2); Gracilariidae (3); Noctuidae (7); Tineidae (4); Indet. (0).	25
Litobiomorpha	Henicopiidae (2)	2
Nematoda	-	2
Neuroptera	Myrmeleontidae (1)	1
Oligochaeta	Lumbricidae (4); Naididae (3); Indet. (4)	11
Opiliones	Caddidae (1) (<i>Acropsopilium</i> sp.); Gonyleptidae (8) (<i>Discocyrtus</i> spp., <i>Encheiridium montanum</i> , <i>Eusarcus</i> spp., <i>Mitogoniella</i> sp. nov., <i>Mitogoniella taquara</i>); Scadabiidae (1); Sclerosomatidae (2); Indet. (1).	15

Cont. Tabela 1A.Táxons encontrados nas cavernas do presente estudo.

Táxons	Famílias, Gêneros, Espécies (Nº de espécies)	S
Orthoptera	Mogoplistidae (1); Phalangopsidae (3); Trigomidiidae (1)	6
Palpigradi	Eukoeneniidae (2) (<i>Eukoeneniaferratilis</i> , <i>Eukoeneniaflorençiae</i>)	2
Polydesmida	Cyrtodesmidae (1); Paradoxosomatidae (2); Pyrgodesmidae (2); Indet. (1).	6
Pseudoescorpiones	Cheiridiidae (1) (<i>Cheiridium</i> sp.); Chernetidae (4) (<i>Spelaeochernes</i> spp.); Chthoniidae (2) (<i>Pseudochthonius</i> spp.); Geogarypidae (1) (<i>Geogarypus</i> sp.); Ideoroncidae (1) (<i>Ideoroncus</i> sp.); Olpiidae (<i>Progarypus</i> sp.); Tridenchthoniidae (1) (<i>Cryptoditha</i> sp.).	11
Psocoptera	Electrentomoidea (1); Amphientomidae (2); Ectopsocidae (1); Epipsocidae (1); Lepidopsocidae (1); Liposcelididae (1) (<i>Liposcelis</i> sp.); Psyllipsocidae (1); Ptiloneuridae (2) (<i>Ptiloneura</i> sp., <i>Triplocania</i> sp.); Indet. (2).	12
Scolopendromorpha	Scolopocryptopidae (1) (<i>Tidops</i> sp.); Cryptopidae (1) (<i>Cryptops</i> sp.); Indet. (2).	4
Siphonophorida	Siphonophoridae (1)	1
Spirobolida	Rhinocricidae (1) (<i>Rhinocricus</i> sp.).	1
Spirostreptida	Spirostreptidae (1); Pseudonannolenidae (3) (<i>Pseudonannolene</i> spp.).	4
Symphyla	Scolopendrellidae (2) (<i>Symphylella</i> sp.); Scutigereidae (2) (<i>Hanseniella</i> sp.); Indet. (2).	6
Thysanoptera	Phlaeothripidae (6)	6
Tricladida	Geoplanidae (2)	2
Zigentoma	Nicoletiidae (4)	4