



LUIZ FELIPE MORETTI INIESTA

**PRIORIDADES DE CONSERVAÇÃO PARA
CAVERNAS AO SUL DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2016

LUIZ FELIPE MORETTI INIESTA

**PRIORIDADES DE CONSERVAÇÃO PARA CAVERNAS AO
SUL DE MINAS GERAIS**

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 em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para obtenção do título de Mestre.

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira
Orientador

Dr. Marconi Souza Silva
Coorientador

LAVRAS - MG

2016

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

Iniesta, Luiz Felipe Moretti.

Prioridades de conservação para cavernas ao sul de Minas Gerais
/ Luiz Felipe Moretti Iniesta. – Lavras : UFLA, 2016.

119 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Caverna. 2. Quartzito. 3. Granito. 4. Conservação. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

LUIZ FELIPE MORETTI INIESTA

**PRIORIDADES DE CONSERVAÇÃO PARA CAVERNAS AO
SUL DE MINAS GERAIS**

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 em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de março de 2016

Dr. Marcelo Passamani UFLA

Dr. Nelson Curi UNILAVRAS

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira
Orientador

Dr. Marconi Souza Silva
Coorientador

LAVRAS - MG

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Ele, por sempre olhar para mim e minha família ao longo de todos os anos. Obrigado. Aos meus pais e irmão meu infinito agradecimento. Sempre torcendo e dando força em todos os momentos. À base de todos os meus esforços, amo vocês. A minha pequena Natalia, por toda compreensão e oração sempre quando eu mais precisei. Obrigado por fazer parte da minha vida, te amo. Aos meus avós por todo amor e dedicação na união de nossa família. Aos meus velhos amigos por sempre estarem presentes em minhas memórias nesses anos todos. Agradeço pela nossa amizade.

Ao meu orientador *Dr. Rodrigo Lopes Ferreira* por todo tempo e atenção despendida na minha formação de pesquisador. Ao *Professor* por todo ensinamento, explicação e discussão. Ao amigo *Drops* por todas as conversas e filosofias de vida compartilhadas. Agradeço eternamente pela apresentação dos diplópodes em minha vida. Ao Marconi, por sempre ajudar, escutar e esclarecer todos os meus questionamentos. Obrigado por ser meu professor e amigo. A todos os amigos do CEBS meu agradecimento por compartilhar todos esses anos juntos. Em especial ao Pirilo por toda simplicidade e bondade, ao Proto por todo companheirismo na amizade e na pesquisa e ao Magrela por todas as “sistemáticas discussões sistemáticas” e filosofias científicas e não tão científicas.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada. Aos Professores pela luta diária na minha formação e de muitos outros. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro. A todos que contribuíram de alguma forma nesta etapa de vida. Agradeço.

*Por vezes sentimos que o que fazemos
é apenas uma gota no oceano. Mas o
oceano seria menor se lhe faltasse
uma gota.*

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

No mundo, poucas cavernas em áreas não carbonáticas apresentam estudos com a avaliação e conservação da fauna de invertebrados. No Brasil, este cenário se mantém, sendo os levantamentos faunísticos concentrados em grandes maciços rochosos e de litologias calcárias. Para a região ao sul de Minas Gerais, além da escassez de informações acerca da fauna cavernícola, a área apresenta inúmeros impactos recorrentes, principalmente na fragmentação das matas circundantes e o turismo inadequado nas cavidades. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a fauna de invertebrados em 51 cavernas localizadas na porção mais ao sul de Minas Gerais, bem como destacar os principais impactos atuantes para a comunidade cavernícola. A avaliação da fauna foi feita através da relevância biológica das cavidades, sendo esta composta pela riqueza total de invertebrados, riqueza relativa das cavernas e a riqueza de espécies troglomórficas. Os impactos foram categorizados em relação a presença de alterações humanas dentro das cavernas e nas áreas de entorno (250 metros). Além disso, foram avaliados também a influência da extensão das cavernas, número e extensão das entradas e a estabilidade ambiental na riqueza e composição das espécies. Por fim, foi avaliada a influência dessas variáveis sobre grupo de cavernas nas litologias quartzíticas e graníticas. Ao todo foram registradas 1.114 espécies, distribuídas em ao menos 190 famílias. A riqueza média encontrada foi de 38, 67 (SD 21, 67) espécies, a diversidade média 2, 41 (SD 0, 74) e a equitabilidade média 0, 67 (SD 0, 17). Foram observadas 11 espécies troglomórficas em 9 cavidades. A riqueza total relacionou-se significativamente com a extensão das cavidades em rochas quartzíticas e graníticas. O número de entradas se mostrou relacionado à riqueza de espécies apenas para as cavidades quartzíticas. Por fim, a litologia se mostrou influente em relação a composição da comunidade cavernícola. Para a região, as cavidades Casa de Pedra e Serra Grande foram destacadas como de maiores necessidades para ações emergenciais de conservação. Além disso, as cavidades graníticas do município de Munhoz e as quartzíticas na Serra de Ibitipoca necessitam de uma maior atenção em função da alta relevância biológica e o grau de impactos para a fauna.

Palavras-chave: Caverna. Quartzito. Granito. Conservação.

ABSTRACT

Around the world, few caves in non-carbonate areas have studies regarding the evaluation and conservation of invertebrate fauna. In Brazil, this situation is maintained, with inventories of invertebrates focused on large limestone rock formations. For the southern region of Minas Gerais state, besides the insufficient information concerning the cave fauna, the area has several recurring impacts, mainly fragmentation of surrounding forests and inadequate tourism in the caves. Therefore, this study aimed to evaluate the invertebrate fauna in 51 caves from southern of Minas Gerais, as well as highlight the main impacts over the cave community. The faunal evaluation was conducted by determining the biological relevance of each cave. The relevance was obtained from the total richness of invertebrate species, relative richness and richness of troglomorphic species. The impacts were categorized in relation to the presence of human alterations inside the caves and surrounding area (250 meters). Moreover, the cave size, number and size of entrances were evaluated according to the influence on fauna. For the granitic and quartzitic caves the influence of the lithology over the invertebrate composition was verified. A total of 1,114 species was recorded, distributed in at least 190 families. The average richness obtained was 38.6 (SD \pm 21.67) species, the average diversity was 2.41 (SD \pm 0.74) and the average equitability was 0.67 (SD \pm 0.17). Eleven troglomorphic species were observed in nine caves. The total richness was significantly related to the cave size in siliciclastic and granitic rocks. The number of entrances was related to the total richness only for quartzitic caves. Finally, the lithology was influent regarding the composition of cave community. For the region, the caves Casa de Pedra and Serra Grande were selected as the greatest priorities for conservation. Furthermore, the granitic caves from municipality of Munhoz and quartzitic caves from Ibitipoca hills need more attention in function of the high biological relevance and the degree of impacts over the fauna.

Keywords: Cave. Quartzitic. Granitic. Conservation.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO..... 11
2	REFERENCIAL TEÓRICO 12
2.1	Cavernas e seu ambiente 12
2.2	Categorização das comunidades cavernícolas..... 13
2.3	Cavernas no Brasil e a importância de seus estudos..... 14
3	OBJETIVOS DO ESTUDO 17
4	CONCLUSÕES..... 17
	REFERÊNCIAS..... 19
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS..... 26
	ARTIGO 1 High subterranean biodiversity in a Neotropical quartzite speleological province: Implications for the cave fauna conservation..... 27
	ARTIGO 2 A comunidade de invertebrados em cavernas quartzíticas e graníticas sempre se estruturam da mesma forma? 55
	ARTIGO 3 Conservação de cavernas em uma área não carbonática no sudeste do Brasil: Um ecossistema subterrâneo ameaçado e negligenciado 81

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi realizada a partir da amostragem da fauna de invertebrados presentes em cinquenta e uma cavernas localizadas ao sul do estado de Minas Gerais. Os municípios abrangidos no trabalho foram Andrelândia (6 cavernas), Cabo Verde (1), Campestre (2), Carrancas (5), Heliódora (4), Itamonte (1), Lima Duarte (18), Luminárias (4), Munhoz (2), Paraisópolis (3), Santa Rita do Ibitipoca (2), São Tomé das Letras (2) e Tiradentes (1). Destaca-se que, nos municípios de Lima Duarte e Santa Rita do Ibitipoca todas as cavernas inventariadas estão localizadas dentro do Parque Estadual de Ibitipoca, sendo esta a única unidade de conservação visitada no presente trabalho.

A primeira parte inicia-se com o *Referencial Teórico*, no qual foi feita uma breve caracterização do ambiente cavernícola, dos organismos que o habitam e dos principais impactos registrados sobre o sistema. Além disso, foram abordados também aspectos relacionados às políticas e estratégias de conservação e manejo para as cavernas do país. A segunda parte refere-se aos manuscritos elaborados como resultados da dissertação. No primeiro trabalho, redigido em língua inglesa, objetivou-se a caracterização da comunidade de invertebrados cavernícolas no Parque Estadual de Ibitipoca, detectando a distribuição das espécies e os principais impactos observados para o ambiente, de forma a subsidiar futuras propostas e estratégias para o manejo da fauna de caverna da unidade. No segundo manuscrito foi analisado a influência das litologias, juntamente dos parâmetros abióticos das cavernas, sobre a composição e riqueza de invertebrados na área de estudo. Por fim, no terceiro manuscrito foi elaborada uma classificação de vulnerabilidade das cavernas ao sul de Minas Gerais, através do Índice de Conservação de Cavernas (CCPi), proposto por Souza-Silva e colaboradores (2015). Neste, foram analisadas as

relevâncias biológicas de cada caverna e os impactos presentes dentro e na região circundante das cavernas, resultando na proposição de áreas prioritárias para a conservação.

Ressalta-se que a presente dissertação foi estruturada em formato de artigos, de forma que, os elementos utilizados nas respectivas introduções foram incorporados no referencial teórico, além de que cada manuscrito corresponde a seus próprios objetivos, resultados e discussões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cavernas e seu ambiente

As cavernas são consideradas como quaisquer cavidades subterrâneas naturais, sendo essas inseridas em um complexo relevo rochoso denominado de “carste”. São formadas principalmente pela dissolução e/ou erosão hídrica de rochas como calcários, dolomitos, siliciclásticos (quartzitos e arenitos) e etc. (GILBERT; DANIELPOL; ATANFORD, 1994; GINÉS, 1992), sendo as carbonáticas de maior frequência em razão de sua alta solubilidade. Existem também outras formas de gênese de cavernas, como por exemplo pela erosão física da rocha matriz, o próprio agrupamento de grandes blocos (como em rochas graníticas), além de diversas outras formas, embora menos comuns (TWIDALE; ROMANÍ, 2005).

O ambiente cavernícola é caracterizado por dois principais fatores: *i*) A ausência permanente de luz e *ii*) elevada estabilidade ambiental (POULSON; WHITE, 1969; CULVER, 1982). A temperatura em seu interior aproxima-se da média das temperaturas externas anuais, além de sua umidade ser considerada alta, atingindo inclusive à saturação. Em cavernas de maior volume, tanto a temperatura quanto a umidade quase não variam em locais mais

distantes da entrada (BARR; KUEHNE, 1971). No ambiente, a produção primária praticamente inexistente, devido unicamente à ausência de luz, na qual impede o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes. Desta forma, as comunidades cavernícolas são mantidas estritamente por recursos do meio epígeo, sendo estes trazidos continuamente ou em pulsos por agentes biológicos (através do guano de morcegos ou pássaros) e/ou físicos (por meio de corpos d'água e gravidade) (CULVER, 1982). Destaca-se que para algumas cavernas mais secas, o principal recurso é o guano (HERRERA, 1995; FERREIRA, 1998; FERREIRA; HORTA, 2001; GILLIESON, 1996) e em outras de maior grau de impactos antrópicos, como a visitação em massa, o recurso também advém de restos de lixo deixados pelos turistas locais (FERREIRA, 2004). Em casos mais raros, alguns organismos quimioautotróficos (como as bactérias) também podem contribuir como uma base de produção primária em algumas cavernas (SARBU; KANE; KINKLE, 1996).

2.2 Categorização das comunidades cavernícolas

As espécies encontradas em cavernas podem ser agrupadas em três categorias segundo suas características ecológicas - evolutivas (CULVER; WILKENS, 2000). A categoria dos troglógenos corresponde àquelas que embora habitam tais ambientes, saem em algum momento de seu ciclo de vida obrigatoriamente. Os troglófilos são aqueles que podem completar todo seu ciclo de vida tanto no ambiente externo quanto no interno. Por fim, os troglóbios são organismos restritos a este ambiente, tendo todo o seu ciclo de vida exclusivo às cavernas. Para tais espécies, em função do seu isolamento no ambiente e pelas suas fortes pressões ambientais, tais como a ausência de luz e oligotrofismo, esses organismos podem apresentar uma série de modificações, sejam essas de caráter morfológico, fisiológico e/ou comportamental, tornando-

os altamente especializados no ambiente.

Além dessas três categorias, uma quarta também pode ser identificada, a qual corresponde às espécies acidentais, isto é, não são frequentes neste ambiente. Esses são encontrados em cavernas por serem levados através de corpos d'água, carregados pelas correntes de ar ou de forma indireta através de outros vertebrados ou invertebrados. Destaca-se que para esta última categoria há uma influência positiva a comunidade local, pois caso o acidental não consiga retornar ao seu ambiente de origem e sua morte for eminente, este pode representar um acréscimo à matéria orgânica, de forma a contribuir como um recurso para diferentes espécies (WHITE; CULVER, 2000).

As comunidades cavernícolas também podem ser categorizadas por meio de sua utilização do espaço e a disposição dos recursos. Alguns grupos de organismos são denominados de para-epígeos, os quais vivem em regiões próximas da entrada (região de transição entre o ambiente epígeo e hipógeo). Outros são restritos às áreas internas das cavernas próximas aos recursos, nomeados assim de espaço-recurso-dependentes. De forma inversa a essa, há àquelas capazes de se deslocar por grandes espaços em busca de alimento, no caso os organismos espaço-recurso-independentes (FERREIRA; MARTINS 2001).

2.3 Cavernas no Brasil e a importância de seus estudos

No Brasil, o potencial espeleológico é estimado em mais de 100.000 cavernas em todo o território (AULER; RUBBIOLI; BRANDI, 2001), embora, apenas cerca de 15.000 estão atualmente registradas no Cadastro Nacional de Cavidades da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) e na base de dados do Centro de Estudos, Proteção e Manejo de Cavidades (ICMBio/CECAV). No país são conhecidas cavernas de diferentes litologias, como calcárias,

ferruginosa, areníticas, quartzíticas e outras, sendo no caso a primeira de maior representatividade (AULER, 2006). Em relação ao estudo da fauna cavernícola no país, esta começou a ser de fato estudada a partir da década de 80, tendo como maior ênfase as calcárias (SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011a; 2011b). Embora pouco se conheça sobre a fauna associada às cavernas de outras litologias em comparação as calcárias, diversos trabalhos já foram feitos a fim de tentar elucidar algumas questões referentes as suas faunas (TRAJANO; MOREIRA 1991; GNASPINI-NETO; TRAJANO 1994; FERREIRA 2005; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011a).

Na região do Sul do estado de Minas Gerais, as cavernas são predominantemente de litologia quartzítica e graníticas, sendo o potencial biospeleológico ainda pouco conhecido. Em relação a exploração mineral do quartzito, grandes alterações vêm sendo geradas nos ecossistemas de suas áreas. Cabe ressaltar que a região foi apontada pelo Atlas das Áreas Prioritárias para a Conservação no Estado de Minas Gerais, como uma área de Importância Biológica Potencial para o estudo de invertebrados (MACHADO; FERREIRA 2005). Segundo o último diagnóstico sobre a biodiversidade do estado (Biota Minas), as cavernas ao sul de Minas Gerais foram consideradas como de elevada prioridade para investigações biológicas (FERREIRA; SOUZA-SILVA; BERNARDI, 2009). Ressalta-se que a inclusão de áreas como prioritárias para a conservação de invertebrados no estado considera como critérios de relevância a riqueza e composição de invertebrados cavernícolas, a insuficiência do conhecimento e as ameaças que os locais sofrem.

O estudo de cavernas no país é de extrema importância em diversos parâmetros, destacando-se principalmente os de cunho de conservação local. No Brasil, entre os anos de 1991 a 2008 todas as cavernas eram protegidas por lei, segundo o decreto lei nº 99.556. Entretanto, a partir da alteração feita através do decreto lei nº6.640, as cavernas podem ser destruídas. Para isso,

torna-se necessário uma valoração preliminar dessas por meio de alguns critérios, como ecológicos e biológicos, por exemplo (BRASIL, 2008). Cavernas consideradas de máxima relevância não podem sofrer quaisquer tipos de impactos irreversíveis, já as consideradas de relevância alta, média ou baixa podem sofrer certos impactos mediante ao licenciamento ambiental (BRASIL, 2008). Para a definição de uma caverna como de máxima relevância diversos atributos podem ser usados, como por exemplo a presença de um troglóbio raro na cavidade (BRASIL, 2008).

Atualmente, diversas espécies restritas a esses ambientes vêm sendo descritas para o Brasil (ÁLVARES; FERREIRA, 2002; MENDES; FERREIRA, 2002; LIENHARD; CARMO; FERREIRA, 2010; SOUZA; FERREIRA, 2010; CARDOSO; BUENO; FERREIRA, 2011; MACHADO FERREIRA; BRESCOVIT, 2011; PELLEGRINI; FERREIRA, 2011; SOUZA; FERREIRA, 2011; BRESCOVIT et al., 2012; INIESTA; FERREIRA; WESENER, 2012; HOCH; FERREIRA, 2012; PREVORČNIK; FERREIRA; SKET, 2012; RATTON; MAHNERT; FERREIRA; 2012; SOUZA; FERREIRA, 2012a, 2012b; AZARA; FERREIRA, 2013; LIENHARD; FERREIRA, 2013a, 2013b; AZARA; FERREIRA, 2014; CARDOSO et al., 2014; INIESTA; FERREIRA, 2013a, 2013b; PELLEGRINI; FERREIRA, 2014; RODRIGUES; BUENO; FERREIRA, 2014; LIENHARD; FERREIRA, 2014), além de outros trabalhos de extrema relevância evolutiva e ecológica (LIENHARD et al., 2012; YOSHIZAWA et al., 2014). Assim, a publicação desses trabalhos é de extrema importância para preservação não só da espécie propriamente dita, mas também de diversas outras espécies que compõe a comunidade cavernícola local.

Neste ponto de vista destacam-se também os trabalhos educativos, visando o aperfeiçoamento dos educadores básicos e na divulgação científica nas escolas (FERREIRA; GOMES; SOUZA-SILVA, 2008; FERREIRA et al.,

2014).

3 OBJETIVOS DO ESTUDO

O objetivo geral do trabalho foi apresentar uma caracterização da fauna de invertebrados em algumas cavernas na região ao sul de Minas Gerais, bem como quais são os principais impactos prevalentes para a fauna.

Neste sentido foram propostos os seguintes objetivos específicos:

1. Caracterização da fauna associada a algumas cavernas da região ao Sul de Minas Gerais;
2. Avaliar a riqueza (S), diversidade (Shannon) e equitabilidade (Shannon) de invertebrados nas cavernas amostradas;
3. Verificar a presença e distribuição das espécies troglóbias nas cavernas;
4. Verificar se a riqueza esta relacionada com os fatores ecológicos (extensão amostrada das cavernas, número e extensão das entradas) e se a composição da comunidade é influenciada pela litologia das cavernas;
5. Identificar qualitativamente as principais ameaças antrópicas impostas às comunidades cavernícolas;
6. Proposição de cavernas e/ou áreas prioritárias para conservação ao Sul de Minas Gerais.

4 CONCLUSÕES

Estudos relacionados a fauna em cavernas de litologias quartzíticas e graníticas são incipientes no Brasil, de forma que, poucas cavidades possuem alguma política ou estratégias de conservação. Ademais, as cavidades inseridas em unidades de conservação apresentam inúmeros impactos oriundos de um

inadequado turismo no interior e na região de entorno das cavernas.

Para as 51 cavernas amostradas ao sul de Minas Gerais neste estudo, 1.114 espécies de invertebrados foram registradas, sendo essas distribuídas em ao menos 190 famílias. A diversidade média (H') foi de 2,29 (SD 0,99), enquanto a equitabilidade média (E) foi 0,64 (SD 0,28). Ao todo foram observadas 11 espécies troglomórficas em 9 cavidades. Para as cavidades amostradas em litologia quartzítica e granítica, a extensão dessas se mostrou significativamente relacionada a riqueza, já o número de entradas das cavidades apenas para as quartzíticas. Em especial para graníticas, destaca-se que com pequenos acréscimos na extensão das cavidades, há um incremento significativo na riqueza das espécies, em função, principalmente, da conexão de espaços adjacentes às macrocavernas. Sobre as diferenças nas litologias, a composição da comunidade se mostrou significativamente relacionada ao tipo da rocha.

Os principais impactos observados para a região advêm, diretamente, da fragmentação das florestas de entorno e do uso turístico nas cavidades. Assim, como resultado da relevância biológica da área associada a intensos impactos antrópicos, duas cavidades (Casa de Pedra, no município de Tiradentes e Serra Grande, município de Luminárias) se destacaram para receberem ações emergenciais na conservação. Além disso, as cavidades graníticas em Munhoz e as quartzíticas na Serra de Ibitipoca merecem uma maior atenção para serem conservadas. Por fim, ressalta-se também que, embora as cavernas em Ibitipoca estejam inseridas dentro de uma unidade de conservação, a proteção dessas não está assegurada, uma vez que diversos impactos foram observados, inclusive em áreas de presença de espécies restritas ao sistema.

A partir dos resultados do presente estudo, destaca-se a extrema importância na avaliação e conservação da fauna de cavidades em áreas não carbonáticas, principalmente por essas serem abrigos de uma fauna por vezes

restritas à essas cavidades e, historicamente, negligenciadas e postas sob intensos impactos antrópicos.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, E.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium pains*, a new species of a Brazilian troglotic carabid beetle (Coleoptera, Carabidae, Zuphiini). *Lundiana*, v.3, p.41 - 43, jan. 2002.

AULER, A. S. Relevância de cavidades naturais subterrâneas: contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos. Relatório técnico, Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, p. 166, Jul. 2006. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

AULER, A; RUBBIOLI, E; BRANDI, R. (Ed.) **As Grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001.

AZARA, L. N.; FERREIRA, R. L. *Cryptops (Cryptops) spelaeoraptor* n. sp. a remarkable troglotic species (Chilopoda: Scolopendromorpha) from Brazil. *Zootaxa*, v. 3826, p. 291-300, jun. 2014.

AZARA, L. N.; FERREIRA, R. L. The first troglotic *Cryptops (Trigonocryptops)* (Chilopoda: Scolopendromorpha) from South America and the description of a non-troglotic species from Brazil. *Zootaxa*, v. 3709, p. 432 - 444, set. 2013.

BARR, T. C.; KUEHNE, R. A. Ecological studies in the Mammoth Cave ecosystems of Kentucky: II. The ecosystem. *Annales de Spéléologie*, Paris, v. 26, n. 1, p.47-96, 1971.

BRASIL. 2008. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Decreto leiº 6.640, de 7 de Novembro de 2008.

BRESCOVIT, A. D. et al. *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). **Zootaxa**, v.3572, p.23 - 32, dez. 2012.

CARDOSO, G. M. et al. Two new subterranean species of *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae) from Brazil. **Zootaxa**, v.3814 (3), p.353–368, jun. 2014.

CARDOSO, G. M.; BUENO A. A. P.; FERREIRA, R. L. A new troglobiotic species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from Southeastern Brazil. **Nauplius**, v.19, p.17 - 26, jun. 2011.

CULVER, D. C. **Cave life. Evolution and Ecology**. Massachussets And London: Harvard University Press, 1982.

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 Vol. 30: Subterranean Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Press, 2000, p. 381-397

ELLIOTT, W. R. Conservation of the American cave and Karst biota. In: WILKENS, H; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F (Ed.). **Ecosystems of the World Vol. 30: Subterranean Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Press, 2000, p. 671-695.

FERREIRA, R. L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, v. 3, n. 17, 106-115, jul. 2005.

FERREIRA, R. L.; SOUZA-SILVA, M.; BERNARDI, L. F. O. Diagnostico do conhecimento da biodiversidade de invertebrados terrestres em Minas Gerais: contexto Bioespeleológico. In: DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; VIEIRA, F. (Ed.). **Biota Minas: Diagnostico do conhecimento sobre a biodiversidade no Estado de Minas Gerais - Subsídio ao programa biota minas**, Fundação Biodiversitas, 2009, p. 166- 175.

FERREIRA, R. L. **Ecologia de comunidades cavernícolas associadas a depósitos de guano de morcegos**. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 1998.

FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 161 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2004.

FERREIRA, R. L.; GOMES, F. T. M. C.; SOUZA-SILVA, M. Uso da cartilha "Aventura da vida nas cavernas" como ferramenta de educação nas atividades de turismo em paisagens cársticas. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, v.1, p.139 - 158, dez. 2008.

FERREIRA, R. L. et al. Da formação da caverna à formação do educador. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, n. 4, p.1 – 9, jul. 2014.

FERREIRA, R. L.; HORTA, L. S. Natural and Human Impacts on Invertebrate Communities in Brazilian Caves. **Brasilian Journal Of Biology**, São Carlos, v. 1, n. 61, p.7-17, 2001.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Cavernas em risco de 'extinção'. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 29, p.20-28, fev. 2001.

GILBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; ATANFORD, J. **Groundwater Ecology**. New York: Academic Press, 1994.

GILLIESON, D. **Caves: process, development, management**. Oxford: Blackwell Publishers Ltd, 1996.

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

GNASPINI-NETO, P.; TRAJANO, E. 1994. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira de Entomologia**, (38): 549-584. 1994.

HERRERA, F. F. Las comunidades de artropodos del guano del guácharo em la cueva del guácharo, Venezuela. **Bol. Soc. Venez. Espeleol**, Caracas, v. 29, p.39-46, dez. 1995.

HOCH, H.; FERREIRA, R. L. *Ferricixius davidi* gen.n., sp.n. – the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera: Fulgoromorpha: Cixiidae). **Deutsche Entomologische Zeitschrift**, v.59, p.201 - 206, dez. 2012.

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L. The first troglobitic *Pseudonannolene* from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). **Zootaxa**, v. 3669, p.85 - 95, jun. 2013a

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L. Two new species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian limestone caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae): synotopy of a troglophilic and a troglobiotic species. **Zootaxa**, v. 3702 (4), p. 357– 369, ago. 2013b.

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L.; WESENER, T. The first troglobitic *Glomeridesmus* from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of Glomeridesmida (Diplopoda). **Zootaxa**, v.3550, p.26 - 42, nov. 2012.

LIENHARD, C.; CARMO, T. O.; FERREIRA, R. L. A new genus of Sensitibillini from Brazilian caves (Psocodea: 'Psocoptera': Prionoglarididae). **Revue Suisse de Zoologie**, v.117, p.611 - 635, dez. 2010.

LIENHARD, C.; FERREIRA, R. L. A new species of *Neotrogl* from Brazilian caves (Psocodea: 'Psocoptera': Prionoglarididae). **Revue Suisse de Zoologie**, v.120, p.3 - 12, fev. 2013a.

LIENHARD, C.; FERREIRA, R. L. New species of *Psyllipsocus* from Brazilian caves (Psocodea: Psocoptera: Psyllipsocidae). **Revue suisse de Zoologie**, v.121 (2), p. 211-246, jun. 2014.

LIENHARD, C.; FERREIRA, R. L. 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**, v. 120, p. 421-443, set. 2013b.

LIENHARD, C. et al. Microcrystals coating the wing membranes of a living insect (Psocoptera: Psyllipsocidae) from a Brazilian cave. **Scientific Report**, v.2, p.1 - 6, mai. 2012.

MACHADO, E.O.; FERREIRA, R. L.; BRESCOVIT, A.D. A new troglomorphic *Metagonia* Simon 1893 (Araneae, Pholcidae) from Brazil. **Zootaxa**, v.3135, p.59 - 62, dez. 2011.

MACHADO, S. F.; FERREIRA, R.L. *In: Invertebrados. Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para a sua conservação*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005, 94 pp.

MAGURRAN, A. E. 2004. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Cromm Helm, London.

MENDES, L. F.; FERRERA, R. L. On a new cave-dwelling Nicoletiidae (Zygentoma: Insecta) from Brazil. **García de Orta. Sér. Zool**, v. 24, n. 1-2, p. 101-106, dez. 2002.

PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R. L. Ultrastructural analysis and polymorphisms in *Coarazuphium caatinga* (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini), a new Brazilian troglotic beetle. **Zootaxa**, v.3765 (6), p.526 - 540, fev. 2014.

PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R. L. Ultrastructural analysis of *Coarazuphium formoso* (Coleoptera: Carabidae, Zuphiini), a new Brazilian

troglobitic beetle. **Zootaxa**, v.2866, p.39 - 49, mai. 2011.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, v. 165, p.971-981, 1969.

PREVORCNIK, S.; FERREIRA, R. L.; SKET, B. Brasileirinidae, a new isopod family (Crustacea: Isopoda) from the cave in Bahia (Brazil) with a discussion on its taxonomic position. **Zootaxa**, v.3452, p.47 - 65, set. 2012.

RATTON, P.; MAHNERT, V.; FERREIRA, R. L. A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. **The Journal of Arachnology**, v.40, p.274 - 280, ago. 2012.

RODRIGUES, S.G.; BUENO, A.A.P.; FERREIRA, R.L. A new troglobiotic species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Hyaellidae) with a taxonomic key for the Brazilian species. **Zootaxa**, v.3815 (2), p.200–214, jun. 2014.

SARBU, S. M.; KANE, T. C.; KINKLE, B. K. A chemoautotrophically based cave ecosystem. **Science**, v. 272, p.1953-1955, jun. 1996.

SOUZA, M. F. V. R.; FERREIRA, R. L. A new highly troglomorphic species of *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) from tropical Brazil. **The Journal of Arachnology**, v.40, p.151 - 158, ago. 2012b.

SOUZA, M. F. V. R.; FERREIRA, R. L. A new troglobitic *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) from Brazil. **The Journal of Arachnology**, v.39, p.185 - 188, jan. 2011.

SOUZA, M. F. V. R.; FERREIRA, R. L. *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) in Brazilian caves with the first troglobiotic palpigrade from South America. **The Journal of Arachnology**, v.38, p.415 - 424, mai. 2010.

SOUZA, M. F. V. R.; FERREIRA, R. L. *Eukoenenia virgemdalapa* (Palpigradi:

Eukoeneriidae): a new troglobitic palpigrade from Brazil. **Zootaxa**, v.3295, p.59 - 64, mai. 2012a.

SOUZA-SILVA, M.; MARTINS R. P.; FERREIRA R. L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 8, n. 20, p.1713-1729, mai. 2011.

SOUZA-SILVA, M. 2008. Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira. **Tese apresentada ao programa de Pós Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais**. 205 pp.

TRAJANO, E.; MOREIRA, J. R. A. Estudo da fauna de cavernas da Província Espeleológica Arenítica Altamira-Itaituba, Pará. *Revista Brasileira de Biologia*, v.51, n. 1, p. 13-29, 1991.

TWIDALE C. R.; VIDAL ROMANÍ J. R. **Landforms and Geology of Granite terrains**. Ed. Balkema, The Netherlands, Amsterdam. 2005.

WHITE, W. B.; CULVER, D. C. 2012. **Encyclopedia of caves**. Elsevier Academic Press, Oxford, San Diego,

YOSHIZAWA, K.; FERREIRA, R. L.; KAMIMURA, Y.; LIENHARD, C. Female Penis, Male Vagina, and Their Correlated Evolution in a Cave Insect. **Current Biology**, abr. 2014.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice-hall, 1996.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

**HIGH SUBTERRANEAN BIODIVERSITY IN A NEOTROPICAL
QUARTZITE SPELEOLOGICAL PROVINCE: IMPLICATIONS FOR THE
CAVE FAUNA CONSERVATION**

Artigo redigido conforme as normas da revista científica “*Journal of Cave and Karst Studies*”, ISSN 1090-6924 (versão preliminar).

ABSTRACT

Studies regarding the fauna associated to quartzite caves are still incipient in the world. Further aggravating this situation, caves face threats due to different anthropogenic impacts that come from tourism, agricultural and urban expansion. Herein we presented data of the richness and distribution of invertebrates' species and the qualitative trophic status in 20 quartzitic caves placed on Neotropics under intense tourist activities. The caves showed a high richness of troglophile (480 spp.) and troglobitic species (6 spp.) in relation to others siliciclastic caves in the world. The average richness was 39,55 spp. (SD 21.87). The quantitative similarity value among the communities was low (<30%) and the turnover was 58.1%. Cave extension was the variable most influential for the communities' similarity (R_s : 6,753) and the total richness ($R_s = 0.59$). The total richness ($p \leq 0.05$) and the relative richness ($p \leq 0.05$) were significantly related to the number of cave entrances. A negative correlation was observed between the altitude and the richness of troglobitic species ($R_s = 0.4490$; $p \leq 0.05$). Roots mats, termite galleries, fungi, bacteria and guano showed to be the most important organic resources in the maintenance of the cave fauna. Although a high richness was found in these caves, the fauna is under intense pressure from human's uses. Thus, the caves still requires special conservation plans to provide a maintenance of the cave's condition and food availability.

Keywords: subterranean fauna, Neotropics; quartzite rocks; troglobitic species.

INTRODUCTION

Studies related to subterranean fauna have received increased attention in recent years, especially those related to evolution and ecology (Culver and Sket, 2000). Despite this, most of the knowledge concerning subterranean fauna is restricted to the limestone caves. The other kinds of rocks, such as siliciclastic (sandstones, quartzites), have received less attention (Sharratt et al., 2000, Souza-Silva et al., 2011a, 2015). Some of these caves that have been studied are located in Cape Peninsula in South Africa, in the northwest of the United States, the Tepuis in South America and caves in the Brazilian Atlantic Forest (Peck and Peck, 1982; Sharratt et al., 2000; Zeppelini et al., 2003; Galán and Herrera, 2006; Souza-Silva et al., 2011a, Gallão and Bichuette, 2015; Souza-Silva et al., 2015). Some of those studies have shown that caves in siliclastic rocks are important refuges for troglophile and troglobitic fauna in Neotropics, thus deserving attention from a conservation point of view (Souza-Silva et al., 2015). Thus, inventories on the fauna in siliciclastic caves became extremely important to understand the importance of these environments in maintaining regional subterranean biodiversity.

In Brazil, the cave fauna started to be studied in the mid-80s (Dessen et al., 1980), with few systemic studies assessing ecological aspects of cave fauna. In addition, most of the existing knowledge on cave fauna in the country comes from work done in limestone caves (Trajano, 1987; Pinto-da-Rocha, 1995; Ferreira and Martins, 1998, Ferreira et al., 2000, Gomes et al., 2000, Ferreira and Horta, 2001, Souza-Silva et al., 2011, Simões et al., 2014). However, some areas in Brazil with quartzite caves were considered important for conservation priorities in function of the high richness of troglophile and troglobitic species and human uses (Souza-Silva et al., 2015).

Until to beginning of 80 decade, about 20 troglobitic species have been recorded in about 100 siliciclastic caves around the world (Peck and Peck,

1982). However, the information is still scarce, considering the proportion of the quartzite rocks and number of sampled caves compared to limestone caves. In Brazil, around 500 species found in such caves were considered troglophiles, and less than twenty caves have records of at least two troglobitic species (Pinto-da-Rocha, 1995; Ferreira 2004; Lourenço et al., 2004; Bichuette et al., 2008; Kury 2008; Souza-Silva et al., 2011a, b, 2015; Bertani et al., 2013; Oliveira, 2014; Gallão and Bichuette, 2015, Souza-Silva et al., 2015).

In fact, to propose effective conservation actions for the caves, the understanding of the lithological influence on the composition and structure of the subterranean communities should be sought out. Thus, this study aimed to present data that can contribute to enhance the theme of ecology and conservation of quartzite caves, a very distinct ecosystem in term of biodiversity (Sharratt et al, 2000, Souza-Silva et al., 2011a; Gallão and Bichuette, 2015). We evaluated the composition, abundance, richness, diversity and endemism of the invertebrate fauna, comparing environmental factors, as cave extension, environmental stability and number and size of entrances, which can influence the structure of the communities. In addition, we evaluated the conservation status degree of the caves in face of human uses alterations.

MATERIAL AND METHODS

Study Area

The study was conducted in the altitudinal Ibitipoca speleological province, Minas Gerais state, Brazil, that hold caves modeled by a hierarchically organized drainage influenced by differences between the local water table and the regional base level (Corrêa-Neto and Filho, 1997). The Ibitipoca quartzites is a typical karstic relief (Hardt and Pinto, 2009) that belongs to the Andrelândia geological group, composed mainly of quartzite Mesoproterozoic

lithostratigraphic age (Corrêa-Neto and Filho, 1997; Willems et al., 2008; Nummer et al., 2012).

The Ibitipoca State Park, a protected area, has 1,488 ha of extension at altitudes that ranging from 1200 to 1784m was created in 1973 to protect the fauna, flora and caves (IEF 2007). The dominant vegetation types are grasslands in the top of the hills and rain forests in valleys (Dias et al., 2002). The climate is Tropical altitude with mild summers with rainfall regimes and dry (May to August) and rainy seasons (August to January) (Corrêa-Neto and Filho, 1997). The epigeal temperatures varies from 12 °C to 20 °C. and the cave temperatures varies from 09 °C to 20 °C.

Caves and invertebrates species surveyed

We assessed the invertebrate species richness and composition (troglobitic and trogophile) and human impacts in 20 caves located around 1300 asl (Fig. 1). The invertebrates found were previously identified in the field and some of their specimens were manually collected with forceps and brushes wet in 70% alcohol. Each species identified in the field received a distinguishing code, with its abundance plotted on the cave map, according to the methodology proposed by Ferreira (2004). During the collection, microhabitats, such as spaces under trunks, guano deposits, spaces under rocks and humid locations were prioritized (Souza-Silva et al., 2011a).

In the laboratory, the invertebrates were identified to the lowest accessible taxonomic level and separated into morphotypes and then reassembled according to field references (Oliver and Beattie, 1996; Ferreira 2004; Souza-Silva et al., 2011a, Simões et al., 2015). The overall abundance of each species was obtained by counting the individuals observed and included in each map.

The determination of potentially troglobitic species was conducted by

identifying the specimens with morphological features called troglomorphic traits (Culver and Pipan, 2009). Those traits, as depigmentation, anophthalmia, elongation of locomotors and sensory appendices, are usually used to determine the restriction on subterranean environment (Culver and Pipan, 2009). However, for some specific groups others traits are required, as increased number of sensory receptors (lateral organs) in Palpigradi (Souza and Ferreira, 2012) and increased number of antennomeres and cercal articles in Diplura (Sendra et al., 2012). In this groups, depigmentation and the lack of eyes do not represent troglomorphisms, since all species (even from external environments) share such traits.

Organic debris

Trophic characterization of the caves was made concomitant to the invertebrate collections. The characterization was based on the qualification of main organic resources and its access routes for each cave. The amount of resources, water and soil nutrients analyzes were not assessed in this study.

Human impacts

The human modifications observed in the caves were assessed during the sampling. These modifications were determined in relation to *uses* and *impacts*. The tourism was considered as use and the trampling, illumination and construction resulting from that activity as impacts (Souza-Silva et al., 2015).

Data analyses

To standardize the abundance, richness and diversity values used in the

analyses, such parameters were relativized in function of the cave size and horizontal extension of their entrances (Ferreira, 2004; Souza-Silva et al., 2011a). The quantitative similarity of fauna was obtained by the Bray-Curtis Index, the dominance through the Berger-Parker and the diversity and equitability were determined through the Shannon-Wiener index (Magurran, 2004). The environmental stability of each cavity was determined using the Environmental Stability Index (IEA) (Ferreira, 2004). The index considers the isolation degree between the cave and epigeal atmospheres, through a mathematical ratio, calculated as follows:

- For caves having just one entrance:

$$IEA = \ln (EA/EE)$$

In which: IEA – Environmental Stability Index; EA – Total size of each cavity; EE – Entrance size of the cavity.

- For caves having more than one entrance:

$$IEA = \ln [(EA/EE)/(NE)(DEE)/EA]$$

In which: IEA – Environmental Stability Index; EA – Total size of each cavity; ΣEE – Sum of the sizes of the cavity entrances; NE – Number of entrances; DEE – Average distance between entrances, taken from a reference entrance.

The beta diversity (turnover or β) was calculated using data of presence and absence (Harrison et al., 1992). $\beta_{Harrison} = \{[(S/a) - 1]/(N - 1)\} * 100$, where S = total species richness values, a = average richness values and N = number of samples. This measure ranges from 0 (no turnover) to 100 (each sample has a unique set of species) (Koleff et al., 2003). We used a Spearman correlation test (R_s) (Zar, 1984) to evaluate the relation between cave extension, number and size of entrances and cave environmental stability using the caves of this study. Furthermore, a non-parametric multivariate analysis (DistLM - Distance based Linear Model) was conducted to verify the influence among cave

abiotic factors (cave extension, environmental stability, number and size of entrances) in relation to the similarity of the fauna (Legendre and Anderson, 1999; McArdle and Anderson, 2001). The quantitative similarity was based on Bray-Curtis index and the adjusted R^2 was selected as criterion of the best explanatory environmental variable.

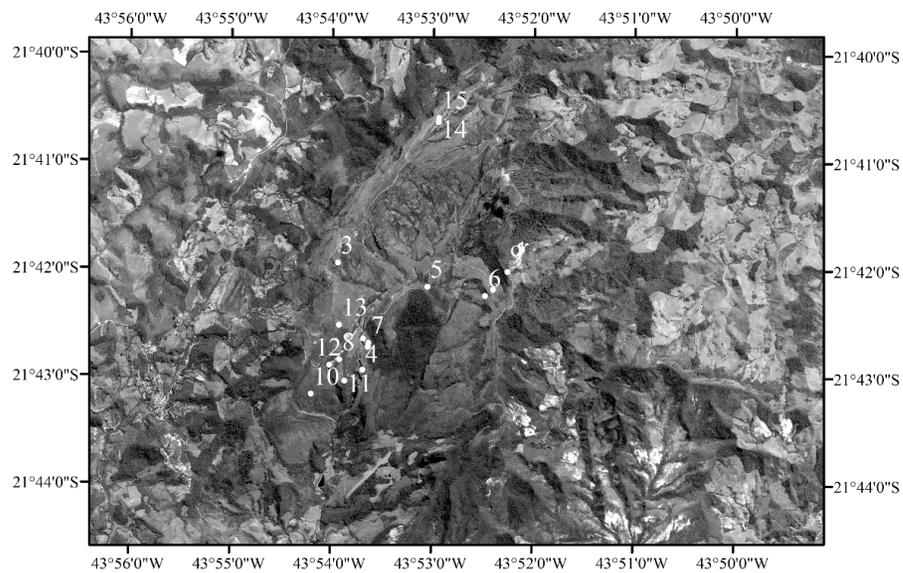


Figure 1. Hypsometric maps and satellite image of the Ibitipoca hill State Park with caves. The white numbers refers to the caves (see table 2). Some numbers may refer to more than one cave.

RESULTS

Faunal composition, abundance and richness

We found a total of 12,147 individuals distributed in 480 species, and at least 107 families. Some of the observed invertebrate taxa are shown in Table 1. Vertebrate species were also occasionally identified in the caves, as the bats

Desmodus rotundus and *Chrotopterus auritus* (Phyllostomidae) and the bird *Streptoprocne biscutata* (Apodiformes: Apodidae). At Ibitipoca six invertebrate species with troglomorphic traits were recorded in five caves. The species registered were Projapygidae (Diplura) (Fig. 2A), Pselaphinae (Coleoptera: Staphylinidae), Blattodea (Dictyoptera) (Fig. 2B), *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) (Fig. 2C), Hypogastruridae (Collembola). The only troglobitic species described from Ibitipoca caves is *Brasilomma enigmatica* Brescovit, Ferreira and Rheims, 2012 (Araneae: Prodidomidae).

The richest taxa among the sampled caves were the orders Araneae (100 spp.) and Diptera (85 spp.). The least rich groups were Dermaptera, Neuroptera, Gastropoda and Nematomorpha with a single species each.

The average richness of the caves was 39, 55 spp (SD 21.87). The Bromélias (96 spp.) and Moreiras (75 spp.) caves were those with the highest invertebrate richness, in contrast to the Martiniano II (18 spp.) and Catedral I (14 spp.) caves, that presented the lowest richness values (Table 2).

Diversity and distribution of the cave fauna

The Coelhos and Bixana I caves presented the highest invertebrate diversity values ($H' = 3.26$ and 2.97 , respectively). Regarding the dominance, the Bixana II and Catedral I caves showed the highest values ($D = 0.75$ and 0.32), while Monjolinhos and Bixana I, the smallest sampled caves, presented the highest evenness among the samplings ($J = 0.91$ and 0.86).

The quantitative similarity value among cave communities was lower than 30% and the species turnover among the caves (β Harrison) was 58.1%. The analysis based on Distance linear models (DistLM) revealed that the cave extension was the most important variable determining the cave communities' composition ($p = 0.04$, Adjusted $R^2: 6,753E-2$).

Influence of environmental variables on communities structure

The total richness ($R_s = 0.59$; $p \leq 0.05$), and richness of troglomorphic species ($R_s = 0.58$; $p \leq 0.05$) were significantly correlated with the cave's extension. The total richness ($R_s = 0.47$; $p \leq 0.05$) and the relative richness ($R_s = -0.61$; $p \leq 0.05$) were significantly related to the number of cave entrances. Finally, the relative richness ($R_s = -0.9$; $p \leq 0.05$) decreased significantly with the extension of the entrances.

Trophic resources for caves invertebrates

The organic resources were constituted by plant material deposited close to vertical or horizontal entrances, as well as sparse roots, roots stalagmites, termite galleries and guano of carnivorous (*Chrotopterus auritus*) and hematophagous bats (*Desmodus rotundus*) as well as swifts (*Streptoprocne biscutata*). In some caves, biofilms of bacteria and fungi were seen growing in different substrates and were also identified as an alternative organic resource for invertebrates.

Guano deposits of carnivorous bats were always small and scarce and harboring Staphylinidae and Histeridae. Guano deposits of swifts had harbored Acari, Diptera larvae, Crickets and Spiders. In addition, some predatory species associated with the deposits were found feeding on existing scavenger species and troglomorphic species associated only to this resource (Collembola: Hypogastruridae). The bat species *Desmodus rotundus* was the most frequent in caves on the periphery of the park, quite close to where there is an extensive cattle raising. A wide diversity of invertebrates, such as Orthoptera, Acari, Coleoptera and Diptera larvae, Annelida (Haplotaxida) and nematodes were found in guano of these bats. In the Casas cave, Collembola, Acari and

Blattodea were observed associated with termite galleries or abandoned nests, the only macroscopic organic matter observed inside the cave.

Human impacts

All impacts observed in the caves are consequence of the touristic use. Impacts as graffiti on the cave walls, trails and soil trampled are the most common, being found in almost all caves. In some caves, the entrances are located near the access trails to some Park tourist sights, and some garbage (organic and plastics) were found. In the Cruz cave, a wooden ladder was installed to facilitate the access of the visitors.

Currently only three caves in the Park are open to tourist visitation: Pião, Coelhos and Monjolinhos caves. Other caves as Bixana I and II showed no signs of visitation, although these are located near reception and leisure area access road. Although few impacts were found inside the park boundaries, the surrounding forests were severely changed by building and pasture, especially.

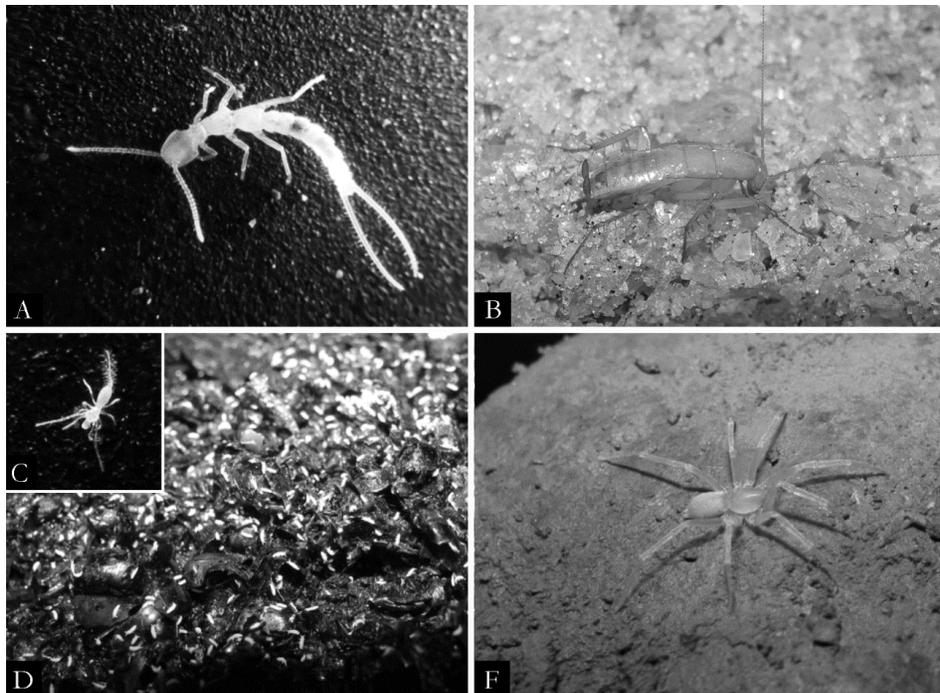


Figure 2. Some troglobitic species found in the caves of the Park. A) Projapygidae; B) Blattodea; C) *Eukoenenia* sp.; D) Hypogastruridae; F) *Brasilomma enigmatica*.

DISCUSSION

Variation in richness and diversity according to cave metrics

Currently, little is known about the invertebrate fauna in siliciclastic caves in Brazil (Gnaspini-Neto and Trajano, 1994; Zeppelini et al., 2003; Ferreira 2004; Souza- Silva et al., 2011b; Gallão and Bichuette, 2015). In those studies, accomplished in twenty seven caves with an average extension of 331.6 m. (SD 229. 4 m), an average richness of invertebrates of 29.48 spp. (SD 12.7 spp.) was observed. The higher average richness (39. 55, spp., SD 21.87 spp.) from Ibitipoca hills caves may be an influence of large caves (Nummer et al., 2012). On the other hand, the availability and heterogeneity of organic sources

in Ibitipoca caves can support a more diverse community (Schneider et al. 2011; Souza-Silva et al., 2011a). Furthermore, recent studies in Brazilian caves have suggested that factors such as the cave size, as well as the number, size and position of the entrances, besides their physical and trophic conditions and humans impacts, may influence the invertebrate species richness (Ferreira and Horta, 2001; Ferreira 2004; Souza-Silva et al., 2011a, Simões et al., 2015). Indeed, it is known that cave size is an important variable determining species richness, since it can eventually lead to increasing the amount of organic resources (Brunet and Medelin, 2001; Ferreira, 2004; Souza-Silva et al., 2011a; Schneider et al., 2011) and a habitat heterogeneity (Ferreira, 2004; Culver and Pipan, 2009; Simões et al., 2015), supporting large populations of vertebrates and invertebrates. The influence of the number, distribution and extension of entrances on the richness may be due to the fact that the cave entrances act as ecotones (Prous et al., 2004, 2015), harboring rich para-epigean communities, with representatives of epigean and hypogean fauna (Prous et al., 2004, 2015).

Biodiversity in quartzite caves

In Brazil, excepting the iron ore caves (Ferreira et al., 2015, Souza-Silva et al., 2015), non-carbonate caves usually have a low richness of troglobitic species in limestone caves (Souza-Silva et al., 2011a). However, for the Ibitipoca hills caves a considerably high number of troglobitic species was found. Regarding of this richness, two factors may be determinant. First, these caves are located in high altitudinal areas (>1300 m, asl.), where the vegetation type is tropical rain forests on the slopes and countryside on the hilltops. Furthermore, such areas have a tendency towards high temperature during the summer and lower temperatures during the winter and probable a low primary productivity (Gaston, 2000). Such conditions could have forced epigean

invertebrate populations to use the caves as shelters and thus increase the richness of hypogean species. Therefore, these conditions imposed to invertebrates species associated to the probable dating of the caves at millions of years (*pers. comm.* Rodet, J.), may have influenced the richness of the troglobitic species. Corroborating it, it is known that variations in environmental conditions associated with a complex geological history are leading causes of invasion of epigean species to subterranean environment in some areas of world, *e. g.* western Balkans (Deharveng et al., 2012).

In Brazil, the quartzitic caves from Chapada Diamantina in Andaraí municipality, Bahia state, was also indicated as an important region regarding the high richness of troglobitic species, although the authors have referred to them as sandstone caves (Gallão and Bichuette, 2015). From this region, 23 troglobitic species were mentioned (plus other 14 species with some troglomorphy) (Gallão and Bichuette, 2015). Accordingly, the authors found 37 troglomorphic species in 11 caves in the area, which represent 23% of the total invertebrates sampled (160 species). This is an extremely atypical scenario for tropical caves, with an exception to Brazilian iron ore caves (Ferreira et al, 2015). It is important to highlight that for those troglobitic species, there is no confirmation, for most species, about its restriction to the subterranean environment. Furthermore, regarding the troglomorphic species, the morphological traits considered by the authors (as anophthalmia and depigmentation) are general and not informative for some groups, as Palpigradi and Diplura, for example. Accordingly, it is highly recommended additional faunistic surveys to be conducted in that region to determine the real richness of troglobitic species in the Diamantina region.

In comparison to other regions of the world, the quartzitic caves from Ibitipoca hills present high richness of invertebrates, in general. Sharratt et al. (2000) reviewed the fauna of 31 sandstone caves placed between 450-750m above the sea level on the Cape Peninsula, South Africa and found 85

invertebrate species (13 troglobitic). Peck and Peck (1982) observed 15 troglophile and 2 troglobitic species in Devils Den cave, USA. Although these studies used different methodologies of sampling, such caves showed a lower average richness compared to the quartzitic caves in Brazil. For these caves, the smaller size and fewer number of entrances, reinforce the importance of these metrics to increase the richness in siliciclastic caves. Furthermore, the latitude of the caves may have been also influential to the richness, since the tropical regions have greater richness (and diversity) of species compared to temperate regions (Gaston and Blackburn, 2000), thus, presenting a richer “stock” of potential cave colonizers.

Threats to the cave fauna in Ibitipoca hills

At Ibitipoca State Park, one of the most visited protected area in Minas Gerais state, the caves do not have any adequacy or route pathway to receive tourists, deserving careful attention to avoid future problems related to visits, especially those caves with endemic species. Furthermore, although the management plan of the park included biospeleological surveys, none of the troglobitic species found in this work were observed during those surveys, and were not considered for planning conservation strategies (Trajano et al., 2007).

According to Souza-Silva et al. (2013), mosses, ferns and litter are the food source for species inhabiting the twilight zone of the Casas cave. For those species that use the dark zones as a permanent shelter (troglophiles) hematophagous bat guano, termite colonies and rare roots are important food resources. In the surroundings of the Ibitipoca hill, deforested areas for cattle ranching were observed. This may have influenced directly the abundance of *Desmodus rotundus* (hematophagous bat) in peripheral caves. Thus, for the conservation of the invertebrates from Ibitipoca, further attention is also required

for the forests surrounding the park, since the energetic flow in some caves (especially those where troglobitic species were found) depend of the guano of bats and swifts.

CONCLUSION

In Brazil, most of the studies regarding cave invertebrates are focused on noncarbonated caves. Therefore, few quartzite caves have information regarding the biotic and abiotic parameters influencing their communities. In Ibitipoca hills, the caves' dimensions, as well as the heterogeneity of organic matter, are important factors maintaining the invertebrate richness. Furthermore, for the troglomorphic fauna, factors as the altitude and probably the caves age may explain the relatively high number of species observed.

However, although these caves are inserted in a protected area, the conservation of their environment and fauna is not ensured, especially for those caves located near the limits of the protected area. Thus, it is extremely recommended investments on adequacy of tourism and in environmental education programs for visitors, aiming to minimize the impact of a little-known and threatened fauna.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) (CRA APQ 01046-12), to Leda Zogbi for sending the maps, to Parque Estadual do Ibitipoca and the employees Rose, João Carlos, Alcino, Carlos, José Geraldo, Elias and José Luiz for all attention with us. RLF is

grateful to the National Council of Technological and Scientific Development (CNPq) for research grant No. 304682/2014- 4.

REFERENCES

- Bertani R., Bichuette, M.E. and Pedroso, D.R., 2013, *Tmesiphantes hypogeus* sp. nov. (Araneae, Theraphosidae), the first troglobitic tarantula from Brazil: Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 85, p. 235–243. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652013005000007>
- Bichuette M.E., de Pinna, M.C.C. and Trajano, E., 2008, A new species of *Glaphyropoma*: The first subterranean copionodontine catfish and the first occurrence of opercular odontodes in the subfamily (Siluriformes: Trichomycteridae): Neotropical Ichthyology, v. 6, p. 301–306. doi: 10.1590/S1679- 62252008000300002
- Bocic, N., Lukic, A. and Opacic, V.T, 2006, Management models and development of show caves as tourist destinations in Croatia: Acta Carsologica, v. 35/2, p. 13-21.
- Brescovit, A.D., Ferreira, R.L., Silva, Souza-Silva, M. and Rheims, C., 2012 *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae): Zootaxa, v. 3572, p. 23 - 32.
- Brunet, A.K. and Medellín, R.A., 2001, The Species–Area Relationship in Bat Assemblages of Tropical Caves: Journal of Mammalogy, v. 82, p. 1114–1122. [http://dx.doi.org/10.1644/1545-1542\(2001\)082<1114:TSARIB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082<1114:TSARIB>2.0.CO;2)
- Chagas-Jr, A. and Bichuette, M.E., 2015, A new species of *Scolopocryptops* Newport: a troglobitic scolopocryptopine centipede from a remarkable siliciclastic area of eastern Brazil (Scolopendromorpha, Scolopocryptopidae, Scolopocryptopinae): Zookeys, v. 487, p. 97–110.

<http://dx.doi.org/10.3897/zookeys.487.9262>

- Corrêa-Neto, A.V. and Filho, J.B., 1997, Espeleogênese em quartzito da Serra de Ibitipoca, Sudeste de Minas Gerais: Anuário do Instituto de Geociências, v. 20, p. 75-87.
- Culver, D.C. and Pipan, T., 2009, *The Biology of caves and other subterranean habitats*: New York: Oxford University Press, U.K., 256 p.
- Culver, D.C. and Sket, B., 2000, Hotspots of Subterranean Biodiversity in Caves and Wells: *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 62, no. 1, p. 11-17.
- Deharveng, L., Gibert, J. and Culver, D.C., 2012, Diversity patterns in Europe, *in* White, W. B. and Culver, D. C., eds., *Encyclopedia of Caves*, 2 nd. ed., Elsevier Inc., UK, pp. 219-228.
- Dessen, E.M.B., Eston V.R., Silva M.S., M. Temperini-Beck T. and Trajano, E., 1980, Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil: *Ciência e Cultura*, v. 32, no. 6, p. 714-725.
- Dias, H.C.T., Filho, E.I.F., Schaefer, C.E.G.R., Fontes, L.E.F. and Ventorim, L.B., 2002, Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG: *Árvore*, v. 26, no. 6, p. 777-786.
- Faille A., Bourdeau C. and Deharveng L., 2015, Weak impact of tourism activities on biodiversity in a subterranean hotspot of endemism and its implications for the conservation of cave fauna: *Insect Conservation and Diversity*, n. 8, p. 205–215. <http://dx.doi.org/10.1111/icad.12097>
- Ferreira, R.L. and Horta, L.C.S., 2001, Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves: *Revista Brasileira de Biologia*, v. 61, no. 1, p. 7- 17. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-71082001000100003>

- Ferreira, R.L., 2004, A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos [Ph.D. Thesis]: Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 158 p.
- Ferreira, R.L., Oliveira, M.P.A. and Souza-Silva, M., 2015, Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos, *in* Carmo, F. F. and Kamino, L. H. Y., eds., Geossistemas Ferruginosos do Brasil: 3i, Belo Horizonte, p. 195-231.
- Gallão, J.E. and Bichuette, M.E., 2015, Taxonomic distinctness and conservation of a new high biodiversity subterranean area in Brazil: Anais da Academia Brasileira de Ciências, 87(1), p. 3765201520140312
- Gaston, K.J. and Blackburn, T.M., 2000, Pattern and Process in Macroecology: Oxford, Blackwell Science Ltd, 377 p.
<http://dx.doi.org/10.1002/9780470999592>
- Gaston, K.J., 2000, Global patterns in Biodiversity: Nature, v. 403, p. 220-227.
<http://dx.doi.org/10.1038/35012228>
- Gillienson, D.S., 2011, Management of Caves, *in* van Beynen, P. E., ed., Karst Management: New York, Springer Dordrecht Heidelberg London, p. 141-158.
- Gnaspini-Neto, P. and Trajano, E., 1994, Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa: Revista Brasileira de Entomologia, v. 38, p. 549-584.
- Hardt, R. and Pinto, S.A.F., 2009, Carste em litologias não carbonáticas: Revista Brasileira Geomorfologia, v. 10, p. 99 – 105.
- Harrison, S., Ross, S.J. and Lawton, J.H., 1992, Beta diversity on geographic

- gradient in Britain: *Journal of Animal Ecology*, v. 61, p. 151–158.
<http://dx.doi.org/10.2307/5518>
- Koleff, P., Gaston, K.J. and Lennon, J.J., 2003, Measuring beta diversity for presence– absence data: *Journal of Animal Ecology*, v. 72, p. 367–382.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00710.x>
- Kury, A.B., 2008, Two new troglomorph Pachylinae (Opiliones, Laniatores, Gonyleptidae) from caves in Bahia, Brazil: *Studies of Neotropical Fauna and Environment*, v. 43, p. 247–253.
<http://dx.doi.org/10.1080/01650520701731794>
- Legendre, P. and Anderson, M.J., 1999, Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments: *Ecological Monographs*, v. 69, p. 1-24.
- Lourenço, W.R., Baptista, R.L.C., Giupponi, A.P.D.L., 2004, Troglobitic scorpions: A new genus and species from Brazil: *Comptes Rendus – Biologies*: v. 327, p. 1151– 1156. doi: 10.1016/j.crv.2004.09.001
- Magurran, A.E., 2004, *Measuring biological diversity*: Blackwell Science, 256 p.
- McArdle, B.H. and Anderson, M.J., 2001, Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis: *Ecology*, v. 82, p. 290-297. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[0290:FMMTCD\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0290:FMMTCD]2.0.CO;2)
- Nobre, P.H., Mello, R.M., Manhães, M.A. and Rezende, A.C., 2013, Morcegos (Chiroptera, Mammalia) do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais – Brasil: *MG. Biota*, v. 6, no. 2, p. 4-29.
- Nummer, A.R., Garcia, M.G.M., Rodela, L.G., Oliveira, J.C.L. and Belcavelo, R., 2012, Potencial Geoturístico do Parque Estadual da Serra do Ibitipoca, Sudeste do Estado de Minas Gerais: *Anuário do Instituto de*

Geociências - UFRJ, v. 35, no. 1, p. 112- 122.

Oliveira, M.P.A., 2008, Os Métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea? [Dissertation]: Lavras, Universidade Federal de Lavras, 126 p.

Oliver, I. and Beattie, A.J., 1996, Invertebrate Morphospecies as Surrogates for Species: A Case Study: *Conservation Biology*, v. 10, p. 99–109. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10010099.x>

Peck, S.B. and Peck, J.H., 1982, Invertebrate fauna of Devils Den, a sandstone cave in northwestern Arkansas: *Arkansas Academy of Science Proceedings*, v. 36, p. 46- 48.

Pellegrini, T.G. and Ferreira, R.L., 2012, Management in a Neotropical show cave: planning for invertebrates conservation: *International Journal of Speleology*, v. 41, p. 361 - 368. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.41.2.19>

Pinto-da-Rocha, R., 1995, Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994): *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 39, no. 6, p. 61-173.

Polak, S. and Pipan, T., 2011, Subterranean habitats and fauna, their threats and conservation, *in* Prelovšek, M. and Hajna, N. Z., eds., *Pressures and Protection of the Underground Karst—Cases from Slovenia and Croatia*. Postojna, Karst Research Institute ZRC SAZU, p. 23-32.

Prous, X., Ferreira, R.L. and Martins, R. P., 2004, Ecotone delimitation: Epigeal- hypogean transition in cave ecosystems: *Austral Ecology*, v. 29, p. 374 – 382. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01373.x>

Prous, X., Ferreira, R.L. and Jacobi, C.M., 2015, The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave: *International Journal of Speleology*, v. 44, p. 177-189. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.7>

- Schneider, K. Christman, M.C., and Fagan, W.F., 2011, The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem - level manipulation experiment: *Ecology*, v. 92, no. 3, p. 765 –776. <http://dx.doi.org/10.1890/10-0157.1>
- Sendra, A., Arnedo, M.A., Ribera, C., Teruel, S., Bidegaray-Batista, L. and Conde, B., 2012, Revision of *Cestocampa* Condé (Diplura, Campodeidae), with description of a new species from caves in the eastern Iberian Peninsula: *Zootaxa*, v. 3252, p. 43– 56.
- Sharratt N.J., Picker, M. and Samways, M., 2000, The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities: *Biodiversity and Conservation*, v. 9, p. 107-143. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008968518058>
- Simões, M.H., Souza-Silva, M. and Ferreira, R.L., 2014, Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais state, Brazil: endemism, threats and conservation: *Acta Carsologica*, v. 43, p. 159-174. <http://dx.doi.org/10.3986/ac.v43i1.577>
- Simões, M.H., Souza-Silva, M. and Ferreira, R.L., 2015, Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics: *Subterranean Biology*, v.16, p.103-121. <http://dx.doi.org/10.3897/subtbiol.16.5470>
- Souza, M.F.V.R. and Ferreira, R.L., 2012, A new highly troglomorphic species of *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) from tropical Brazil: *The Journal of Arachnology*, v. 40, p. 151–158. <http://dx.doi.org/10.1636/Ha11-26.1>
- Souza-Silva, M., 2008, *Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira [PhD Thesis]:* Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 226 p.

- Souza-Silva, M., Martins, R.P. and Ferreira, R.L., 2011a, Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest: *Biodiversity Conservation*, v. 20, p. 1713-1729. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-011-0057-5>
- Souza-Silva, M., Nicolau, J.C. and Ferreira, R.L., 2011b, Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do Mandembe, Luminárias, MG: *Espeleo-Tema*, v. 22, no. 1, p. 79-91.
- Souza-Silva, M., Rezende, R.K.S. and Ferreira, R.L., 2013, Detritus processing in lentic cave habitats in the Neotropics: *Subterranean Biology*, v. 11, p. 3 – 14. <http://dx.doi.org/10.3897/subtbiol.11.5107>
- Souza-Silva, M., Martins, R.P. and Ferreira, R.L., 2015, Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest: *Environmental Management*, v. 55, p. 279–295. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-014-0414-8>
- Trajano, E., 1987, Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar: *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 3, no. 8, 533-561.
- Trajano, E., Bichuette, M.E. and Franco, F.P., 2007, Bioespeleologia, *in* Instituto Estadual de Florestas, ed., Plano de Manejo do Parque Estadual de Ibitipoca, Belo Horizonte, Governo de Minas Gerais, p. 46-52.
- Willems, L., Rodet, J., Pouclet A., Melo, S., Rodet, M.J., Compère, P.H., Hatert, F., Auler, A.S., 2008, Karsts in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil: *Cadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, v. 33, p. 127–138.
- Zar, J.H., 1984, *Biostatistical analysis*. 2 nd. ed: New Jersey, Prentice Hall, 718 p.
- Zeppelini, D., Ribeiro, A.C., Ribeiro, G.C., Fracasso, M.P.A., Pavani, M.M.,

Oliveira, O.M.P., Oliveira, S.A. and Marques, A.C., 2003, Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil: *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 43, no. 5, p. 93 – 99.

TABLES

Table 1. Composition and number of invertebrate's families observed in caves of the Ibitipoca quartzite speleological province, Brazil. N.I.: Not identified. *Taxa containing troglobitic species.

Taxa	Families
Platyhelminthes	Dugesiiidae.
Nematomorpha	N.I.
Annelida	N.I.
Opilliones	Gonyleptidae.
Isopoda	Philosciidae.
Acari	Anoetidae; Anystidae; Argasidae; Ascidae; Calypstomatidae; Ixodidae; Ixodorhynchidae; Laelapidae; Macrochelidae; Rhagidiidae; Trombidiidae; Veigaiidae.
Araneae	Araneidae; Clubionidae; Ctenidae; Dipluridae; Segestridae; Gnaphosidae; Lycosidae; Mimetidae; Ochiroceratidae; Oonopidae; Pholcidae; Nemesiidae; Prodidomidae*; Salticidae; Scytodidae; Tetrablemmidae; Theraphosidae; Theridiidae; Theridiosomatidae; Trechaleidae.
Palpigradi	Eukoeneniidae*.
Pseudoscorpiones	Chernetidae.
Geophilomorpha	Geophilidae.
Litobiomorpha	Lithobiidae.
Scolopendromorpha	N.I.
Diplopoda	Chelodesmidae; Cryptodesmidae;

Coleoptera	Carabidae; Chrysomelidae; Curculionidae; Dermestidae; Dytiscidae; Elmidae; Eucnemidae; Gyrinidae; Cholevidae; Lampyridae; Lymexilidae; Noteridae; Scydmaenidae; Ptilodactylidae; Staphylinidae*; Tenebrionidae.
Collembola	Hypogastruridae*; Sminthuridae.
Blattodea	N.I.*
Diplura	Projapygidae*; Japygidae.
Diptera	Agromyzidae; Bibionidae; Calliphoridae; Cecidomyiidae; Ceratopogonidae; Chaoboridae; Chironomiidae; Culicidae; Dolychopodidae; Drosophilidae; Empididae; Lonchaeidae; Mycetophilidae; Muscidae; Phoridae; Psychodidae; Sarcophagidae; Stratiomyidae; Sciariidae; Tipulidae.
Ensifera	Gryllidae.
Ephemeroptera	Leptohyphidae.
Hemiptera	Cixidae; Cydnidae; Orthezidae; Cicadellidae; Enichocephalidae; Hebridae; Ploiaridae; Reduviidae; Veliidae.

Hymenoptera	Formicidae.
Isoptera	Termitidae.
Lepidoptera	Noctuidae; Pyralidae; Tineidae.
Megaloptera	Corydalidae.
Neuroptera	Myrmeleontidae.
Psocoptera	Psyllipsoscidae; Pseudocaeciliidae; Ptiloneuridae.
Trichoptera	Hydropsychidae.
Zygentoma	Nicoletiidae.
Gastropoda	N.I.

Table 2. Biological characteristics of the studied quartzitic caves in Ibitipoca speological province, Brazil.

Cave	RT	RS	A	D	H'	J	Alt asl. (m)	EA (m)	Troglomorphic species
1 Pião	34	0.27	270	0.14	2.564	0.73	1.416	126	Blattodea
2 Lagarto	40	0.4	266	0.99	2.738	0.74	1.309	40	
3 Cruz	61	1.45	344	0.16	2.694	0.66	1.668	50	
3 Dobras	26	0.19	220	0.13	2.381	0.73	1.667	138	Blattodea
4 Casas	47	0.07	249	0.19	2.577	0.67	1.477	650	Blattodea, Projapygidae; Palpigradi; Pselaphinae
5 Monjolinhos	22	1.05	39	0.08	2.81	0.91	1.628	21	
6 Viajantes	33	0.2	333	0.13	2.504	0.72	1.308	166	
7 Gnomos	23	0.38	137	0.24	1.968	0.63	1.363	32	
7 Coelhos	67	0.84	488	0.06	3.255	0.77	1.358	80	
8 Bichana I	31	1.55	132	0.07	2.969	0.86	1.360	20	
8 Bichana II	19	0.63	580	0.75	0.7054	0.24	1.350	30	
9 Catedral I	14	0.54	89	0.32	1.676	0.64	1.646	26	

9	Catedral III	22	0.13	145	0.11	2.577	0.84	1.634	170	
10	Manequinho	61	0.1	940	0.3	2.232	0.54	1.311	160	
11	Ponte de Pedra	30	0.44	103	0.17	2.446	0.72	1.283	54	
12	Martiniano I	35	0.16	270	0.15	2.199	0.72	1.612	240	
13	Bromélias	96	0.19	2869	0.21	2.387	0.52	1.383	500	<i>Brasilomma enigmatica</i>
14	Fugitivos	33	0.08	842	0.19	2.001	0.57	1.669	440	
15	Moreiras	75	0.13	3735	0.13	2.573	0.6	1.651	600	Projapygidae; Hypogastruridae
16	Martiniano	18	0.36	96	0.12	2.396	0.83	1.608	50	

Legend: RT = Richness; RS = Relative richness; A = Abundance; D = Dominance; H' = Diversity; J = Equitability; Alt = Altitude; EA = Extension of the caves; T = Troglomorphics species.

ARTIGO 2

A COMUNIDADE DE INVERTEBRADOS EM CAVERNAS TROPICAIS
QUARTZÍTICAS E GRANÍTICAS SEMPRE SE ESTRUTURAM DA
MESMA FORMA?

Artigo redigido conforme as normas da revista científica "*Insect Conservation and Diversity*", ISSN 1752-4598 (versão preliminar).

RESUMO

Estudos referentes à ecologia de comunidades em cavernas brasileiras ainda são incipientes. Além disso, grande parte das informações existentes referem-se preferencialmente às cavidades carbonáticas. O presente estudo avaliou a estrutura das comunidades cavernícolas em uma área com predomínio de rochas siliciclásticas e graníticas. Foram amostradas 51 cavidades no Sul do estado de Minas Gerais (Brasil), avaliando a riqueza, diversidade e equitabilidade das comunidades de invertebrados, além da influência de variáveis físicas das cavernas, como extensão das cavidades e número de entradas. Foram registradas 1,048 espécies, distribuídas em ao menos 153 famílias. A riqueza média encontrada foi de 37,08 (SD 18,66) espécies, a diversidade média 2,29 (SD 0,99) e a equitabilidade média 0,64 (SD 0,28). Foram observadas 11 espécies troglomórficas em 9 cavidades. A riqueza total relacionou-se significativamente com a extensão das cavidades tanto em rochas quartzíticas quanto graníticas, embora tal relação tenha se mostrado diferenciada entre estes dois tipos de litologias. O número de entradas se mostrou relacionado à riqueza de espécies apenas para as cavidades siliciclásticas, e a composição da comunidade foi influenciada pela litologia das cavernas. Assim, destaca-se que para as comunidades cavernícolas, suas estruturações são diferenciadas em relação aos tipos de litologias nos quais as cavidades se encontram. Além disso, os resultados presentes reforçam a necessidade de se considerar características específicas das rochas em estudos biológicos de quaisquer naturezas.

Palavras chave: Caverna; siliciclástica; quartzítica; granítica; conservação; neotrópico; Brasil.

INTRODUÇÃO

No mundo, inúmeras áreas com ocorrência de rochas não carbonáticas são reconhecidas como de grande importância espeleológica e biológica (Wray 1995; Willems et al. 2002; Twidale and Vidal-Romani 2005; Aubrecht et al. 2008; Ferreira et al. 2015; Viera et al. 2016). No Brasil, algumas dessas áreas correspondem a campos ferruginosos em canga na Amazônia (Ferreira et al. 2015) e no sudeste (Souza-Silva et al. 2011a), afloramentos siliciclásticos na região central do estado da Bahia (Auler and Farrant 1996; Willems et al. 2008; Hardt and Pinto 2009) e graníticos também no Sudeste (Auler and Farrant 1996; Willems et al. 2008; Souza-Silva and Ferreira 2015).

No entanto, ressalta-se que para litologias siliciclásticas e granitoides no país, apenas um décimo dentre as mais de 15.000 cavernas registradas no banco de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) (CECAV 2016), encontram-se inserida em tais rochas.

Cavernas siliciclásticas compreendem basicamente quartzitos e arenitos, ambas formadas por pequenos clastos de sílica (Willems et al. 2008). Tais cavernas possuem gênese determinada basicamente por diferenças entre o nível freático local e o nível de base regional, presença de camadas de rocha especialmente favoráveis aos processos de sauling e piping (quartzito fino micáceo) e ciclos sucessivos de estabilidade e soergimento (Corrêa-Neto and Filho 1997). Processos semelhantes já foram relatados para cavernas quartzíticas na Venezuela (Aubrecht et al. 2008; Aubrecht et al. 2012) e na África (Corrêa-Neto and Filho 1997; Gunn 2004).

Já as cavernas associadas a rochas granitoides podem apresentar diferentes configurações, especialmente em função de suas gêneses diferenciadas (Willems et al. 2002; Twidale and Vidal-Romani 2005; Vidal-Romani and Vaqueiro-Rodríguez 2005; Song et al. 2015). Três tipos principais

de cavidades são conhecidos: i) as cavernas de tálus, originadas através da associação de grandes blocos graníticos erodidos formando espaços subterrâneos; ii) os tafonis, que são formados a partir do aprisionamento de gases no interior de rochas ígneas, sendo expostos posteriormente por processos erosivos; e iii) as cavernas de dissolução/erosão, formados a partir de processos químicos e físicos sobre planos de uma rocha matriz (Twidale and Vidal-Romani 2005; Vidal-Romani and Vaqueiro-Rodríguez 2005).

Estudos referentes à fauna cavernícola em áreas não carbonáticas no Brasil ainda se mostram incipientes, excetuando-se aqueles referentes às cavernas inseridas em litologias ferríferas (Ferreira 2005; Souza-Silva et al. 2011a; Iniesta et al. 2012b; Bernardi et al. 2013; Iniesta and Ferreira 2013; Bernardi et al. 2014; Ferreira et al. 2015; Souza Silva et al. 2015). Estudos preliminares têm revelado uma certa semelhança em relação à estruturação de comunidades associadas a cavernas não carbonáticas com as calcárias. Como exemplo, foi evidenciada, para muitas cavernas tropicais, a relação entre as extensões das cavidades com a riqueza de espécies (Souza-Silva et al. 2011b; Souza-Silva and Ferreira 2015). Além disso, a disponibilidade de micro-habitats e recursos orgânicos têm também se mostrado importantes para a composição destas faunas (Ferreira 2004; Souza-Silva et al. 2011a; Simões et al. 2015). No entanto, é importante salientar que para cavernas ferruginosas, as comunidades presentes se estruturam de forma diferenciada em relação àquelas presentes em cavernas de outras litologias no Brasil, sendo a litologia influente tanto na composição quanto nos parâmetros sobre a riqueza de espécies de invertebrados (Souza-Silva et al. 2011a).

Segundo Souza-Silva e colaboradores (2015), o país ainda apresenta diversas áreas com intensos impactos humanos incidindo sobre as comunidades cavernícolas. Dentre estas, destaca-se a porção sul do estado de Minas Gerais, que vem sofrendo, historicamente, efeitos de uma rápida expansão urbana e

agrícola (Stan et al. 2015). Além disso, esta região carece de estudos referentes à fauna cavernícola (Souza-Silva et al. 2011a; Souza-Silva et al. 2011b; Bernardi et al. 2012), destoando significativamente de outras áreas com ocorrência de grandes formações carbonáticas no estado (Pinto-da-rocha 1995; Ferreira et al. 2000; Gomes et al. 2000; Prous et al. 2004; Ferreira et al. 2010; Zampaulo 2010; Souza-Silva et al. 2011a; Iniesta et al. 2012a; Simões et al. 2012; Souza-Silva et al. 2012; Simões et al. 2014; Simões et al. 2015; Souza-Silva et al. 2015).

Neste cenário, o presente estudo teve o objetivo de avaliar as comunidades cavernícolas ao sul de Minas Gerais, a fim de incrementar o conhecimento biológico das cavernas da região e subsidiar futuros estudos visando a conservação destes sistemas. Nesta perspectiva, o presente estudo objetivou avaliar: *i*) como a riqueza de invertebrados se relaciona ao desenvolvimento linear das cavernas, bem como ao tamanho e número de entradas; *ii*) se há diferença na composição da comunidade cavernícola em função das litologias amostradas; e *iii*) quais são os efeitos da altitude, desenvolvimento linear, número de entradas e extensão das entradas na composição da fauna cavernícola.

MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi feito em 50 cavernas no domínio da Mata Atlântica (Metzger 2009), distribuídos em 12 municípios ao sul do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1, Tabela 1). De acordo com Machado & Ferreira (2005), a área é considerada como de importância biológica potencial, devido à falta de informações bioespeleológicas, especialmente considerando o número de cavernas existentes na área.. As cavernas estudadas compreendem a dois

principais grupos litológicos: i) Siliciclástico, compreendendo 36 cavernas (72%); e ii) Granitóides, com 14 cavernas (28%). Vinte cavernas estudadas estão localizadas em uma unidade de conservação (U. C.), o Parque Estadual do Ibitipoca.

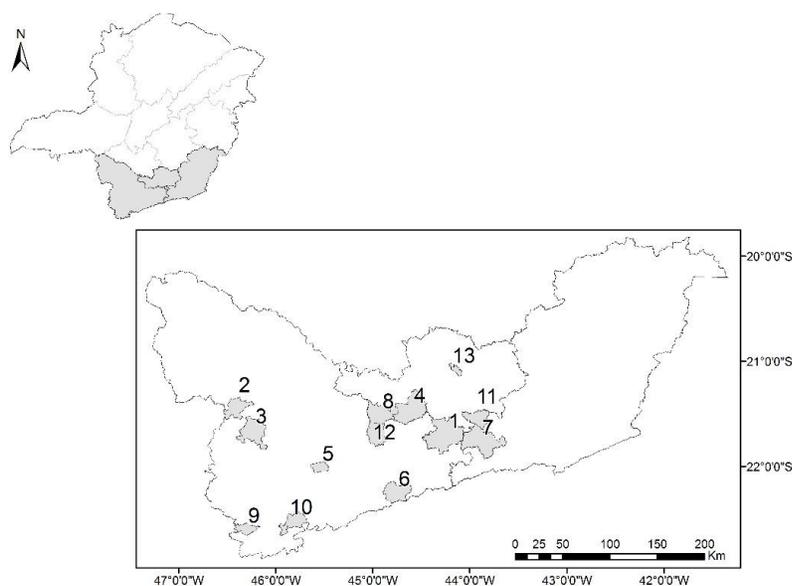


Figura 1: Distribuição das 51 cavernas amostradas ao sul de Minas Gerais. Os números se referem aos municípios: 1 (Andrelândia); 2 (Cabo Verde); 3 (Campestre); 4 (Carrancas); 5 (Heliódora); 6 (Itamonte); 7 (Lima Duarte); 8 (Luminárias); 9 (Munhoz); 10 (Paraisópolis); 11 (Santa Rita do Ibitipoca); 12 (São Tomé das Letras); 13 (Tiradentes).

Amostragem de invertebrados e análise de dados

As amostragens foram feitas entre os anos de 2013 e 2014. As coletas de invertebrados foram realizadas através de uma busca ativa durante toda caverna, com auxílio de pinças, pincéis e redes de mão. Durante as coletas, os depósitos orgânicos (detritos vegetais, carcaças, guano, etc.) e microhabitats (pedras, solo úmido, espeleotemas, etc.) foram minuciosamente vistoriados em busca de

espécimes. Todos os espécimes coletados foram acondicionados em frascos com álcool 70%. Os espécimes foram registrados em um livro de campo, sendo os indivíduos testemunhas coletados. No laboratório, os indivíduos foram classificados em tipos morfológicos e identificados até o menor nível taxonômico possível. A equipe de coleta foi composta sempre pelos mesmos pesquisadores, tal como recomendado pelo Weinstein & Slaney (1995). Todas os espécimes coletados se encontram depositadas na coleção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras (ISLA), na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A determinação das espécies potencialmente troglóbias foi realizada por meio da identificação de traços troglomórficos. Tais características, como despigmentação, anoftalmia, alongamento de apêndices sensoriais e/ou locomotores, são normalmente utilizados para indicar a restrição ao ambiente subterrâneo (White & Culver, 2012). Por fim, todas as espécies troglomórficas foram enviados para especialistas a fim de confirmar o seu "status".

A estabilidade ambiental de cada caverna foi determinada a partir do “Índice de Estabilidade Ambiental” (IES) (Ferreira 2004). Para cavernas com apenas uma entrada foi feita a razão entre a extensão da caverna (EA) e a extensão da entrada (EE). $IES = \ln (EA/EE)$. Para caverna com mais de uma entrada, o índice foi feito a partir da razão entre a extensão da caverna (EA) e a soma da extensão das entrada (EE); sendo o número de entradas (NE) multiplicado pela média da distância das entradas (utilizando uma das entradas como referência) (DEE); $IES = \ln [(EA/ EE)/(NE) (DEE)/ EA]$ (Ferreira 2004). A análise de diversidade (H') e equitabilidade (J) foram feitas através do índice de Shannon (Magurran 1988). Para a avaliação da relação entre a riqueza total de invertebrados com a extensão das cavernas, o número de entradas e a extensão das entradas e a estabilidade ambiental foi feita uma correlação de Spearman (r_s). As variáveis extensão das cavernas (Shapiro Wilk test = 0.62523; $p = 0,00000$) e número de entradas (Shapiro Wilk test = 0.83908; $p = 0,0001$)

foram normalizadas por logaritimização. Para a verificação da influência das variáveis abióticas das cavernas (altitude, extensão das cavernas, número e extensão das entradas) sobre a composição da comunidade, usou-se um DistLM (*Distance based linear models analysis*). A seleção e o critério usados na análise foram o *Best* e o R^2 *ajustado*

A similaridade das cavernas foi feita através do índice de Jaccard, sendo este baseado apenas na relação de presença e ausência das espécies. A diversidade Beta (β ou turnover) foi calculada através do índice de Harrison para todas as litologias em conjunto e separadamente. O índice foi baseado na equação: $\beta_{\text{Harrison}} = \{[(S / \alpha) - 1] / (N - 1)\} * 100$. No qual correspondem a: S = riqueza total de espécies, α = média de riqueza e N = número de amostradas. A medida de turnover varia de 0 (sem turnover) até 100 (cada amostra tem uma configuração diferente de espécies). Para a verificar a dissimilaridade da composição das espécies por grupos de litologias, um nMDS (non-metric multidimensional scaling) foi utilizado através do índice de Jaccard. Para verificar a diferença estatística entre os grupos foi feito um ANOSIM. As curvas de rarefação de espécies foram feitas para avaliar a efetividade da amostragem na área (Gotelli and Colwell 2001) de acordo com (Colwell et al. 2012). Os softwares PAST[®] (2.17c) e Primer 6 & Permanova[®] foram usados para as análises estatísticas.

RESULTADOS

Aspectos biológicos

Ao todo foram registradas 1.048 espécies nas cavernas amostradas, distribuídas em 9 taxa e ao menos 153 famílias (Tabela 2). A ordem que

apresentou a maior riqueza foi Araneae (225 spp.), sendo Theridiidae a mais representativa (19, 55%). As ordens mais ricas restantes foram Diptera (160 spp.) e Coleoptera (137 spp.). Para essas, Phoridae (11, 88%) Staphylinidae (27%) foram as mais representativas, respectivamente. A riqueza de invertebrados variou entre 12 à 96 espécies, e a média da riqueza por caverna foi de 37, 08 (dp 18, 66 spp.). O valor de diversidade variou de 0.44 a 3.81, e a média foi $H' = 2, 29$ (dp 0, 99). O valor de equitabilidade variou entre 0, 14 a 0, 94, e a média foi de 0, 64 (dp 0, 28) (Tabela 1).

Onze espécies com características troglomórficas foram observadas na região (Fig. 2), sendo oito espécies consideradas endêmicas (em apenas uma caverna). As riquezas mais altas de troglóbios foram observadas na gruta Casas, com quatro espécies diferentes Labirinto com três espécies. Para a gruta Bromélias foram observadas duas espécies e para seis cavernas uma única espécie foi registrada. Para 41 cavernas nenhuma espécie troglomórfica foi observada. As espécies foram Prodidomidae (2 espécies), Blattodea, Projapygidae, Escadabiidae, Hypogastruridae, Pselaphinae, *Eukoennia* sp. (Palpigradi), *Pseudonannolene* sp. (Diplopoda), *Troglobius* sp. (Collembola) e *Brasilomma enigmatica* Brescovit, Ferreira & Rheims, 2012 (Prodidomidae).

A diversidade beta (turnover) obtida para a região foi 55, 63%. Para as cavernas quartzíticas o valor foi de 58, 17% e para as graníticas 67, 01%. Uma relação significativa positiva foi observada entre a riqueza total e a extensão das cavernas para todas as litologias ($r_s = 0, 4371$; $p < 0, 05$) e para cada uma separadamente (quartzíticas: $r_s = 0, 458$; $p < 0, 05$ e graníticas $r_s = 0, 6836$; $p < 0, 05$). O número de entradas foi significativo em relação a riqueza total de espécies apenas para as cavernas de litologia quartzíticas ($r_s = 0, 4217$; $p < 0, 05$) (Fig. 3). De acordo com a análise de DistLM, a extensão das cavernas, número de entradas e altitude foram as variáveis mais determinantes na composição da comunidade ($p < 0.01$). Uma diferença significativa foi observada em relação a

diferença na composição das comunidades sobre as litologias ($p = 0.0031$) (Fig. 4). As curvas de rarefação de espécies não atingiram a assíntota (Fig. 5).

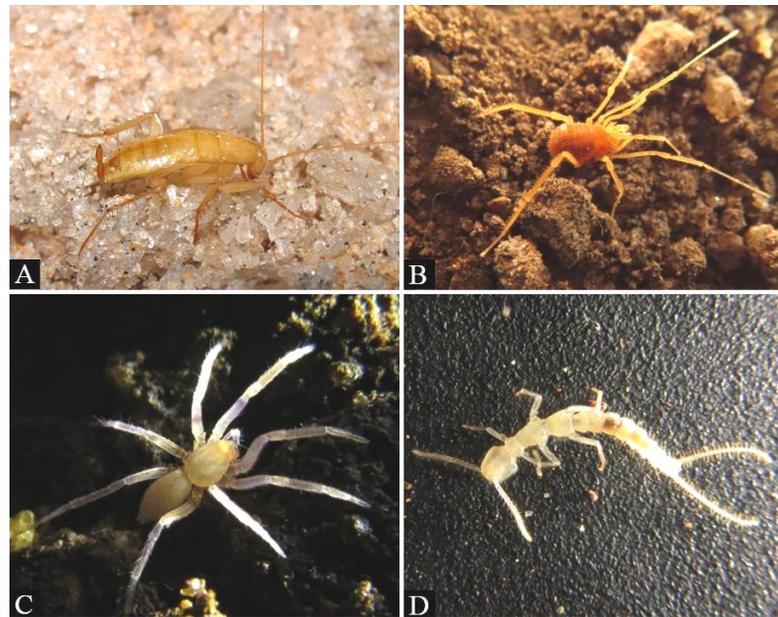


Figura 2: Algumas espécies troglomórficas registradas. A) Blattodea; B) Escadabiidae; C) Prodidomidae; D) Projapygidae.

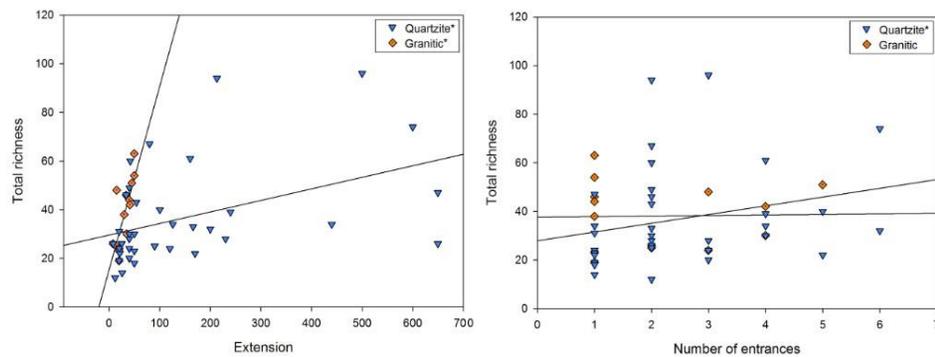


Figura 3: Relação significativa (*) e não significativa entre a riqueza total de espécies e a extensão das cavernas e o número de entradas.

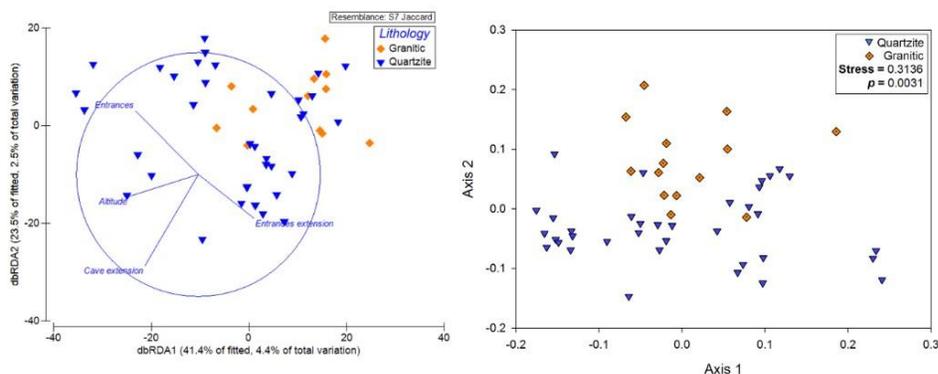


Figura 4: O dbRDA mostrando as relações entre as variáveis segundo a análise DistLM e o n-MDS representando a similaridade entre os grupos de litologias. O box no n-MDS se refere aos valores do ANOSIM.

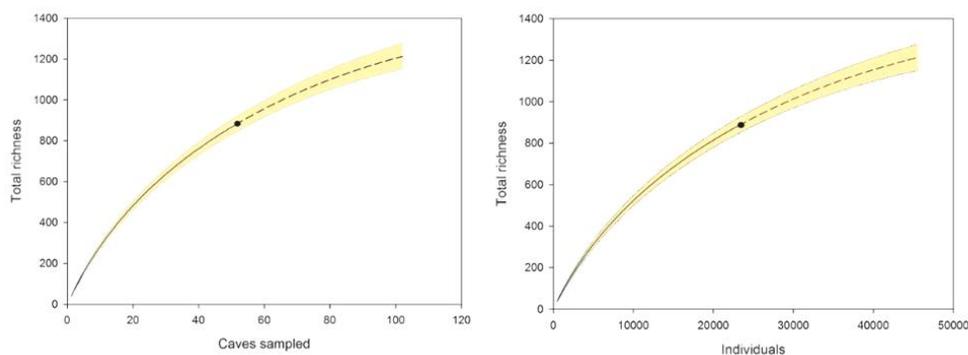


Figura 5: A relação entre a riqueza total com o número de cavernas a abundância das espécies. O ponto central se refere aos valores obtidos em campo a partir do número de cavernas e abundância de indivíduos e a linha tracejada os valores estimados. Os limites do nível de confiança (95%) são representados em laranja.

DISCUSSÃO

Para a região amostrada no presente estudo, as cavidades de maiores extensões também apresentaram as maiores riquezas. No entanto, para as cavidades graníticas, essa relação se assemelhou muito ao observado para cavernas ferruginosas da Mata Atlântica, isto é, pequenos incrementos de

tamanho representaram um considerável incremento de espécies (Souza- Silva et al. 2011a; Ferreira et al. 2015). Uma vez que boa parte das cavernas granitóides inventariadas neste estudo compreendiam cavernas de tálus, os espaços entre os diversos fragmentos da rocha matriz configuravam uma extensa rede de interstícios, de forma semelhante ao típico MSS (meio subterrâneo superficial) ou mesmo aos canalículos presentes nas rochas ferruginosas. Tal fato certamente contribuiu para a relação apresentada. De forma semelhante ao observado para cavernas ferruginosas, pequenos aumentos de tamanho representaram um considerável aumento da riqueza destas cavernas, em função das inúmeras conexões com estes micro-habitats intersticiais existentes, que configuram uma extensa matriz subterrânea habitada por diversos invertebrados. A importância desses espaços subsuperficiais contribuindo para o aumento da riqueza de espécies em cavidades graníticas já havia sido relatado por Souza-Silva e colaboradores (2011) para a região da Mata Atlântica. Tais autores constataram que a baixa riqueza de invertebrados nas cavernas graníticas por eles inventariadas era, provavelmente, resultado da redução desses espaços nas adjacências das cavidades, que eram predominantemente cavernas de dissolução/erosão, nas quais a rocha matriz se apresentava compacta e sem fissuras.

De fato, estudos referentes à relação entre a área com a riqueza de espécies é um dos conceitos mais fundamentais para a ecologia e conservação (Franzén et al. 2011; Pan 2013). No mundo, diferentes abordagens já comprovaram a relação para espécies marinhas (Haedrich 1985), dulcícolas (Eadie et al. 1986), florestais (Condit et al. 1996) e até mesmo cavernícolas (Peck 1999; Brunet and Medellín 2001; Christman and Culver 2001). Contudo, para estudos em ambientes cavernícolas, destaca-se que nenhum destes tenham enfoque no que concerne a influência das litologias sobre as comunidades de invertebrados. No Brasil, embora os levantamentos sistemáticos da fauna

cavernícola tenham se iniciados em meados da década de 1980 (Dessen et al. 1980; Chaimowiczi 1984) e focados apenas em cavernas carbonáticas (Pinto-da-rocha 1995; Souza-Silva et al. 2011a), poucos estudos ecológicos foram feitos (Ferreira et al. 2000; Souza-Silva et al. 2011a; Prous et al. 2015; Simões et al. 2015).

Segundo Souza-Silva et al. (2011a), a fauna cavernícola associada a diferentes litologias pode apresentar uma composição similar, porém com alterações significativas na riqueza entre as cavidades. Além disso, o número de espécies tende a ser maior com o aumento da disponibilidade de habitats, corroborando com o conceito da relação espécie- área (Peck 1999; Christman and Culver 2001; Culver et al. 2006; Souza-Silva et al. 2011a). Como exemplo disso, em cavernas ferruginosas, pequenos acréscimos no tamanho das cavidades tendem a aumentar exponencialmente o número de espécies (Ferreira 2005; Souza-Silva et al. 2011a; Ferreira et al. 2015; Simões et al. 2015), situação semelhante ao observado para as graníticas no presente estudo. Segundo os autores, o principal motivo para essa tendência é a presença de pequenos espaços (canalículos) que funcionam como micro-cavernas, atuando tanto como fonte de espécies para as macrocavernas e uma interconexão entre as comunidades de diferentes sistemas, aumentando significativamente a disponibilidade de habitats (Ferreira 2005; Souza-Silva et al. 2011a; Ferreira et al. 2015).

De acordo com Schneider and Culver (2004), a heterogeneidade do ambiente cavernícola impede a amostragem de toda fauna presente. Para o Brasil, todos os levantamentos faunísticos que apresentam dados referentes às curvas de acumulação de espécies não alcançaram a assíntota (Zampaulo 2010; Souza-Silva et al. 2011b; Iniesta et

al. 2012a; Simões et al. 2012). Neste estudos, o que aparentemente contribuiu para esta situação foi o incremento contínuo de espécies para-epígeas

(típicas de regiões de entradas) nas cavidades (Ferreira 2004; Prous et al. 2015). Quanto maior o número de entradas de uma dada caverna, maior será a quantidade de invertebrados passíveis de acessar o meio hipógeo, ou pelo menos de se estabelecer nas zonas ecotonais (Prous et al. 2015). No entanto, para as cavidades ao sul de Minas Gerais, o número de entradas não se mostrou relacionado à riqueza de espécies. Entretanto, quando separadas as cavernas por litologias, as siliciclásticas apresentaram um valor significativo, enquanto as graníticas não. Possivelmente, a não relação das cavidades graníticas com a quantidade de entradas (explicada em função do acréscimo de espécies por meio dos micro-espacos das rochas) pode ter ocultado essa influência para as siliciclásticas. Por isso, é de extrema importância o cuidado no tratamento dos fatores ecológicos sobre fauna em relação a uma dada litologia, uma vez que interpretações errôneas de tendências podem ser consideradas na estruturação da comunidade.

No Brasil, poucos são os estudos referentes a ecologia de comunidades cavernícolas. Além disso, ainda mais escassos são as informações sobre a biologia de cavernas siliciclásticas e graníticas, historicamente negligenciadas em detrimento das carbonáticas (Pinto-da-rocha 1995; Zeppelini Filho et al. 2003; Souza-Silva et al. 2011a).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo diferentes estudos no país, a estruturação da fauna em cavernas independe da litologia que estão inseridas (Dessen et al. 1980; Trajano 2000). Entretanto, essa tendência de comunidades similares pode ser fruto de um equívoco ao analisar cavidades de diferentes grupos como um conjunto homogêneo, desconsiderando assim, peculiaridades intrínsecas a morfologia e a geologia de cada rocha (Souza-Silva et al. 2011a; Souza-Silva et al. 2011b;

Bernardi et al. 2012; Ferreira et al. 2015). No presente estudo, o tamanho das cavidades em litologias siliciclásticas e graníticas se mostrou como um importante parâmetro na riqueza de espécies. No entanto, para as cavernas graníticas, essa relação se revelou semelhante observada em cavernas ferruginosas. Possivelmente, os micros-espacos entre os fragmentos da rocha matriz pode atuar no aumento da quantidade de micro-habitats, influenciando diretamente no número de espécies. Além disso, o número de entradas foi significativo apenas para a riqueza de espécies em litologia siliciclástica. Para essas, a quantidade de conexões ao ambiente externo pode estar relacionada ao fluxo de espécies do meio epígeo para o hipógeo, enquanto para as graníticas não.

No Brasil, a partir do decreto lei nº 6.640/08, às cavernas podem ser alvos de impactos irreversíveis mediante a classificações biológicas e geológicas, mesmo sem considerar as diferenças das rochas para com o sistema. Assim, estudos que possibilitem novos entendimentos sobre as comunidades cavernícolas, principalmente na busca das respostas dessas sobre diferentes variáveis de cada litologia, são extremamente necessários, não apenas para incrementar no conhecimento bioespeleológico, mas também na conservação das cavernas no país.

AGRADECIMENTOS

O estudo recebeu suporte de financiamento pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão de Minas Gerais (FAPEMIG), APQ 01046-12. Os autores agradecem a todos do Centro de Estudos de Biologia Subterrânea (CEBS/UFLA) pela ajuda em campo e na identificação de espécies, à Leda Zogbi pelo envio dos mapas das cavernas e ao Parque Estadual de Ibitipoca e seus empregados por toda atenção no período de coleta. Agradecimentos também a companhia

Vale por todo suporte dado ao CEBS/UFLA. RLF é grato ao CNPq pelo suporte de pesquisa n°. 304682/2014-4.

REFERÊNCIAS

- Aubrecht R, Barrio-Amorós CL, Breure A, et al (2012) Venezuelan tepuis: their caves and biota. Comenius University in Bratislava, Bratislava
- Aubrecht R, Lánčzos T, Šmída B, et al (2008) Venezuelan sandstone caves: a new view on their genesis, hydrogeology and speleothems. *Geol Croat* 61:345–362.
- Auler AS, Farrant AR (1996) An brief introduction to karst and caves in Brazil. *Proc. te Univ. Bristol Spalaeological Soc.* 20:187–200.
- Bernardi LF de O, Klompen H, Ferreira RL (2014) *Neocarus caipora*, a new species (Parasitiformes: Opilioacarida: Opilioacaridae) from brazilian Amazon caves. *Acarologia* 54:47–56. doi: 10.1051/acarologia/20142113
- Bernardi LF de O, Pellegrini TG, Taylor ELS, Ferreira RL (2012) Aspectos ecológicos de uma caverna granítica no sul de Minas Gerais. *Espeleotema* 23:5–11.
- Bernardi LF de O, Silva FAB, Zacarias MS, et al (2013) Phylogenetic and biogeographic analysis of the genus *Caribeacarus* (Acari: Opilioacarida), with description of a new South American species. *Invertebr Syst* 27:294–306. doi: 10.1071/IS12041
- Brunet AK, Medellín R a. (2001) the Species–Area Relationship in Bat Assemblages of Tropical Caves. *J Mammal* 82:1114–1122. doi: 10.1644/1545-1542(2001)082<1114:TSARIB>2.0.CO;2

- Chaimowicz F (1984) Levantamento bioespeleológico em algumas grutas de Minas Gerais.pdf. Espeleo-tema 14:97–107.
- Christman MC, Culver DC (2001) The relationship between cave biodiversity and available habitat. *J Biogeogr* 28:367–380. doi: 10.1046/j.1365-2699.2001.00549.x
- Colwell RK, Chao A, Gotelli NJ, et al (2012) Models and estimators linking individual- based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *J Plant Ecol* 5:3–21. doi: 10.1093/jpe/rtr044
- Condit R, Hubbell SP, Lafrankie J V, et al (1996) Species-area and species-individual relationships for tropical trees: a comparison of three 50-ha plots. *J Ecol* 84:549– 562.
- Corrêa-Neto A V., Filho JB (1997) Espeleogênese em quartizito da Serra de Ibitipoca, Sudeste de Minas Gerais. *Anuário do Inst Geociências* 20:75–87.
- Culver DC, Deharveng L, Bedos A, et al (2006) The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. *Ecography (Cop)* 29:120–128. doi: 10.1111/j.2005.0906- 7590.04435.x
- Dessen EMB, Eston VR, Silva MS, et al (1980) Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Cienc Cult* 32:714–725.
- Eadie JM, Hurly TA, Montgomerie RD, Teather KL (1986) Lakes and rivers as islands: species-area relationships in the fish faunas of Ontario. *Environ Biol Fishes* 15:81– 89. doi: 10.1007/BF00005423
- Ferreira RL (2005) A vida subterrânea em campos ferruginosos. *O Carste* 3:106–115. Ferreira RL (2004) A medida da Complexidade Ecológica. Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, MG.

- Ferreira RL, Martins RP, Yanega D (2000) Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. *Ecotropica* 6:105–116.
- Ferreira RL, Oliveira MPA, Souza-Silva M (2015) Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: Carmo FF, Kamino LHY (eds) *Geossistemas Ferruginosos do Brasil*. 3i, Belo Horizonte, pp 195–231
- Ferreira RL, Prous X, Bernardi LFO, Souza-Silva M (2010) Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte : Caracterização e Impactos. *Rev Bras Espeleol* 1:25–51.
- Franzén M, Schweiger O, Betzholtz PE (2011) Species-Area Relationships Are Controlled by Species Traits. *Curr Sci* 101:1435–1439. doi: 10.1371/Citation
- Gomes FT de MC, Ferreira RL, Jacobi CM (2000) Comunidade de artrópodes de uma caverna calcária em área de mineração :composição e estrutura. *Rev Bras Zool* 2:77– 96.
- Gotelli NJ, Colwell RK (2001) Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol Lett* 4:379–391. doi: 10.1046/j.1461-0248.2001.00230.
- Gunn J (2004) *Encyclopedia of Caves and Karst science*. Taylor & Francis group, New York.
- Haedrich RL (1985) Species number-area relationship in the deep sea. *Mar Ecol Prog Ser* 24:303–306. doi: 10.3354/meps024303
- Hardt R, Pinto S dos AF (2009) Carste em litologias não carbonáticas. *Rev Bras Geomorfol* 10:99–105.

- Iniesta LFM, Ázara LN, Souza-Silva M, Ferreira RL (2012a) Biodiversidade em seis cavernas no Parque Estadual do Sumidouro (Lagoa Santa, MG). *Rev Bras Espeleol* 2:18–37.
- Iniesta LFM, Ferreira RL (2013) Two new species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa* 3716:75–80. doi: 10.11646/zootaxa.3669.1.9
- Iniesta LFM, Ferreira RL, Wesener T (2012b) The first troglobitic *Glomeridesmus* from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of *Glomeridesmida* (Diplopoda). *Zootaxa* 3550:26–42.
- Machado EO, Ferreira RL (2005) *In: Invertebrados. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a sua conservação*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 94 pp.
- Magurran A. E (1988) Diversity Indices and Species Abundance Models. *Ecol Divers its Meas* 7–32.
- Pan X (2013) Fundamental equations for species-area theory. *Sci Rep* 3:1334. doi: 10.1038/srep01334
- Peck SB (1999) Historical biogeography of Jamaica: Evidence from cave invertebrates. *Can J Zool* 77:368–380. doi: 10.1139/z98-220
- Pinto-da-rocha R (1995) Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos Zool (São Paulo)* 39:61–173.
- Prous X, Ferreira RL, Jacobi CM (2015) The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *Int J Speleol* 44:177–189.
- Prous X, Ferreira RL, Martins RP (2004) Ecotone delimitation: Epigeal-hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecol* 29:374–382. doi:

10.1111/j.1442-9993.2004.01373.x

Schneider K, Culver DC (2004) Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in West Virginia. *J Cave Karst Stud* 66:39–45.

Simões MH, Souza-Silva M, Ferreira RL (2015) Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterr Biol* 121:103–121. doi: 10.3897/subtbiol.16.5470

Simões MH, Souza-Silva M, Ferreira RL (2012) Species richness and conservation of caves in the Urucuia river sub-basin, a tributary of the San Francisco river: a case study in caves of Arino, Minas Gerais, Brazil. *Rev Bras Espeleol* 2:1–17.

Simões MH, Souza-silva M, Ferreira RL (2014) Cave invertebrates in Northwestern Minas Gerais state, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. *Acta Carsologica* 43:159–174.

Song Z, Tang W, Liu X, et al (2015) Genesis and Geological Significance of Granite Caves in Laoshan of China. *Chem Eng Trans* 46:763–768. doi: 10.3303/CET1546128

Souza Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2015) Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. *Environ Manage* 55:279–295. doi: 10.1007/s00267-014-0414-8

Souza-Silva M, Carvalho C, Liria S, et al (2012) Transitory Aquatic Taxocenosis in Two Neotropical Limestone Caves. *Rev Bras Espeleol* 2:29–41.

Souza-Silva M, Ferreira RL (2015) Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. *Subterr Biol* 16:79–102. doi: 10.3897/subtbiol.16.5227

- Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2011a) Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodivers Conserv* 20:1713–1729. doi: 10.1007/s10531-011-0057-5
- Souza-Silva M, Nicolau JC, Ferreira RL (2011b) Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do Mandembe, Luminárias, MG. *Espeleo-tema* 22:155–167.
- Stan K, Sanchez-Azofeifa A, Espírito-Santo M, Portillo-Quintero C (2015) Simulating Deforestation in Minas Gerais, Brazil, under Changing Government Policies and Socioeconomic Conditions. *PLoS One* 10:e0137911. doi: 10.1371/journal.pone.0137911
- Trajano E (2000) Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. *Biotropica* 32:882–893.
- Twidale CR, Vidal-Romani JR (2005) *Landforms and Geology of Granite Terrains*, Balkema. The Netherlands, Amsterdam
- Vidal-Romani JR, Vaqueiro-Rodríguez M (2005) Types of granite cavities and associated speleothems : genesis and evolution. *Nat Conserv* 63:41–46.
- Viera BC, Salgado AAR, Santos LJC (2016) Landscapes and Landforms of Brazil. Willems L, Compère P, Hatert F, et al (2002) Karst in granitic rocks, South Cameroon: Cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nov* 14:355–362. doi: 10.1046/j.1365-3121.2002.00429.x
- Willems L, Rodet J, Pouclet A, et al (2008) Karsts in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil. *Cad do Lab Xeol Laxe* 33:127–138.

Wray RA (1995) Solutional landforms in quartz sandstones of the Sydney Basin.

Zampaulo RDEA (2010) Cavernícolas na província espeleológica de Arcos , Pains e Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. Universidade Federal de Lavras

Zeppelini Filho D, Ribeiro AC, Ribeiro GC, et al (2003) Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo state, Brazil. *Papéis Avulsos Zool (São Paulo)* 43:93–99. doi: 10.1590/S0031-10492003000500001

TABELAS

Tabela 1: Cavernas estudadas ao sul de Minas Gerais. Abreviações= Lit (litologia), Q (quartzito), G (granito); S (riqueza); H' (diversidade); E (equitabilidade); ES (extensão amostrada das cavernas); N (número de entradas); St (riqueza de espécies troglomórficas). Para as grutas Morcego I e II não foram calculadas a diversidade e equitabilidade em função da ausência de dados de abundância das espécies.

Municipality	Cave	L	S	H'	E	ES	N	St	Se
Andrelândia	Passagem	Q	12	1.64	0.66	12	2	12	
	João Japonês I	Q	46	2.88	0.75	40	2	40	
	João Japonês II	Q	30	3.20	0.94	40	3	40	
	João Japonês IV	Q	28	1.47	0.44	40	2	40	
	Cachorros	Q	24	2.82	0.89	20	3	20	
	Novatos	G	25	2.93	0.91	15	2	15	
Cabo Verde	Bugre	G	26	1.20	0.37	8	2	8	
Campestre	Morcego I	G	19	-	-	20	1	20	
	Morcego II	G	23	-	-	20	1	20	
Carrancas	Cortinas I	Q	32	2.66	0.77	200	6	200	
	Cortinas II	Q	20	1.76	0.59	40	3	40	

	Toca	Q	26	2.16	0.66	250	3	250	
	Céu	Q	26	1.81	0.56	25	2	25	
	Ponte de Pedra	Q	43	1.63	0.43	100	3	100	
Heliodora	Gameleira	G	24	2.45	0.8	20	3	20	
	Cucuruto	G	51	3.13	0.79	45	5	45	
	Lado do Pedrão	G	30	2.61	0.77	35	4	35	
	Pedrão	G	44	3.28	0.87	40	1	40	
Itamonte	Pinhão Assado	G	48	1.61	0.42	15	3	15	
Lima Duarte	Bichana II	Q	19	2.97	0.86	30	1	30	
	Bichana I	Q	31	0.71	0.24	20	1	20	
	Catedral I	Q	14	1.68	0.64	26	1	26	
	Catedral III	Q	22	2.58	0.83	170	5	170	
	Coelhos	Q	67	3.26	0.77	80	2	80	
	Cruz	Q	60	2.62	0.66	42	2	42	
	Bromélias	Q	96	2.39	0.52	500	3	500	
	Casas	Q	47	2.58	0.67	650	1	4	650
	Dobras	Q	26	3.81	0.73	138	2	1	138
	Lagarto Teiú	Q	40	2.74	0.74	100	5	100	
	Martiniano	Q	39	2.73	0.74	240	1	240	
	Martiniano II	Q	18	2.40	0.83	50	1	50	
	Monjolinhos	Q	22	2.81	0.91	21	1	21	
	Pião	Q	34	2.56	0.73	126	1	1	126
	Gnomos	Q	24	2.00	0.63	32	2	32	
	Moreiras	Q	74	2.57	0.6	600	6	2	600
	Manequinho	Q	61	2.23	0.54	160	4	160	
	Ponte de Pedra	Q	30	2.45	0.72	54	2	54	
Luminárias	Campo I	Q	23	0.44	0.14	60	1	1	60
	Lobo	Q	49	2.60	0.67	122	2	122	
	Mandembe	Q	28	1.81	0.55	230	2	230	
	Serra Grande	Q	94	3.58	0.79	213	2	213	
Munhoz	Jaime	G	38	2.71	0.75	30	1	1	30
	Labirinto	G	63	2.85	0.69	50	1	3	30
Paraisópolis	Diabo	M	42	2.15	0.57	41	4	41	
	Goulart	M	46	2.63	0.69	34	1	34	

	Machadão	M	54	3.16	0.79	50	1	45
São Thomé das Letras	Carimbado	Q	24	2.16	0.68	120	1	120
	Sobradinho	Q	25	1.72	0.53	90	2	90
Sta. Rita do Ibitipoca	Fugitivos	Q	34	2.00	0.57	440	4	440
	Viajantes	Q	33	2.50	0.72	166	2	166

Tabela 2: Lista de taxa e famílias amostradas nas cavernas ao sul de Minas Gerais. NI: não identificado.

Taxa		
Nematomorfa	NI	NI
Platyhelminthes	Continenticola	DugesIIDae
Annelida	Clitellata	Arhynchobdellida, Haplotaxida
Mollusca	Gastropoda	Megaspiridae, Verinocellidae
Arachnida	Acari	Anoetidae, Anystidae, Ascidae, Areynetidae, Calyptostomatidae, Ixodidae, Ixodorhynchidae, Laelapidae, Macrochelidae, Macronyssidae, Oribatida, Rhagidiidae, Trombidiforme, Uropodina, Veigaiidae, Sarcoptiforme
	Araneae	Araneidae, Barychaelidae, Clubionidae, Corinnidae, Ctenidae, Deinopidae, Dipluridae, Gnaphosidae, Hahnidae, Lycosidae, Mimetidae, Nemesiidae, Nephilidae, Ochyroceratidae, Oonpidae, Pholcidae, Pisauridae, Prodidomidae, Salticidae, Scytodidae, Segestridae, Sparassidae, Symphytognatidae, Tetrablemmidae, Theraphosidae, Theridiidae, Theridiosomatidae, Trechaleidae, Uloboridae
	Opiliones	Gonyleptidae, Cryptogeobiidae,

		Escadabiidae
	Palpigradi	Eukoenediidae
	Pseudoescorpionida	Chernetidae, Cheiridiidae
	Scorpiones	Buthidae, Bothriuridae
Myriapoda	Diplopoda	ae, Cryptodesmidae, Cyrtodesmidae, Pseudonannolenidae, Polyxenidae, Pyrgodesmidae, Siphonophoridae
	Chilopoda	Cryptopidae, Geophilidae, Lithobiidae
	Symphyla	Scolopendrellidae
Crustacea	Malacostraca	Penaeoidea, Platyarthridae
Entognatha	Collembola	Arrhopalitidae, Entomobryiidae, Hipogastruridae, Sminthuridae
	Diplura	Campodeidae, Projapygidae
Insecta	Coleoptera	Carabidae, Cholevidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Dermestidae, Dytiscidae, Elmidae, Eucnemidae, Gyrinidae, Histeridae, Lampyridae, Leiodidae, Lycidae, Lymexilidae, Nitidulidae, Noteridae, Ptilodactylidae, Scydmaenidae, Staphylinidae, Tenebrionidae
	Dermaptera	Diplatyidae, Forficulidae
	Blattodea	Blattidae
	Diptera	Agromyzidae, Bibionidae, Calliphoridae, Cecidomyiidae, Ceratopogonidae, Chaoboridae, Chironomiidae, Culicidae, Dixidae, Dolichopodidae, Drosophilidae, Empididae, Lonchaeidae, Muscidae, Mycetophilidae, Phoridae, Psychodidae, Sarcophagidae, Sciaridae, Simuliidae, Stratiomidae, Tabanidae, Tipulidae
	Ensifera	Gryllidae, Phalangopsidae
	Ephemeroptera	Leptohiphidae
	Hemiptera	Belostomatidae, Cicadellidae, Cixidae, Cydnidae,

	Enicocephalidae, Gymnocerata, Hebridae, Hidrometidae, Notonectidae, Orthezidae, Ploiariidae, Psyllidae, Reduviidae, Veliidae
Hymenoptera	Apidae, Brachonidae, Evaniidae, Formicidae, Ichneumonidae, Pompilidae
Isoptera	Termitidae
Lepidoptera	Hesperiidae, Noctuidae, Pyralidae, Tineidae
Megaloptera	Corydalidae
Neuroptera	Mantispidae, Myrmeleontidae
Plecoptera	Perlidae
Psocoptera	Lepidopsocidae, Psyllipsocidae, Pseudocaeciliidae, Ptiloneuridae, Lepidopsocidae
Trichoptera	Hydropsychidae, Leptoceridae
Zygentoma	Nicoletiidae

ARTIGO 3

CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS EM UMA ÁREA NÃO CARBONÁTICA
NO SUDESTE DO BRASIL: UM ECOSISTEMA SUBTERRÂNEO
AMEAÇADO E NEGLIGENCIADO

Artigo redigido conforme as normas da revista científica “*Revista Brasileira de Espeleologia*”, ISSN 2179-4952 (versão preliminar).

RESUMO

Atualmente, diversos estudos no mundo têm focado na avaliação da diversidade cavernícola e conservação da fauna cavernícola. Entretanto, poucos dos estudos apresentam informações para áreas não carbonáticas. Deste modo, o presente estudo objetiva uma listagem da biodiversidade de invertebrados cavernícolas ao sul de Minas Gerais, uma região de predomínio de rochas siliciclásticas e graníticas, a fim de determinar a vulnerabilidade das cavernas e indicações para ações de conservação. As avaliações das cavernas foram feitas a partir do Índice de Prioridade de Conservação de Cavernas (CCPi), de forma a considerar a relevância biológica e o grau de impacto de cada cavidade. Um total de 1.114 espécies foram observadas para a região e a riqueza média por caverna foi de 38, 67 espécies (± 21 , 67). Oito cavernas apresentaram alta relevância biológica, sendo a riqueza de espécies troglomórficas restritas para apenas 10 cavidades. Os impactos mais recorrentes observados foram o pisoteamento do solo e o desmatamento das florestas de entorno, sendo uma cavidade classificada como de grau extremo de impactos e uma como alto grau de impactos. De acordo com os resultados, duas cavernas foram classificadas como de vulnerabilidade extremamente alta e oito como de alta vulnerabilidade, de forma que essas necessitam de ações emergências para serem conservadas.

Palavras chave: Caverna; quartzito; granito; conservação; neotrópico; invertebrados; Brasil.

INTRODUÇÃO

Grande parte das informações acerca da biodiversidade subterrânea restringe-se às rochas carbonáticas (Culver & Pipan 2009, Romero 2009, CEBS 2015). No mundo, poucas áreas de litologias não carbonáticas receberam atenção em relação a estudos da biodiversidade. Dentre os poucos exemplos de estudos sobre a fauna de invertebrados em cavernas não carbonáticas, pode-se citar aqueles realizados em afloramentos siliciclásticos no leste dos USA (Peck & Peck 1982), na península do Cabo (Sharratt et al. 2000), no Brasil (Auler 2012; Souza-Silva et al. 2015) e na Venezuela (Aubrecht et al. 2012), além de ecossistemas subterrâneos em rochas ferruginosas no Brasil (Ferreira et al 2015, Salgado and Carmo 2015) e cavernas granitóides também no Brasil (Souza-Silva & Ferreira, 2015).

Agravando ainda mais o cenário de desconhecimento sobre estes sistemas, são recorrentes inúmeros impactos antrópicos oriundos da agricultura, pecuária, mineração e urbanização (Van-Beynen & Townsend 2005; Souza-Silva et al. 2015), que podem levar espécies vulneráveis (e. g. troglóbios) à extinção (Culver & Pipan 2009). Neste sentido, alguns estudos têm sido feitos no intuito de produzir e aplicar índices e protocolos a fim de subsidiar a proteção desta biodiversidade ameaçada (Romero 2009; Harley et al. 2011; Borges et al. 2012; Donato et al. 2014; Souza Silva et al. 2015, Van-Beynen & Townsend 2005).

No Brasil, tais estudos vêm sendo aplicados na definição de áreas prioritárias para ações emergenciais de conservação (Ferreira 2004; Zampaulo 2010; Bento 2011; Simões et al. 2014; Souza-Silva et al. 2015). Como exemplo dessas aplicações se tem a criação Parque Nacional da Furna Feia, no estado do Rio Grande do Norte, abrangendo cerca de 200 cavidades (ICMBio 2015). Atualmente no país, a conservação dos ecossistemas cavernícolas se faz pelo decreto de lei vigente (decreto 6.640/08), a partir do qual as cavernas são

classificadas a partir de atributos físicos e biológicos, sendo integralmente protegidas somente aquelas com grau de relevância considerado máximo (MMA 2008; Souza-Silva et al. 2015). Para as cavidades classificadas como de alta, média e baixa relevância são permitidos impactos irreversíveis mediante determinadas compensações sociais e ambientais. Segundo Auler & Farrant (1996), o Brasil possui uma grande importância no cenário mundial em relação a áreas carbonáticas e não carbonáticas. No entanto, com um potencial que pode ultrapassar 150.000 cavernas no país (Auler et al. 2001), apenas 15.000 estão cadastradas atualmente na base de dados do CECAV (ICMBio).

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade de algumas cavernas ao sul do estado de Minas Gerais, por meio do Cave Conservation Priority index (CCPi). O índice considera a riqueza total e relativa de espécies, a riqueza de espécies troglóbias e a intensidade das alterações de atividades humanas como importantes elementos na definição de áreas e cavernas prioritárias para receber ações de conservação (Souza Silva et al. 2015).

MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi feito em 51 cavernas em um área não carbonática, distribuídas em 14 municípios ao sul de Minas Gerais (fig. 1, Tabela 1). A região, inserida no domínio da Mata Atlântica, apresenta uma grande diversidade vegetal, sendo algumas florestas de alto-montana de grande importância na conservação hidrológica e vegetal do estado (Oliveira-Filho & Fontes 2000; Oliveira-Filho et al. 2004; Lima et al. 2011). Destaca-se que determinadas áreas foram sugeridas para a criação de unidades de conservação

(Lima *et al.* 2011). O clima regional é bem definido, de forma que os verões são chuvosos e inverno seco (Oliveira-Filho & Fontes 2000). A área, segundo Machado & Ferreira 2005, é apontada como de Importância Biológica Potencial para o estudo de invertebrados, em função da insuficiência de informações biológicas e ameaças antrópicas locais. Em relação as cavernas amostradas, estas estão inseridas em duas principais litologias: *i*) Quartzito, compreendendo 36 cavernas estudadas (70, 6%); e *ii*) Graníticas, com 14 cavernas estudadas (27, 5%). Somente uma caverna carbonática (Casa de pedra) foi inventariada. 20 cavidades amostradas estão inseridas no Parque Estadual de Ibitipoca.

Procedimentos de coleta

As coletas de invertebrados foram conduzidas com auxílio de pinças, pinceis e redes de mão. Durante as coletas, os depósitos orgânicos (detritos vegetais, carcaças e guano) e os micro-habitats (sob pedras, solo úmido, aberturas e espeleotemas) foram priorizados. As coletas foram feitas sempre por biólogos com experiência em coletas cavernícolas (Souza-Silva *et al.* 2011a). Todos os espécimes coletados foram acondicionados em frascos contendo álcool 70% e registrados em um caderno de campo, de acordo com metodologia de Ferreira (2004). Em laboratório, todos os indivíduos foram separados em morfótipos (Krell 2004) e previamente identificados até o menor nível taxonômico possível. Todos os espécimes coletados se encontram depositados na Coleção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras (ISLA), Universidade Federal de Lavras (UFLA).

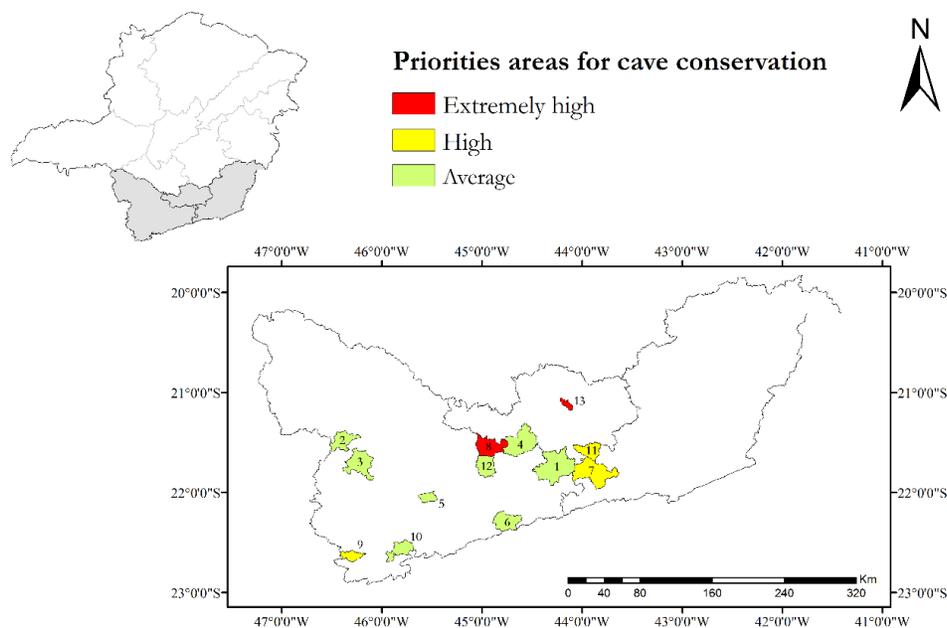


Figure 1: Municípios (números) amostrados ao sul de Minas Gerais e suas prioridades para conservação (em cores). 1 - Andrelândia; 2 – Cabo Verde; 3 – Campestre; 4 – Carrancas; 5 – Heliódora; 6 – Itamonte; 7 – Lima Duarte; 8 – Luminárias; 9 – Munhoz; 10 – Paraisópolis; 11 – Santa Rita do Ibitipoca; 12 – São Tomé das Letras; 13 – Tiradentes.

Determinação da relevância biológica

A relevância biológica (Br) foi baseada nos valores atribuídos de três variáveis descritas por Souza-Silva *et al.* (2015): A riqueza total (TtfR), riqueza relativa (RtfR) e riqueza de espécies troglóbias/troglomórficas (Tg/bR). Para a obtenção da riqueza relativa foi usada a equação sugerida pelos autores: $RtfR = ([S \text{ per cave} / CA] / \sum CEA)$, no qual S corresponde a riqueza total, CA extensão amostrada da caverna e CEA a área estimada de todas as entradas das cavernas (Souza-Silva *et al.* 2015).

Posteriormente, a riqueza total (TtfR) foi dividida por quatro para a

obtenção de valores numéricos em intervalos iguais. Cada intervalo recebeu um peso em comparação ao valor mais alto, sendo assim classificados nas categorias: extremamente alta (peso 8), alta (6), média (4) e baixa (2), respectivamente. Para a riqueza relativa (RtfR) e a riqueza de espécies troglóbias/troglobórficas (Tg/bR), os intervalos receberam os pesos: extremamente alta (4), alta (3), média (2) e baixa (1). A relevância biológica para cada caverna foi determinada através do somatório dos pesos: $(Br = \Sigma TtfR (weight) + \Sigma RtfR (weight) + \Sigma Tg/bR (weight))$. A determinação das espécies restritas ao ambiente cavernícola (troglóbios) foram baseadas nas características troglobórficas apresentados pela população, em função principalmente da dificuldade na determinação da restrição ao ambiente baseado apenas na presença/ausência em cavernas da Mata Atlântica. Tais características correspondem a diferenças morfológicas específicas resultantes da restrição do grupo ao ambiente subterrâneo. Para cada espécie as características foram comparadas com dados da literatura para todas espécies potenciais, uma vez que essas podem variar de grupo para grupo (Culver & Pipan 2009; Souza & Ferreira 2010; Brescovit *et al.* 2012; Iniesta & Ferreira 2013). Posteriormente, os espécimes foram enviados a especialistas para a confirmação do “status” da espécie.

Impactos humanos (HI) nas cavernas e no entorno

As condições das cavernas foram definidas em função da presença e ausência das alterações humanas nas cavidades e regiões de entorno (250 metros) de acordo com Souza-Silva *et al.* (2015). O turismo e atividades religiosas foram consideradas como uso, e o pisoteamento, lixo e iluminação como os impactos em consequência do uso. De acordo com a legislação brasileira vigente, o mínimo de 250 metros na área de entorno deve ser protegido

baseada na conservação das cavernas (Souza-Silva *et al.* 2015).

Os impactos foram considerados em três classes: *i*) depleção (redução potencial das fontes tróficas e diversidade biológica em função das alterações humanas); *ii*) enriquecimento (eutrofização, aumento anormal das fontes orgânicas); e *iii*) alterações (qualquer modificação física que possa influenciar nas condições do hábitat e/ou micro- hábitat). Posteriormente, os impactos foram classificados em *tipos* (tênue ou intenso), *permanência* (curto ou contínuo) e *extensão* (pontual ou abrangente), sendo recebidos pesos para cada categoria. O tipo tênue foi definido como causas potenciais que possam gerar pouca redução na fauna (peso 1) e intensos como causas com intensa redução na fauna (peso 2). Permanências curtas e contínuas (peso 1 e 3, respectivamente) foram definidas a partir das durações potenciais dos impactos sobre a fauna. O peso 3 em alterações contínuas foi adotada em função dessa apresentar maiores danos a fauna do que as de curta duração. Por fim, a extensão pontual e abrangente (peso 1 e 2, respectivamente) foram definidas a partir da magnitude dos impactos. As classificações foram feitas a fim de melhor atender as modificações no espaço, tempo e intensidade em cada caverna amostrada (Souza-Silva *et al.* 2015). Cada caverna recebeu uma soma de todos os impactos (tipo, permanência e extensão), sendo depois ranqueadas a fim da obtenção de classes baseados no maior valor do somatório. Por fim, cada categoria recebeu pesos: extremamente alta (4), alta (3), média (2) e baixa (1) (tabela 2).

Índice de prioridade de cavernas (CCPi) na definição de áreas para conservação

O índice de prioridade de conservação em cavernas (CCPi) foi utilizado na definição, comparativa, de cavernas com necessidades de conservação. O resultado do índice foi baseado em duas variáveis: relevância biológica e

alterações humanas. Para a categorização final, o valor mais alto atribuído foi usado na definição das categorias: *i*) extremamente alta; *ii*) alta; *iii*) média; e *iv*) baixa (Souza-Silva *et al.* 2015) (tabela 3).

No presente estudo, todas as cavernas e áreas amostradas merecem atenções para a conservação. Contudo, somente as cavernas classificadas como de vulnerabilidade extremamente alta foram consideradas como áreas emergências para receberem ações prioritárias. As cavernas e áreas classificadas como de alta vulnerabilidade foram selecionadas e discutidas separadamente de acordo com as necessidades de conservação. As cavernas e áreas selecionadas são mostradas na tabela 4.

RESULTADOS

Relevância biológica

Dentre as cavernas amostradas, o valor mais alto da riqueza total (TtfR) foi 118 espécies. Assim, três cavernas foram classificadas como extremamente altas (118 - 88 spp.), cinco como alta (87 - 59 spp.), 21 como média (58 - 29 spp.) e 22 como baixa (28 - 0 spp.). O valor mais alto observado para a riqueza relativa (RtfR) foi 1,625 spp., sendo três cavernas classificadas como extremamente alta (1,625 - 1,219 spp.), uma como alta (1,218 - 0,813 spp.), seis médias (0,812 - 0,406 spp.) e 41 como baixa riqueza relativa (0,405 - 0,0001 spp.). A riqueza total para espécies troglóbias/troglomórficas (Tg/bR), foi 4 spp. Sendo, uma caverna classificada como extrema (4 spp.), duas como alta (3 - 2 spp.), seis como média (1 spp.) e 41 como de baixa riqueza (82, 4%).

A soma dos valores obtidos através dos pesos foi de 11 pontos. Assim, 8 cavernas (15, 7%) foram classificadas como de relevância biológica extremamente alta, 23 como alta (45, 1%), 20 média (39, 2%) e nenhuma caverna

como de baixa relevância biológica.

Alterações humanas

Em relação aos impactos observados para a comunidade, o desmatamento da área de entorno das cavernas foi o mais comum na região, sendo registrados em 29 cavernas amostradas (57%), seguida pela compactação do solo no interior de 21 cavernas (41%). Atividades de mineração foram observadas na proximidade de duas cavernas, enquanto sinais de vibração, colapso nas cavidades e fossa de esgoto foram observadas para apenas uma caverna (Tabela 1, Fig. 2, 3). Em relação as cavernas inseridas no Parque Estadual do Ibitipoca, 14 dessas apresentaram ao menos um impacto. Foram observados sinais de alterações humanas, como trilhas, pisoteamento do solo, desmatamento e construções. Para as cavidades com registros de espécies troglóbias foi constatado sinais de visitação (*e.g.* lixos e trilhas) no interior. Por fim, na região de entorno do parque as florestas se mostraram fragmentadas, através tanto de atividades agropecuárias quanto de construções.

Através do mais alto valor dos impactos (45 pontos) somente uma caverna foi classificada como extremamente impactada (>35 pontos), em função tanto do turismo quanto das atividades minerárias na região de entorno. Uma caverna apresentou alto grau de impacto (24 - 34 pontos), 11 cavernas como médio (23 – 12 pontos) e 38 como baixo (até 11 pontos).



Figure 2: Paisagens cársticas e cavernas ao sul de Minas Gerais. A) Afloramento granítico envolto por monocultura trilhas e construções, município de Munhoz; B) gruta Bromélias, Parque Estadual de Ibitipoca; C) Exploração mineral em afloramento quartzítico em São Thomé das Letras; D) Lixo na gruta do Diabo, Paraisópolis; E) Ponte de madeira na gruta Casa de Pedra, Tiradentes. F) Espécime troglóbia de Escadabiidae (Opiliones) da gruta Labirinto, Munhoz; G) Espécime troglóbia de Prodidomidae (Araneae) da gruta Cucuruto, Heliódora.

Cavernas e áreas prioritárias para conservação

De acordo com o *CCPi*, duas cavernas foram classificadas como de prioridade extremamente alta para receberem ações de conservação (Casa de Pedra e Serra Grande). Ambas cavidades apresentaram altos valores de relevância biológica e alto peso nos impactos. Outras oito cavernas (15, 7%) foram registradas como de alta prioridade e 41 (80, 4%) como média. No presente estudo, nenhuma cavidade apresentou baixa vulnerabilidade.

Por fim, duas áreas se destacaram como necessárias para receberem maiores atenções (Fig. 3): *i*) cavernas graníticas do município de Munhoz; e *ii*) cavernas quartzíticas do Parque Estadual de Ibitipoca.



Figure 3: Imagens de satélite das cavernas recomendadas para conservação ao Sul de Minas gerais. Estrelas vermelhas se referem às entradas e os círculos tracejados o diâmetro de 250 metros. A) Casa de Pedra, Tiradentes; B) Serra Grande e Lobo, Luminárias; C) Jaime e Labirinto, Munhoz; D) Casas, Bichana I, Bromélias, Cruz e Moreiras, Parque Estadual de Ibitipoca. **Barra de escala:** 250 metros.

DISCUSSÃO

Status de conservação das cavernas não carbonáticas

Nos últimos anos, diversos estudos no mundo têm focado na avaliação e conservação da fauna cavernícola (Sharratt et al. 2000; Lewis et al. 2003; Zeppelini Filho et al. 2003; Borges et al. 2004; Elliott 2007; Ferreira et al. 2007; Donato et al. 2014; Simões et al. 2014; Souza Silva et al. 2015). Entretanto, poucas áreas de litologias siliciclásticas e graníticas foram inventariadas, resultando em um número reduzido de cavidades não carbonáticas recomendadas como prioritárias para ações de conservação (Sharratt et al. 2000; Souza Silva et al. 2015; Souza-Silva and Ferreira 2015).

Para o Brasil, grande parte do conhecimento existente sobre a fauna cavernícola advém de estudos em extensos afloramentos carbonáticos de determinadas áreas (Pinto-da-rocha 1995; Souza-Silva et al. 2011a; Souza-Silva et al. 2011b; Souza Silva et al. 2015), sendo poucas as informações sobre as comunidades associadas a pequenos maciços rochosos não carbonáticos (Zeppelini Filho et al. 2003; Souza-Silva et al. 2011a; Souza-Silva et al. 2011b; Souza Silva et al. 2015). No país, apenas cinco cavidades graníticas e quatro quartzíticas (sendo duas para a Serra de Ibitipoca) na Mata Atlântica, foram indicadas como importantes para receberem ações emergenciais de conservação (Souza Silva et al. 2015). Nestes casos, a insuficiências de estudos faunísticos, além da presença de espécies endêmicas associadas a inúmeros impactos humanos na região, foram determinantes para a classificação da vulnerabilidade destas cavidades (Souza Silva et al. 2015; Souza-Silva and Ferreira 2015).

De acordo com Borges et al. (2012), a presença de espécies troglomórficas é uma importante ferramenta na conservação de cavernas, principalmente pelo fato delas serem sensíveis a quaisquer alterações no

ambiente (Culver & Pipan 2009). Para o Brasil, estudos recentes têm considerado também o registro dessas espécies como um fator importante na indicação de áreas a serem conservadas (Souza-Silva et al. 2011a; Simões et al. 2014; Souza-Silva & Ferreira 2015), sobretudo por estarem associadas a ambientes severamente degradados e sem nenhum manejo adequado (Souza-Silva et al. 2011a; Souza-Silva & Ferreira 2015). Para as cavernas classificadas como de extrema e alta vulnerabilidade no presente estudo, foram registradas onze espécies com características troglomórficas, um número expressivo em comparação a outras áreas não carbonáticas inventariadas no país (Zeppelini Filho et al. 2003; Souza-Silva et al. 2011b; Gallão and Bichuette 2015; Souza Silva et al. 2015; Souza-Silva and Ferreira 2015). Além disso, destaca-se que oito dessas espécies estão restritas a uma única caverna (*uniques*), sendo consideradas endêmicas. Até o momento, apenas uma espécie encontra-se descrita (Brescovit et al. 2012), evidenciando assim uma lacuna no conhecimento para a fauna cavernícola da região.

Ameaças e ações prioritárias para conservação

De acordo com Watson (1997), o carste corresponde a um dos ambientes mais sensíveis a alterações antrópicas, sendo integralmente dependente da conservação do sistema hidrológico, solo e vegetação circundante. No Brasil, os impactos mais recorrentes sobre ecossistemas cavernícolas estão relacionados ao desmatamento, mineração, agropecuária e turismo não planejado (Ferreira & Horta 2001; Simões 2014; Souza-Silva et al. 2015).

Em Minas Gerais, a expansão da agricultura é um dos impactos mais significativos (Stan et al. 2015). Para a região mais ao sul do estado, embora algumas florestas tenham destaque pela importância na preservação de alguns rios (Lima et al. 2011), a expansão agrícola tem levado a severas alterações em

suas paisagens naturais (Oliveira-Filho et al. 2004; Lima et al. 2011). Em áreas cársticas, a remoção da vegetação natural pode ter influência direta tanto na perda de espécies cavernícolas (Reboleira et al. 2011) quanto na manutenção trófica do ambiente subterrâneo, acentuando ainda mais a condição oligotrófica de cavernas (Schneider et al. 2011; Souza-Silva et al. 2011a; Donato et al. 2014).

Em relação ao turismo, seus efeitos sobre a fauna podem ser mitigados caso haja um planejamento e rotas determinadas para visitação (Faille et al. 2015). Contudo, no Brasil, poucas cavidades apresentam um manejo correto para receber o turismo (Donato et al. 2014; Souza-Silva et al. 2015). A compactação do solo (efeito direto do intenso fluxo de pessoas), bem como o lixo, são os sinais mais evidentes dessa visitação inadequada (Ferreira & Horta 2001; Souza-Silva et al. 2011a, b; Donato et al. 2014; Souza-Silva et al. 2015; Souza-Silva et al. 2015). Para as cavidades com presença de espécies troglomórficas no presente estudo, as visitas são recorrentes e sem controle. Além disso, destaca-se que para serra de Ibitipoca, apesar do plano de manejo já salientar o uso turístico das cavidades (Trajano et al. 2007), nenhuma rota de caminhamento (ou adequação) foi feita. Além disso, o estudo biológico conduzido para o plano de manejo desta unidade de conservação não verificou a presença de nenhuma das espécies troglóbias encontradas neste estudo (Trajano et al. 2007), de forma que cavernas importantes deixaram de ser destacadas e devidamente preservadas, em função dos estudos executados durante o plano de manejo não terem revelado as espécies restritas ao ambiente.

No Brasil, é importante ressaltar que para as cavernas inseridas em unidades de conservação o turismo pode se mostrar danoso para a comunidade cavernícola, uma vez que este se torna incentivado na área de proteção. Além disso, no caso de cavernas quartzíticas, o fluxo inadequado de pessoas pode interferir na remodelagem da rocha, em função dessa ser altamente friável a

alterações em sua estrutura. No país, outras áreas também apresentam cavidades em unidades de conservação com impactos resultantes da visitação (Lobo 2008; Souza-Silva & Ferreira, 2009; Ferreira & Souza 2012), sendo em certos casos potencialmente danosos para a fauna troglomórfica (Ferreira & Souza 2012). Assim, destaca-se que embora as cavernas estejam sob domínio de uma área protegida, estudos de manejo conduzidos com métodos de coletas adequados e de forma correta são imprescindíveis à conservação, sendo neste caso eficazes na manutenção da comunidade.

Para a prevenção de novos impactos ao ambiente cavernícola, a educação ambiental pode ser um instrumento eficiente (Gillieson 1996), podendo funcionar principalmente no controle do uso turístico (Donato et al. 2014). Em cavidades na Mata Atlântica, investimentos na conscientização ambiental foram recomendados como melhores alternativas para ações de preservação do ambiente (Souza-Silva et al. 2015). No entanto, mesmo com a conscientização da população sobre a importância do ambiente cavernícola, para a grande maioria dessas cavidades pouco se conhece sobre sua fauna, em função tanto da falta de estudos biológicos (Souza-Silva et al. 2015) quanto do desinteresse em cavernas de litologias não carbonáticas (Souza-Silva et al. 2011a; Souza-Silva & Ferreira 2015). Nesta perspectiva, investimentos em novos estudos para cavernas de diferentes litologias no país são de extrema importância para minimizar estas lacunas de conhecimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, frente aos inúmeros impactos para a fauna cavernícola, a proposição de áreas prioritárias para conservação tem se revelado como uma ferramenta importante para políticas ambientais. No entanto, em função da escassez de informações a respeito da fauna em áreas não carbonáticas, poucas

cavidades de outras litologias possuem alguma medida de conservação. No presente estudo, como resultado de uma alta relevância biológica e presença de espécies troglóbias, recomenda-se ações emergenciais para preservação das cavidades ao sul de Minas Gerais, principalmente pela fauna estar associada a recorrentes impactos advindos de um turismo não planejado e um contínuo desmatamento nas matas circundantes. Além disso, devido as cavernas da região ser de predomínio em rochas quartzíticas e graníticas, a conservação dessa fauna torna-se de extrema importância para o entendimento da comunidade cavernícola sobre diferentes litologias, principalmente aquelas historicamente negligenciadas no país.

AGRADECIMENTOS

O estudo recebeu suporte de financiamento pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão de Minas Gerais (FAPEMIG), APQ 01046-12. Os autores agradecem a todos do Centro de Estudos de Biologia Subterrânea (CEBS/UFLA) pela ajuda em campo e na identificação de espécies, à Leda Zogbi pelo envio dos mapas das cavernas e ao Parque Estadual de Ibitipoca e seus empregados por toda atenção no período de coleta. Agradecimentos também a companhia Vale por todo suporte dado ao CEBS/UFLA. RLF é grato ao CNPq pelo suporte de pesquisa n°. 304682/2014-4

REFERÊNCIAS

ALLRED, K (2012) Kazumura cave, Hawaii. – In: White, W. B. & Culver, D. C (Eds.), Encyclopedia of Caves, 2nd edition British Library Cataloguing in Publication Data, Elsevier Inc, 438 – 442.

AUBRECHT, R.; BARRIO-AMORÓS, C.L.; BREURE, A.; BREWER-

- CARÍAS, C.; DERKA, T.; FUENTES-RAMOS, A. O.; GREGOR, M.; KODADA, J.; KOVACIK, L.; LANCZOS, T.; LEE, N. M.; LISCAK, P.; SCHLOGL, J.; SMIDA, B.; VLCEK, L. (2012) Venezuelan Tepuis: Their caves and biota. Comenius University in Bratislava, Bratislavia, pp. 168.
- AULER, A.S.; FARRANT, A. R. (1996) An brief introduction to karst and caves in Brazil. Proc. te Univ. Bristol Spalaeological Soc. 20:187–200.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E. L.; BRANDI, R (2001) As grandes cavernas do Brasil. Belo Horizonte, Rona Editora, pp. 230.
- AULER, A. S. (2012) Quartzite caves of South America. – In: White, W. B. & Culver, D. C (Eds.), Encyclopedia of Caves, 2nd edition British Library Cataloguing in Publication Data, Elsevier Inc, 635 – 639.
- BENTO, D. M. (2011) Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste Potiguar: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. – Dissertation. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, pp. 162.
- BORGES, P. V.; PEREIRA, F.; CONSTÂNCIA, J. P. (2004) Indicators of Conservation Value of Azorean Caves Based on its Arthropod Fauna. 109–113.
- BORGES, P. V.; CARDOSO, P.; AMORIM, I. R.; PEREIRA, F.; CONSTÂNCIA, J. P.; NUNES, J. C.; BARCELOS, P.; COSTA, P.; GABRIEL, R.; DAPKEVICIUS, M. L. (2012) Volcanic caves: Priorities for conserving the Azorean endemic troglobiont species. Int J Speleol 41:101–112. doi: 10.5038/1827-806X.41.1.11
- BRESCOVIT, A. D.; FERREIRA, R. L.; SOUZA-SILVA, M. S.; RHEIMS, C. A. (2012) *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). Zootaxa 32:23–32.

- CEBS (2015) Center of studies on subterranean biology from Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brasil. Available from <http://www.biologiasubterranea.com.br>. Accessed on 20 January of 2016.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. (2009) *The Biology of Caves and other subterranean habitats*. Library of congress 412 cataloging in publication data. Oxford University Press, Oxford, pp. 256.
- DONATO, C. R.; RIBEIRO, A. D. S.; SOUTO, L. D. S. (2014) A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. 43:315–322.
- ELLIOTT, W. R. (2007) Zoogeography and biodiversity of Missouri caves and karst. *J Cave Karst Stud* 69:135–162.
- FAILLE, A.; BOURDEAU, C.; DEHARVENG, L. (2015) Weak impact of tourism activities on biodiversity in a subterranean hotspot of endemism and its implications for the conservation of cave fauna. *Insect Conserv Divers* 8:205–215. doi: 10.1111/icad.12097
- FERREIRA, D.; MALARD, F.; DOLE-OLIVIER, M. J.; GIBERT, J. (2007) Obligate groundwater fauna of France: Diversity patterns and conservation implications. *Biodivers Conserv* 16:567–596. doi: 10.1007/s10531-005-0305-7
- FERREIRA, R. L. & HORTA, L. C. S. (2001) Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves. *Revista Brasileira de Biologia* 61(1):7-17.
- FERREIRA, R. L. & SOUZA, M. F. V. R. (2012) Notes on the behavior of the advances troglobite *Eukoenia maquinensis* Souza & Ferreira 2010 (Palpigradi: Eukoeniidae) and its conservation status. *Speleobiology Notes* 2010:17–23.

- FERREIRA, R. L. (2004) A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. – PhD Thesis. Universidade Federal de Minas Gerais, pp. 158.
- FERREIRA, R. L., OLIVEIRA, M. P. A. & SOUZA-SILVA, M. 2015: Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: Carmo FF & Kamino LHY. Geossistemas Ferruginosos do Brasil, 3i, Belo Horizonte, pp. 553.
- GALÁN, C. & HERRERA, F. F. (2006) Fauna cavernícola de Venezuela: Una revisión. Bol la Soc Venez Espeleol 39–57.
- GALLÃO, J. E. & BICHUETTE, M. E. (2015) Taxonomic distinctness and conservation of a new high biodiversity subterranean area in Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 87 (1), 209-2017.
- GILLIESON, D. G. (1996) Caves: processes, development and management. Blackwell Publishers Ltd, Oxford.
- HARLEY, G. L.; POLK, J. S.; NORTH, L. A.; REEDER, P. P. (2011) Application of a cave inventory system to stimulate development of management strategies: The case of west-central Florida, USA. J Environ Manage 92:2547–2557. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.05.020
- ICMBio (2015). Instituto de Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília, Distrito Federal. Available from <http://www.icmbio.gov.br>. Accessed on 20 January 2016.
- INIESTA, L. F. M. & FERREIRA, R. L. (2013) The first troglobitic *Pseudonannolene* from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). Zootaxa, 3669 (1), 85–95. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3669.1.9>
- KEMPE, S. (2012) Volcanic rock caves. – In: White, W. B. & Culver, D. C (Eds.), Encyclopedia of Caves, 2nd edition British Library Cataloguing

in Publication Data, Elsevier Inc, 865 – 873.

KRELL, F. T. (2004) Parataxonomy vs. taxonomy in biodiversity studies - Pitfalls and applicability of “morphospecies” sorting. *Biodivers Conserv* 13:795–812. doi: 10.1023/B:BIOC.0000011727.53780.63

LEWIS, J.J.; MOSS, P.; TECIC, D.; NELSON, M. E. (2003) A conservation focused inventory of subterranean invertebrates of the Southwestern Illinois Karst. *J Cave Karst Stud* 65:9–21.

LIMA, L. P. Z.; LOUZADA, J.; CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. (2011) Vulnerability analysis for implementation of conservation units in the Serra de Carrancas microregion, MG. *Cerne* 17:151–159.

LOBO, H. A. S. (2008) Capacidade de carga real (CCR) da caverna de Santana, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) – SP, e indicações para o seu manejo turístico. *Geociências*, 27(3): 369-385.

MACHADO, S. F.; FERREIRA, R.L. *In: Invertebrados. Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para a sua conservação*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005, 94 pp.

MMA (Ministério do Meio Ambiente): Decree law n° 6.640, in 7th November 2008. Available from: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm. Accessed in 2nd, July 2015.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CARVALHO, D.A.; FONTES, M. A. L.; VAN DER BERG, E.; CURI, N.; CARVALHO, W. A. C. (2004) Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua altomontana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. *Rev Bras Botânica* 27:291–309. doi: 10.1590/S0100-84042004000200009

OLIVEIRA-FILHO, A. T & FONTES, M. A. L. (2000) Patterns of Floristic

Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. *Biotropica* 32(4b): 793-810.

PECK, S. B. & PECK, J. H. (1982) Invertebrate fauna of Devil's Den, a sandstone cave in Northwestern Arkansas. *Arkansas Acad Sci Proc* 36:46–48.

PINTO-DA-ROCHA, R. (1995) Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos Zool (São Paulo)* 39:61–173.

REBOLEIRA, A. S. P. S.; BORGES, P. A. V.; GONÇALVES, F., SERRANO, A. R. M.; OROMÍ, P. The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region - Portugal: an overview and its conservation. *International Journal of Speleology*, v. 40, n. 1, p. 23-37, 2011.

ROMERO, A. (2009) *Cave Biology: Life in darkness*. Cambridge University Press, New York, pp. 306

SALGADO, A. A. R.; CARMO, F. F. (2015). 'Quadrilátero Ferrífero': A Beautiful and Neglected Landscape between the Gold and Iron Ore Reservoirs pages 319-330, *in* B.C. Vieira et al. (eds.), *Landscapes and Landforms of Brazil*, World Geomorphological Landscapes.

SCHNEIDER, K.; CHRISTMAN, M. C.; FAGAN, W. F. (2011) The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem - level manipulation experiment: *Ecology* 92: 3, 765 –776. <http://dx.doi.org/10.1890/10-0157.1>

SHARRATT, N. J.; 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. *Biodivers Conserv* 9:107–143.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. (2014) Cave

invertebrates in Northwestern Minas Gerais state, Brazil : endemism, threats and conservation priorities. *Acta Carsologica* 43:159–174.

SOUZA, M. F. V. R.; FERREIRA, R. L. (2010) *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) in Brazilian caves with the first troglobiotic palpigrade from South America. *J Arachnol* 38:415–424. doi: 10.1636/Ha09-112.1

SOUZA-SILVA, M. MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. (2015) Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. *Environ Manage* 55:279–295. doi:10.1007/s00267-014-0414-8

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. (2009) Caracterização ecológica de algumas cavernas do Parque Nacional de Ubajara (Ceará) com considerações sobre o turismo nestas cavidades. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 9: 59-71.

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. (2015) Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. *Subterr Biol* 16:79–102. doi: 10.3897/subtbiol.16.5227

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. *Biodivers Conserv* 20:1713–1729. doi: 10.1007/s10531-011-0057-5

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* 22:155–167.

TRAJANO, E., BICHUETTE, M. E. & FRANCO, F.P. (2007) *Bioespeleologia*, in Instituto Estadual de Florestas, ed., Plano de Manejo do Parque Estadual de Ibitipoca, Belo Horizonte, Governo de Minas Gerais, p. 46-52.

VAN-BEYNEN, P. & TOWNSEND, K. (2005) A disturbance index for karst environments. *Environ Manag* 1(36):101–116

WATSON, J. E.; HAMILTON-SMITH, D.; GILLIESON, D. G. & KIERNAN, K. (1997) *Guidelines for Cave and Karst Protection*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN, pp. 65.

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*. – Dissertation. Universidade Federal de Lavras, Lavras, pp. 190.

ZEPPELINI-FILHO, D.; RIBEIRO, A. C.; RIBEIRO, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A.; MARQUES, A. C. (2003) Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo state, Brazil. *Papéis Avulsos Zool. (São Paulo)* 43:93–99.

TABELAS

Tabela 1: Avaliação das cavernas amostradas ao sul de Minas Gerais de acordo com o CCPi. Números superescritos: ¹desmatamento, ²trilhas, ³solo compactado, ⁴mineração, ⁵vibração, ⁶pichação, ⁷colapso, ⁸turismo, ⁹esgoto, ¹⁰pesquisa, ¹¹instalações, ¹²lixo.* Cavidades inseridas no Parque Estadual do Ibitipoca. Abreviações: L = litologia; E = extrema alta; H = alta; A = média; T_{g/b}R = espécies troglomórficas/troglóbias; BR = relevância biológica; H = impactos humanos.

Cavernas ^{Impactos}	Municípios	L	Espécies troglomórficas	T _{g/b} R	BR	H	CCPi
Gruta Casa de Pedra ^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11}	Tiradentes	Calcário			4	4	E
Gruta Serra Grande ^{1, 2, 3, 8, 10}	Luminárias	Quartzítico			4	3	E
*Gruta das Casas ^{2, 9}	Lima Duarte	Quartzítico	Blattodea, Pselaphinae, Projapygidae, Eukoennidae	4	4	2	H
*Gruta Bichana I ²	Lima Duarte	Quartzítico			4	1	H
Gruta do Jaime ¹	Munhoz	Granítico	<i>Pseudonannolene</i> sp.	1	4	1	H
*Gruta das Bromélias ^{3, 7}	Lima Duarte	Quartzítico	<i>Brasilomma enigmatica</i>	1	4	1	H
Gruta do Labirinto ^{1, 6}	Munhoz	Granítico	Prodidomidae, Escadabiidae, <i>Pseudonannolene</i> sp.	4	4	1	H
*Gruta dos Moreiras ^{3, 8}	Sta. Rita do Ibitipoca	Quartzítico	Hypogastruridae	1	4	1	H
*Gruta da Cruz ^{3, 11}	Lima Duarte	Quartzítico			3	2	H
Gruta do Lobo ^{1, 3, 10}	Luminárias	Quartzítico			3	2	H
*Gruta do Monjolinhos ^{3, 8}	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
Toca do Bugre ¹	Cabo Verde	Granítico			3	1	A
Ponte de Pedra ³	Carrancas	Quartzítico			3	1	A
Toca do Lado do Pedrão ^{1, 2}	Heliadora	Quartzítico	Pselaphinae	1	3	1	A
Toca do João Japonês II ^{1, 2}	Andrelândia	Quartzítico			3	1	A
Gruta Cortinas I ¹	Carrancas	Quartzítico			3	1	A
*Gruta dos Viajantes ^{3, 8}	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
*Gruta do Pião ^{3, 6, 8}	Lima Duarte	Quartzítico	Blattodea	1	3	1	A
*Gruta dos Fugitivos ^{3, 8}	Sta. Rita do Ibitipoca	Quartzítico			3	1	A

*Gruta do Martiniano	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
*Gruta do Lagarto Teiu	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
Caverna do Diabo ^{1, 12}	Paraisópolis	Granítico			3	1	A
Gruta Ponte de Pedra ¹	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
Toca do Pedrão ^{1, 2}	Heliadora	Granítico			3	1	A
Caverna dos Goulart ^{1, 2, 12}	Paraisópolis	Granítico			3	1	A
Toca do João Japonês I ₁	Andrelândia	Quartzítico			3	1	A
Gruta do Pinhão Assado ²	Itamonte	Granítico			3	1	A
Gruta do Cucuruto ^{1, 2}	Heliadora	Granítico	Prodidomidae	1	3	1	A
Toca do Machado ^{1, 2}	Paraisópolis	Granítico			3	1	A
Gruta Manequinho ²	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
Gruta Coelhos ³	Lima Duarte	Quartzítico			3	1	A
Gruta Campo I ^{1, 3, 8}	Luminárias	Quartzítico	<i>Troglobius</i> sp.	1	2	2	A
Gruta do Carimbado	São Thomé das Letras	Quartzítico			2	2	A
Toca dos Novatos	Andrelândia	Granítico			2	2	A
Gruta do Sobradinho ^{1, 2, 3}	São Thomé das Letras	Quartzítico			2	2	A
Gruta da Toca ^{1, 3, 10}	Carrancas	Quartzítico			2	2	A
Gruta do Céu ^{1, 2, 3, 12}	Carrancas	Quartzítico			2	2	A
Gruta Mandembe ^{1, 2, 3, 10}	Luminárias	Quartzítico			2	2	A
Toca da Passagem ¹	Andrelândia	Quartzítico			2	1	A
*Gruta Catedral I ³	Lima Duarte	Quartzítico			2	1	A
*Gruta do Martiniano II	Lima Duarte	Quartzítico			2	1	A
Toca do Morcego I ¹	Campestre	Granítico			2	1	A
*Gruta Bichana II ²	Lima Duarte	Quartzítico			2	1	A
Gruta Cortinas II ¹	Carrancas	Quartzítico			2	1	A
*Gruta Catedral III	Lima Duarte	Quartzítico			2	1	A
Toca do Morcego II ¹	Campestre	Granítico			2	1	A
Gruta da Gameleira ²	Heliadora	Granítico			2	1	A
*Gruta dos Gnomos	Lima Duarte	Quartzítico			2	1	A
Toca dos Cachorros ^{1, 2}	Andrelândia	Quartzítico			2	1	A
*Gruta das Dobras	Lima Duarte	Quartzítico	Blattodea	1	2	1	A
Toca do João Japonês IV ^{1, 2}	Andrelândia	Quartzítico			2	1	A

Tabela 2: Pontuações dos impactos. Abreviações: Alt = alterações (a = depleção; b = enriquecimento; c = modificações); Pot = potencial (T = tênue; I = intenso); Per = permanência (C = curta; Ct = contínua); Ext = extensão (L= localizada; G = abrangente); W = peso.

Impacts	Alt	Pot	W	Per	W	Ext	W	Σ
Desmatamento	a + c	T	1	C	1	G	2	4
Trilhas	c	T	1	Ct	3	L	1	5
Lixo	c	I	2	Ct	3	G	2	7
Compactação do solo	c	I	2	Ct	3	G	2	7
Mineração	a + c	T	1	C	1	L	1	3
Vibração	c	I	2	Ct	3	G	2	7
Impacto por pesquisa	c	T	1	C	1	L	1	3
Turismo	c	T	1	C	1	L	1	3
Lixo	c	I	2	Ct	3	L	1	6
Instalações	c	I	2	Ct	3	L	1	6
Colapso	c	T	2	C	1	L	1	4
Fossa de esgoto	b + c	I	1	Ct	3	G	2	6

Tabela 3: Critérios usados na definição de cavernas prioritárias para conservação ao Sul de Minas Gerais baseado no *CCPi*.

Prioridade	Grau	Critérios
1	Extrema alta	Total de espécies maior que 94 e riqueza relativa maior que 0,03 (relevância biológica maior que 8 pontos); Ao menos 6 impactos diferentes e total da soma maior que 28 pontos.
2	Alta	Ao menos 1 espécie troglóbia de distribuição restrita, riqueza total variando de 31 a 96 espécies e riqueza relativa entre 0,02 a 1,51 (relevância biológica entre 3 a 4 pontos); Ao menos 1 impacto observado e total de pontos entre 4 - 13.

3	Média	Ocorrência esperada de 0 - 4 espécies troglóbias, riqueza total entre 12 a 74 espécies e riqueza relativa entre 0,005 a 1,27 (relevância biológica entre 2 a 3 pontos); 1 a 4 diferentes impactos observados e soma total entre 4 - 19 pontos.
4	Baixa	Sem ocorrência de espécie troglóbia, riqueza total até 11 espécies e riqueza relativa até 0,004 (relevância biológica até 2 pontos); Nenhum impacto observado e soma total de 3 pontos.

Tabela 4: Cavernas e áreas cársticas ao sul de Minas Gerais e suas necessidades de conservação.

Locais	Crítérios de indicação	Principais ameaças	Recomendações
gruta Casa de Pedra, Tiradentes. UTM - 23K 584468.46 m E/7662191.90 m S	Alta riqueza de espécies e relevância biológica.	Intensa visitação; Instalações; Desmatamento; Mineração; Compactação do solo.	Inventários biológicos; Plano de manejo; Recuperação da mata de entorno.
grutas quartzíticas de Serra Grande, Luminárias. UTM - 23K 518630.26 m E/7662191.90 m S	Alta riqueza de espécies e relevância biológica; Drenagem subterrânea.	Intensa visitação; Desmatamento; Mineração.	Inventários biológicos; Plano de manejo; Recuperação da mata de entorno; Educação ambiental.
grutas graníticas de Munhoz. UTM - 23K 364118.54 m E/ 7498559.89 m S	Região com informações biológicas insuficientes; Presença de três espécies troglomórficas.	Desmatamento; Visitação; Lixo.	Inventários biológicos; Recuperação da mata de entorno; Educação ambiental.
grutas quartzíticas da Serra de Ibitipoca. UTM 23K - 614309.41 m E/ 7598230.58 m S	Presença de seis espécies troglomórficas Drenagem subterrânea; Potencial espeleológico.	Turismo intenso em algumas cavernas; Compactação do solo; lixo.	Inventários biológicos; Plano de manejo; Educação ambiental.