



**MATHEUS HENRIQUE SIMÕES**

**INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS:  
SUBSÍDIOS PARA DETERMINAÇÃO DE  
CAVERNAS E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA  
CONSERVAÇÃO NO NOROESTE DE MINAS  
GERAIS**

**LAVRAS – MG  
2013**

**MATHEUS HENRIQUE SIMÕES**

**INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS: SUBSÍDIOS PARA  
DETERMINAÇÃO DE CAVERNAS E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA  
CONSERVAÇÃO NO NOROESTE 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 Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Coorientador  
Dr. Marconi Souza Silva

**LAVRAS – MG  
2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Simões, Matheus Henrique.

Invertebrados cavernícolas: subsídios para determinação de cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais / Matheus Henrique Simões. – Lavras : UFLA, 2013.

104 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Cavernas. 2. Invertebrados. 3. Conservação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.5264

**MATHEUS HENRIQUE SIMÕES**

**INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS: SUBSÍDIOS PARA  
DETERMINAÇÃO DE CAVERNAS E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA  
CONSERVAÇÃO NO NOROESTE 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 Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2013.

Dr. Paulo dos Santos Pompeu  
Dr. Fernando Antônio Frieiro Costa

UFLA  
UNILAVRAS

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2013**

*Ao meu pai Antônio, minhas irmãs Iara e Larissa, e em especial à minha mãe  
Neuza, uma pessoa digna de toda minha admiração, meu respeito e todo o meu  
amor.*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Ele, pois “Nenhum obstáculo é grande demais quando confiamos em Deus” (Aristóteles);

Aos meus pais, Seu Toninho e Dona Neuza, minhas irmãs Iara e Larissa, e minha namorada Anaysa, pela compreensão e paciência nos momentos de stress;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada e professores, pela ajuda para que eu completasse mais uma etapa da minha caminhada;

Ao Programa de Apoio ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), pela concessão da bolsa de estudos;

Aos colegas e amigos da turma 2011/1 do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada (Mestrado) da Universidade Federal de Lavras, em especial ao Carioca, Ananza, Peixe e Geovany;

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras, Tripé, Poldo, Sassanha, Xucra, Avatar, Mudis, Chaci, Pedro, Babu, Bagre, Grilão e Teta, pela amizade, companheirismo e ajudas nos trabalhos de campo e laboratoriais;

Ao Rosinei, pela ajuda durante os trabalhos de campo;

Ao Severino, pela sempre disposição em ajudar durante os trabalhos de campo na cidade de Vazante;

Ao Espele Grupo de Brasília (EGB), pelas informações sobre as cavernas da região;

Ao professor Dr. Paulo Pompeu por estar sempre disponível a dar sugestões;

A professora Carla e ao amigo Nelson, pelas sugestões;

Ao professor, amigo e coorientador Dr. Marconi Souza Silva, ou simplesmente Titó, por me ter apresentado ao incrível mundo das cavernas;

Ao professor, amigo, conselheiro e orientador Dr. Rodrigo Lopes Ferreira, ou simplesmente Drops, para quem devo a eterna gratidão por ter aprendido muito mais que apenas sobre a Ecologia de cavernas;

A todos que contribuíram de alguma forma para que mais esta etapa fosse concluída.

Sucesso, reconhecimento, fama, glória. Muitos de nós lutamos por motivos assim, mas não se constrói um bom nome da noite para o dia, é preciso trabalhar muito. Ainda que haja quedas e tropeços, é preciso superar os obstáculos. É preciso ter motivação, perseverar, insistir. Nem sempre dá pra se fazer só o que gostamos, mas aquele que gosta do que faz e sente orgulho em fazer melhor, a cada dia vai mais longe. Chegar ao fim de uma etapa com a sensação de dever cumprido e obter a consagração, o respeito de todos, o reconhecimento dos colegas, a admiração das pessoas que amamos, ouvir o próprio nome com orgulho. Aquele orgulho de quem viu nos obstáculos a oportunidade de crescer. Orgulho de quem soube enfrentar as turbulências da vida e vencer. Orgulho de ser um vencedor que não abriu mão dos seus valores fundamentais.

O que fazemos na vida ecoa na eternidade! (Filme: Gladiador).

## RESUMO

Diante do pouco conhecimento sobre a influência de métricas das cavernas e a presença de corpos d'água nas comunidades cavernícolas e o fato de que cavernas têm sido ameaçadas ao longo dos anos por intervenções antrópicas, estudos que mostrem quais são as relações entre o ambiente físico das cavernas e as espécies associadas e a identificação de áreas com prioridades de conservação são necessários. Assim, o presente estudo teve como objetivo testar as relações entre o número e extensão das entradas, o desenvolvimento linear das cavernas e a presença de corpos d'água com a riqueza e composição de invertebrados. Além disto, o trabalho objetivou identificar cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais, baseando em parâmetros de riqueza, riqueza de troglóbios e grau de impacto no entorno (~250 m) e interior das cavidades. Os resultados deste estudo mostram os efeitos dos parâmetros métricos das cavernas e da presença de água sobre a riqueza e composição de espécies de invertebrados associados a cavernas calcárias. A riqueza total de espécies é afetada positivamente pelas métricas, tamanho e número de entradas e desenvolvimento linear das cavernas, e pela presença de água, sendo maior em cavernas com rios transpassando seu interior. A riqueza de espécies troglomórficas é positivamente influenciada pelo desenvolvimento linear e pela presença de água nas cavernas, sendo maior em cavernas com lençol freático. Cavernas que recebem aporte de material do ambiente epígeo, seja por rios ou enxurradas, apresentam maior similaridade faunística em relação a cavernas secas ou sem aporte de materiais do ambiente epígeo por rios ou enxurradas. As cavernas da região Noroeste de Minas Gerais apresentam uma significativa relevância biológica (25.53% extrema e 57.45% alta relevância biológica), além de um alto grau de endemismo de espécies troglomórficas. Porém, existem locais com alto grau de impacto (ex. cavernas de Vazante e Paracatu). Assim, três cavernas necessitam de ações emergências para conservação, sendo Lapa Nova e Lapa da Delza em Vazante, e Gruta da Lagoa Rica em Paracatu. Além disso, as demais cavernas da região de Vazante, Unai e Arinos necessitam de algum tipo de ação para conservação. Dentre as áreas com algum tipo de necessidade de conservação destaca-se a região de Arinos. As cavernas da região apresentam uma significativa relevância biológica, possuindo riqueza de espécies comparada a maior registrada no país (região cárstica de Cordisburgo, Minas Gerais). As cavernas estudadas foram muito heterogêneas, apresentando características únicas. Assim, recomenda-se sempre o estudo do maior número de cavernas possível da região de interesse, para subsidiar planos e ação de conservação da fauna cavernícola.

Palavras-chave: Cavernas. Invertebrados. Métricas das cavernas. Corpos d'água. Conservação.

## ABSTRACT

Considering the little knowledge about the influence of cave metrics and the presence of water bodies in cave communities and the fact that caves have been threatened throughout the years by human interventions, studies that show the relationships between the physical environment of the caves and associated species and the identification of caves and areas with conservation priorities are needed. Thus, the present study aimed to test the relationship between the number and length of entrances, the linear development of the caves and the presence of water bodies with the richness and composition of invertebrates. Furthermore, the study aimed to identify caves and priority areas for conservation in the Northwest of Minas Gerais state, based on parameters like richness, richness of troglotic species and impact degree on the surroundings (~ 250m) and within the caves. The results of this study showed the effects of cave metrics and the presence of water bodies on the richness and composition of invertebrate species. The total species richness is positively affected by the number of entrances and linear development of the caves, and the presence of water, mostly in caves with rivers. Troglomorphic species richness is positively influenced by linear development and the presence of water in the caves, mostly in caves with phreatic pounds. Caves that receive external organic matter, either by rivers or floods, have a higher faunal similarity in relation to dry caves or those caves without contribution of epigeal materials by rivers or floods. The caves of the northwest region of Minas Gerais state have a significant biological relevance (25.53% extreme and 57.45% high biological relevance), and a high degree of endemism of troglomorphic species. However, there are places with high impact (e.g. Vazante and Paracatu caves). Thus, three caves require emergency actions for conservation: Lapa Nova cave and Delza cave in Vazante, and Lagoa Rica cave in Paracatu. In addition, other caves in the area of Vazante, Unai and Arinos need some kind of conservation action. Among the areas with some kind of need for conservation highlights the region Arinos. The Arinos caves have a significant biological relevance, possessing species richness compared to the highest recorded in the country (Cordisburgo karstic region, Minas Gerais state). The caves studied were very different, presenting unique characteristics. Thus, it is always recommended to study the largest possible number of caves in the region of interest, to support action plans and conservation of cave fauna.

Keywords: Caves. Invertebrates. Cave Metrics. Water bodies. Conservation.

## SUMÁRIO

### PRIMEIRA PARTE

**1 INTRODUÇÃO**..... 12

**REFERÊNCIAS**..... 15

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**..... 18

**ARTIGO 1** Métricas das cavernas e presença de água como determinantes para a estrutura de comunidades de invertebrados em regiões neotropicais..... 19

**ARTIGO 2** Invertebrados cavernícolas do Noroeste de Minas Gerais: endemismos, ameaças e prioridades de conservação..... 488

**ARTIGO 3** Diversidade e conservação de cavernas na sub-bacia do Rio Urucuia, afluente do São Francisco: estudo de caso em cavernas de Arinos, Minas Gerais..... 822

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

Em resumo, cavernas são cavidades subterrâneas formadas por processos naturais e que possuem continuidade com ambientes externos (epígeos). Dentre as características do ambiente cavernícola destacam-se a elevada estabilidade ambiental em função do isolamento em relação ao ambiente externo (CULVER, 1982; POULSON; WHITE, 1969). Este isolamento resulta em locais com ausência permanente de luz, temperatura constante e elevada umidade (CULVER, 1982). Além disto, existe uma baixa disponibilidade de recursos alimentares nestes ambientes. A matéria orgânica é predominantemente alóctone, sendo importada pelo vento, rios, riachos, enxurradas ou águas de percolação, além da importação realizada por animais (FERREIRA; PROUS; MARTINS, 2007; FERREIRA; MARTINS, 1999; HERRERA, 1995; POULSON; LAVOIE, 2001; SIMON; BENFIELD; MACKO, 2003).

Devido à continuidade com o ambiente epígeo, cavernas possuem grande diversidade de organismos com variados graus de dependência em relação ao habitat subterrâneo, variando desde espécies exclusivas do ambiente cavernícola até espécies oportunistas ou acidentais. Segundo suas modificações evolutivas, os organismos cavernícolas podem ser agrupados em três categorias modificadas do sistema Schinner-Racovitza (CULVER; WILKENS, 2000; SKET, 2008). Os Troglóxenos são aqueles que habitam as cavernas, mas que obrigatoriamente saem em algum momento de seu ciclo de vida. Os Troglófilos são aqueles que podem completar todo seu ciclo de vida tanto no ambiente epígeo quanto hipógeo. Troglóbios são organismos com o ciclo de vida restrito a este ambiente e que, devido ao isolamento e as fortes pressões ambientais, sofreram uma série de modificações evolutivas de caráter morfológico, fisiológico e comportamental que os tornaram altamente especializados ao ambiente cavernícola. Ainda existem as espécies acidentais, que incluem aqueles

animais que são levados por meio da água, carregados pela corrente de ar, por pelos ou pele de vertebrados ou junto de outros invertebrados.

A presença de espécies troglóbias faz das cavernas locais de grande importância para o estudo de processos evolutivos moldados pelas pressões seletivas típicas destes ambientes, como ausência permanente de luz, escassez de recursos alimentares, elevada umidade, temperaturas constantes, dentre outras. Além disto, troglóbios comumente são restritos a uma ou a poucas cavernas, ou seja, são altamente endêmicos, característica que aumenta o risco de extinção desses organismos (CULVER; PIPAN, 2009).

Cavernas são partes de um relevo denominado “carste”, sendo importantes para manutenção desses sistemas. Algumas espécies que habitam o sistema cavernícola executam importantes serviços ecológicos. Micro-organismos que vivem em águas subterrâneas podem atuar na purificação da água, por exemplo, quebrando materiais orgânicos (HERMAN; CULVER; SALZMAN, 2001). Morcegos desempenham diversos serviços ecológicos, incluindo o controle de insetos, dispersão de sementes e polinização (MURRAY; KUNZ, 2005).

Embora a importância dos habitats subterrâneos seja evidente, cavernas têm sido ameaçadas ao longo dos anos por intervenções antrópicas (WATSON et al., 1997). Estas intervenções vêm resultando em efeitos negativos, tais como a poluição e redução de recursos hídricos, mudanças no regime hidrológico, alterações nos habitats, declínio nas populações de espécies locais, dentre outros (BEYNEN et al., 2007; GILLIESON; THURGATE, 1999; NEILL; GUTIÉRREZ; ALEY, 2004; PARISE; PASCALI, 2003; WAELE; FOLLESA, 2003). Diante destas ameaças, áreas cársticas e cavernas vêm recebendo atenção de gestores, órgãos ambientais e pesquisadores, principalmente nas últimas décadas, devido à grande importância dessas áreas tanto para ciência (geologia,

paleontologia, arqueologia e biologia), quanto pelos valores humanos (espiritual, religioso, estético, recreativo e educacional) (WATSON et al., 1997).

No Brasil, a descaracterização ou destruição de ambientes cársticos tem evoluído de forma rápida, juntamente com o desenvolvimento socioeconômico. Destacam-se como principais impactos: poluição hídrica, desmatamento, uso público inadequado, turismo em massa, exploração mineral, obras de interesse civil, expansão urbana, dentre outros (FERREIRA, 2004; FERREIRA; HORTA, 2001; FERREIRA; MARTINS, 2001; ROCHA; OLIVEIRA; SESSENGOLO, 2001; SOUZA-SILVA, 2008). Também não é incomum a conversão de cavernas em templos religiosos, depósitos de lixo e esgoto, reservatórios de água, abrigo para criações, além de serem utilizadas para a implantação de infraestruturas mais inusitadas, tais como campos de futebol (FERREIRA; MARTINS, 2001; ROCHA; OLIVEIRA; SESSENGOLO, 2001).

Devido à importância socioeconômica de áreas cársticas e ao aumento do consumo de bens e produtos naturais é improvável que algumas cavernas não venham a ser impactadas, mesmo aquelas que apresentem espécies raras (GIBERT; DEHARVENG, 2002). Assim, reconhecer locais com prioridade para conservação é um passo importante para a criação de áreas preservadas e manutenção da biodiversidade subterrânea.

O presente estudo teve como objetivos (1) avaliar a influência de métricas das cavernas e presença de corpos d'água em parâmetros das comunidades de invertebrados cavernícolas, (2) bem como identificar cavernas e regiões prioritárias para conservação na Região Noroeste do estado de Minas Gerais. Para isto, a segunda parte desta dissertação se divide em três artigos. O primeiro correspondendo ao objetivo 1 e o segundo e terceiro artigos correspondendo ao objetivo 2.

## REFERÊNCIAS

BEYNEN, P. van et al. Application of a karst disturbance index in Hillsborough County, Florida. **Environmental Management**, New York, v. 39, n. 2, p. 261-277, Feb. 2007.

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

CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. Oxford: Oxford University, 2009. 254 p.

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

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

FERREIRA, R. L.; HORTA, L. S. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian Caves. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 7-17, fev. 2001.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Cavernas em risco de 'extinção'. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 173, p. 20-28, jul. 2001.

\_\_\_\_\_. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 12, n. 2, p. 231-252, July 1999.

FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; MARTINS, R. P. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 20, n. 1, p. 55-74, Jan. 2007.

GIBERT, J.; DEHARVENG, L. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. **BioScience**, Washington, v. 52, n. 6, p. 473-481, June 2002.

- GILLIESON, D.; THURGATE, M. Karst and agriculture in Australia. **International Journal of Speleology**, Rome, v. 28B, n. 1, p. 149-168, Jan. 1999.
- HERMAN, J. W.; CULVER, D. C.; SALZMAN, J. Groundwater ecosystems and the service of water purification. **Stanford Environmental Law Journal**, Stanford, v. 20, p. 479-495, May 2001.
- HERRERA, F. F. Las comunidades de artrópodos del guano del guácharos em la cueva del Guácharo, Venezuela. **Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología**, Caracas, v. 29, n. 1, p. 39-46, ene. 1995.
- MURRAY, S. W.; KUNZ, T. H. Bats. In: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Ed.). **Encyclopedia of caves**. Amsterdam: Elsevier Academic, 2005. p. 39-45.
- NEILL, H.; GUTIÉRREZ, M.; ALEY, T. Influences of agricultural practices on water quality of Tumbling Creek cave stream in Taney County, Missouri. **Environmental Geology**, Berlin, v. 45, n. 4, p. 550-559, Feb. 2004.
- PARISE, M.; PASCALI, V. Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). **Environmental Geology**, Berlin, v. 44, n. 3, p. 247-256, June 2003.
- POULSON, T. L.; LAVOIE, K. H. The trophic basis of subsurface ecosystems. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Ed.). **Ecosystems of the world: subterranean ecosystems**. New York: Elsevier, 2001. p. 231-250.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, London, v. 165, n. 3897, p. 971-981, Sept. 1969.
- ROCHA, L. F. S. da; OLIVEIRA, K. L.; SESSENGOLO, G. C. **Conservando cavernas: quinze anos de espeleologia**. Curitiba: GEEP-Açungui, 2001. 214 p.
- SIMON, K. S.; BENFIELD, E. F.; MACKO, S. A. Food web structure and the role of epilithic films in cave streams. **Ecology**, Durham, v. 84, n. 9, p. 2395-2406, Sept. 2003.
- SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History**, London, v. 42, n. 21/22, p. 1549-1563, Feb. 2008.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira**. 2008. 211 f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

WAELE, J. de; FOLLESA, R. Human impact on karst: the example of Lusaka (Zambia). **International Journal of Speleology**, Rome, v. 32, n. 1, p. 71-83, Jan. 2003.

WATSON, J. et al. **Guidelines for cave and karst protection**. Cambridge: IUCN, 1997. 63 p.

**SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO 1**

MÉTRICAS DAS CAVERNAS E PRESENÇA DE ÁGUA COMO  
DETERMINANTES PARA A ESTRUTURA DE COMUNIDADES DE  
INVERTEBRADOS EM REGIÕES NEOTROPICAIS

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

## RESUMO

A estabilidade de fatores como temperatura e humidade em ambientes cavernícolas é bem conhecida. Porém, pouco se sabe se a maior ou menor estabilidade destes sistemas implica em mudanças na estrutura das comunidades. O número, extensão, posição e distribuição das entradas, o tamanho, a profundidade, o tipo de rocha, a quantidade e tipo de recurso disponível, são fatores que têm fortes influências sobre as comunidades cavernícolas. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar as relações existentes entre a presença de corpos d'água, número e extensão das entradas e o desenvolvimento linear das cavernas com a riqueza e composição de invertebrados de 55 cavernas calcárias, localizadas no Cerrado brasileiro. Os invertebrados foram coletados por meio de busca ativa por toda a cavidade, priorizando micro-habitats e recursos orgânicos. Um total de 1.515 espécies foi registrado. A riqueza de espécies foi influenciada positivamente pela presença de rios, número e tamanho das entradas e pelo desenvolvimento linear das cavernas. A riqueza de espécies troglóbias foi influenciada positivamente pela presença de lençol freático e pelo desenvolvimento linear das cavernas. A presença de rio nas cavernas foi um fator determinante para estrutura das comunidades, aumentando a riqueza e a similaridade entre as cavernas, mostrando que além de importar recurso, os pulsos de inundações podem causar distúrbios que selecionam as mesmas espécies. Já para as espécies troglóbias terrestres a umidade elevada pode ser mais determinante que a disponibilidade de recurso.

## INTRODUÇÃO

Ambientes cavernícolas são caracterizados por apresentarem uma elevada estabilidade ambiental em função da ausência permanente de luz, temperatura constante e elevada umidade (Culver, 1982). Além disto, existe uma baixa disponibilidade de recursos alimentares nestes ambientes. A matéria orgânica é predominantemente alóctone, sendo importada pelo vento, rios, riachos, enxurradas ou águas de percolação, além de animais acidentais e troglóxenos (Ferreira e Martins, 1999; Ferreira et al., 2007; Herrera, 1995; Poulson e Lavoie, 2001; Simon et al., 2003; Souza-Silva et al., 2011a).

Cavernas e seus entornos imediatos têm recebido inúmeras ameaças em função do elevado valor econômico das terras (agricultura, silvicultura, recursos hídricos), da rocha matriz (mineração e turismo) e das cavernas (turismo, uso religioso, recursos hídricos) (Watson et al., 1997). Diante destas ameaças, áreas cársticas e cavernas vêm recebendo atenção de órgãos ambientais e pesquisadores, principalmente nas últimas décadas, devido à grande importância dessas áreas tanto para ciência quanto pelos valores humanos (espiritual, estético, recreativo e educacional) (Souza-Silva et al., 2011b; Watson et al., 1997).

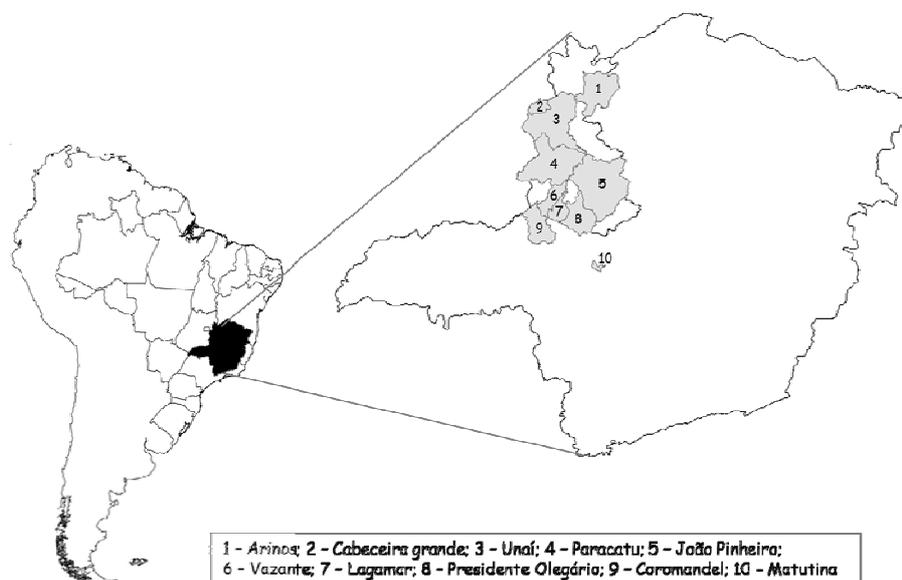
Embora existam inúmeros trabalhos sobre a fauna cavernícola relacionando-a com diversos parâmetros, ainda são poucos os que associam a estrutura das comunidades com parâmetros métricos (número e tamanho de entradas, extensão das cavernas) e presença de corpos d'água em cavernas (Culver et al., 2003; Culver et al., 2004; Ferreira, 2004; Souza-Silva et al., 2011b). Cavernas são reconhecidamente ambientes com elevada estabilidade de fatores como temperatura e humidade (Culver, 1982). Assim, proporções métricas nestes ambientes, como por exemplo, o número, extensão, posição e distribuição das entradas em relação à extensão das cavernas, podem aumentar ou diminuir a estabilidade ambiental da cavidade e conseqüentemente provocar

mudanças na estrutura das comunidades (Ferreira, 2004). Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar as relações existentes entre as métricas das cavernas (número e extensão das entradas e desenvolvimento linear) e presença de corpos d'água com a riqueza e composição de invertebrados em cavernas Neotropicais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi conduzido em 55 cavernas calcárias, inseridas no bioma Cerrado, distribuídas em 10 municípios do estado de Minas Gerais, Brasil (Fig. 1). Tais cavidades foram amostradas em 2000 e posteriormente entre os anos de 2009 e 2011.



**Figura 1:** Mapa da América do Sul destacando o estado de Minas Gerais, Brasil (em preto) e os municípios (em cinza) onde 55 cavernas calcárias foram amostradas no ano 2000 e entre os anos 2009 e 2011.

### **Amostragem dos parâmetros biológicos**

As coletas de invertebrados foram realizadas por meio de busca ativa por toda a cavidade, priorizando depósitos orgânicos (depósitos vegetais, carcaças, guano, etc.) e micro-habitats (espaços sob pedras, solo úmido, frestas, espeleotemas, etc.). Os espécimes foram coletados com o auxílio de pinças e pincéis e acondicionados em vidros com álcool 70%. A equipe de coleta foi sempre composta por biólogos com experiência em espeleologia e coleta manual de invertebrados em cavernas, como recomendado por Weinstein e Slaney (1995).

Todos os organismos foram identificados até o melhor nível taxonômico acessível e separados em morfo-espécies (Derraik et al., 2002; Derraik et al., 2010; Oliver e Beattie, 1996; Souza-Silva et al., 2011b, Ward e Stanley, 2004). Todos os espécimes encontram-se depositados na coleção de invertebrados subterrâneos de Lavras (ISLA), da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada por meio da identificação, nos espécimes, de troglomorfismos. Tais características variam entre os grupos, mas frequentemente são representadas pela redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares e alongamento de apêndices (Culver e Wilkens, 2000).

### **Amostragem das métricas e presença de corpos d'água nas cavernas**

As métricas medidas foram as da extensão e número de entradas e o desenvolvimento linear das cavernas. Todas as aberturas encontradas nas cavernas, independentemente do tamanho, foram consideradas como entradas. A extensão das entradas foi considerada a maior extensão horizontal, sendo que cavernas com mais de uma entrada tiveram suas extensões somadas. O desenvolvimento linear foi considerado a medida linear horizontal da caverna. Cavernas ramificadas tiveram as extensões dos ramos somadas.

Quanto aos corpos d'água, as cavernas foram categorizadas quanto à presença ou ausência de poças, lençol freático e rios, de acordo com a umidade e recursos fornecidos. Poças foram consideradas corpos d'água temporários nas cavernas, os quais aumentam a umidade do local temporariamente. Foram classificados como lençol freático, corpos d'água permanentes, mantendo a umidade elevada durante todo o ano. Rios foram considerados uma categoria separada pelo fato de que, além de manter a umidade elevada durante todo o ano, podem carrear recursos para o interior das cavernas.

### **Análise de dados**

A riqueza total observada foi comparada ao valor obtido pelo estimador de riqueza de espécies Bootstrap. Optou-se pela utilização do Bootstrap pelo fato deste estimador se basear nos dados de todas as espécies amostradas, sem considerar a abundância (Smith e Belle, 1984).

A influência das métricas (extensão e número de entradas, desenvolvimento linear) das cavernas e da presença de água nos parâmetros de riqueza foi avaliada por meio de modelos lineares generalizados (GLM). As medidas das extensões das entradas e desenvolvimento linear das cavernas foram logaritimizadas, para reduzir o efeito de valores extremos nas análises.

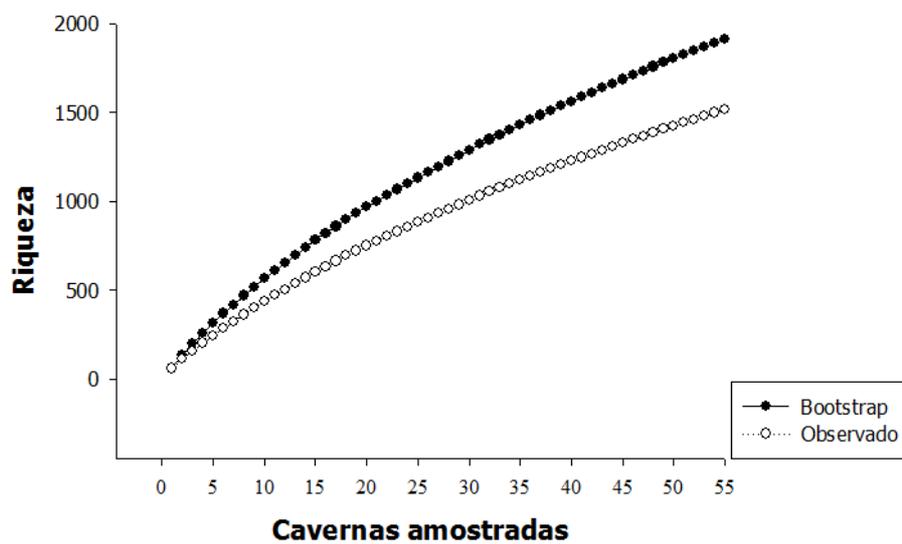
O índice de similaridade de Jaccard foi utilizado para comparar a fauna presente nas diferentes cavernas amostradas (Magurran, 2004). Para testar a influência dos parâmetros físicos na composição faunística das cavernas foi realizado o teste DistLM. Tal teste indica qual ou quais variáveis podem influenciar a composição faunística (McArdle e Anderson, 2001). O teste de Mantel foi utilizado para testar a relação da distância geográfica entre as cavernas e a similaridade faunística (Manly, 1984; Mantel, 1967). A análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), baseada no índice de Jaccard, foi utilizada para visualizar conjuntos de cavernas de acordo com a variável que mais explicasse a composição de espécies identificada no teste

DistLM ou pela distribuição geográfica das cavernas, caso o teste de Mantel fosse significativo. A análise one-way ANOSIM foi realizada para testar a significância da separação de possíveis grupos formados (Clarke, 1993).

## **RESULTADOS**

Foram registradas 1.515 espécies de invertebrados distribuídas em 48 táxons e pelo menos 181 famílias (Tabela 1). A riqueza média observada foi de 60 espécies (sd: 28.5). A gruta Lapa Nova, localizada no município de Vazante, apresentou a maior riqueza, seguida da Lapa da Vereda da Palha, localizada no município de Presidente Olegário. A Gruta V01, em Vazante, registrou a menor riqueza (Tabela 2). A riqueza estimada pelo Bootstrap correspondeu a 1.911 espécies, de modo que a riqueza observada correspondeu a 79% do estimado (Fig. 2).

Das 1.515 espécies registradas, 35 apresentaram características troglomórficas, estando distribuídas em 19 das 55 cavernas amostradas. Tais espécies compreenderam Araneae (oito espécies), Isopoda (seis espécies), Collembola (seis espécies), Polydesmida (cinco espécies), Crustacea (duas espécies), Acari, Hirudinea, Coleoptera, Opiliones, Palpigradi, Polyxenida, Pseudoscorpiones e Turbellaria (uma espécie cada). As cavernas com maior riqueza de troglomórficos foram a Gruta da Lagoa Rica, em Paracatu, com sete espécies e a Lapa Nova, em Vazante, com seis espécies.



**Figura 2:** Curva cumulativa de espécies e curva estimada de espécies (Bootstrap) para as 55 cavernas calcárias amostradas na região Noroeste de Minas Gerais, Brasil.

Tabela 1: Lista das cavernas estudadas nos municípios da região Noroeste de Minas Gerais, Brasil, no ano 2000 e entre os anos 2009 e 2011. Localização em UTM (X, Y, Z), presença de água (PA) (R: rios; P: poças/lagos; A: ausência), extensão das entradas em metros (EE), número de entradas (NE), desenvolvimento linear em metros (DL), número total de espécies (S), número de espécies troglomórficas (ST).

Município	Cavernas	X	Y	Z	PA	EE	NE	DL	S	ST
Arinos	Lapa da Camila	353310	8240506	23L	R	5	1	120	115	2
Arinos	Lapa da Capa	357713	8236358	23L	R	17	2	480	113	0
Arinos	Lapa da Marcela	354261	8240358	23L	R	125	3	400	94	0
Arinos	Lapa da Suindara	354162	8240098	23L	A	16.9	2	160	55	0
Arinos	Lapa do Salobo	369279	8287176	23L	P	6.8	2	40	50	2
Arinos	Lapa do Taquaril	369401	8295327	23L	R	5	1	150	78	1
Arinos	Lapa do Velho Juca	354106	8240266	23L	A	7.2	1	70	46	2
Cabeceira Grande	Gruta do Caidô	259885	8206642	23K	A	30	1	400	70	1
Cabeceira Grande	Gruta do Porco Espinho	257418	8206250	23K	A	4	1	17	35	0
Coromandel	Gruta do Huguinho	273798	7969566	23K	A	4	1	35	38	0
Coromandel	Gruta do Urubu	276790	7973029	23K	A	2	1	50	34	0
Coromandel	Gruta João do Pó	270428	7964257	23K	A	4	1	180	48	0
Coromandel	Gruta Ronan	271432	7966137	23K	A	10	1	1000	45	0
Coromandel	Gruta Ronan II	272224	7965517	23K	A	6.5	1	160	25	0
Coromandel	Lapa D'água	277643	7971930	23K	P	9	2	80	33	0
Coromandel	Lapa dos Morcegos	277644	7971934	23K	A	3	2	86	31	0
João Pinheiro	Gruta do Sapicado	350114	8015342	23K	A	1.5	1	20	26	0
João Pinheiro	Gruta Tauá	350312	8015352	23K	A	15.36	1	26	22	0
Lagamar	Gruta da Vendinha	304213	7995864	23K	A	7	2	300	73	0
Matutina	Gruta da Cachoeira	399044	7874960	23K	P	13.3	1	20	61	0
Matutina	Gruta Nove	399102	7874933	23K	A	1.6	1	7.85	48	0
Matutina	Lapa do Campo de Futebol	398585	7874853	23K	A	15	1	25	42	0

“continua...”

Tabela 1: Continuação.

<b>Município</b>	<b>Cavernas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>PA</b>	<b>EE</b>	<b>NE</b>	<b>DL</b>	<b>S</b>	<b>ST</b>
Paracatu	Gruta da Lagoa Rica	309267	8102836	23K	P	5	1	200	55	7
Paracatu	Gruta Tamanduá II	311508	8070394	23K	A	2	2	38	41	0
Paracatu	Lapa da Cava	297248	8132338	23K	A	3.3	1	38	48	0
Paracatu	Lapa da Santa Fé	297342	8133601	23K	A	21	1	78	30	0
Paracatu	Lapa do Brocotó	308134	8083657	23K	A	4.5	2	30	72	0
Paracatu	Lapa do Brocotó II	308165	8083812	23K	A	5	2	60	73	0
Paracatu	Lapinha de Santo Antônio	306536	8105656	23K	P	13.75	1	67	51	0
Presidente Olegário	Gruta da Caieira	385073	7974405	23K	A	22	1	200	61	0
Presidente Olegário	Gruta da Juruva	385747	7973888	23K	R	15	2	250	112	1
Presidente Olegário	Lapa da Vereda da Palha	380964	7981211	23K	R	14	2	250	119	1
Unai	Abriguinho	256233	8206485	23K	A	6.5	2	8	34	0
Unai	Barth Cave	279196	8183910	23K	A	14	1	160	47	1
Unai	Gruta Cachoeira do Queimado	251574	8205653	23K	A	52	1	160	57	2
Unai	Gruta da Encosta	255335	8206050	23K	A	2	1	40	52	0
Unai	Gruta da Mata dos Paulista	278976	8183510	23K	R	1.5	1	30	64	0
Unai	Gruta das Frangas	279221	8183417	23K	A	3	1	13	41	0
Unai	Gruta Deus Me Livre	279976	8182900	23K	A	9	2	50	106	0
Unai	Gruta do Rio Preto	259263	8205827	23K	A	4.6	2	38	56	2
Unai	Gruta Malhadinha	257965	8206112	23K	R	5	1	70	108	2
Unai	Lapa do Sapezal	297937	8141547	23K	P	15	1	130	71	0
Vazante	Abrigo da Escarpa	307964	8016869	23K	A	10	1	4	36	0
Vazante	Gruta da Escarpa	307911	8016928	23K	A	3	1	63.3	62	0
Vazante	Gruta das Urtigas	308192	8017657	23K	A	30	1	368.5	70	2
Vazante	Gruta dos Urubus	307785	8016598	23K	A	24	2	61.3	93	3

“continua...”

Tabela 1: Conclusão.

<b>Município</b>	<b>Cavernas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>PA</b>	<b>EE</b>	<b>NE</b>	<b>DL</b>	<b>S</b>	<b>ST</b>
Vazante	Gruta Não Cadastrada	308230	8017482	23K	A	2	1	18.4	49	1
Vazante	Gruta V01	306704	8017075	23K	A	2	1	5	15	0
Vazante	Gruta V02	306618	8017108	23K	A	1.5	1	10	37	2
Vazante	Lapa da Delza	298146	8010447	23K	P	4	1	1400	46	5
Vazante	Lapa da Mata Velha	299617	8007387	23K	P	7	2	160	61	0
Vazante	Lapa do Guardião Severino	300039	8010088	23K	A	15	2	50	47	0
Vazante	Lapa Nova	299765	8010652	23K	P	45	3	4000	155	6
Vazante	Lapa Nova II	299691	8010585	23K	A	4.5	2	600	55	3
Vazante	Sumidouro da Vaca Morta	306446	8016811	23K	A	7	1	16.1	72	0

Tabela 2: Táxons e famílias coletadas em 55 cavernas calcárias amostradas na região Noroeste de Minas Gerais. NI: não identificadas.

<b>Táxons</b>		<b>Famílias</b>
<b>Annelida</b>	<b>Oligochaeta</b>	NI
<b>Arachnida</b>	<b>Acari</b>	Ameroseiidae, Anoetidae, Anystidae, Argasidae, Bdellidae, Cheiletidae, Ixodidae, Laelapidae, Macrochelidae, Macronissidae, Melicharidae, Ologamasidae, Opilioacaridae, Otopheidomenidae, Parasitidae, Phthiracaridae, Podocinidae, Rhagidiidae, Teneriffidae, Veigaiidae.
	<b>Amblypygi</b>	Phrynidae
	<b>Araneae</b>	Actinopodidae, Araneidae, Caponiidae, Ctenidae, Deinopidae, Dictynidae, Dipluridae, Filistatidae, Gnaphosidae, Leiodidae, Nemesidae, Ochiroceratidae, Ochyroceratidae, Oonopidae, Palpimanidae, Pholcidae, Prodidomidae, Psauridae, Salticidae, Scytodidae, Segestriidae, Sicariidae, Sparassidae, Symphytognatidae, Tetrablemmidae, Tetragnathidae, Theraphosidae, Theridiidae, Theridiosomatidae, Trechaleidae, Uloboridae.
	<b>Opiliones</b>	Gonyleptidae, Escadabiidae.
	<b>Palpigradi</b>	Eukoeneriidae
	<b>Pseudoscorpiones</b>	Chernetidae, Chthoniidae, Garypidae.
	<b>Scorpiones</b>	Buthidae
<b>Cnidaria</b>	<b>Hydrozoa</b>	NI
<b>Crustacea</b>	<b>Amphipoda</b>	Dogiellinotidae
	<b>Isopoda</b>	Armadilidae, Dubioniscidae, Philosciidae, Platyarthridae, Porcelionidae, Styloniscidae.
	<b>Ostracoda</b>	NI
<b>Insecta</b>	<b>Archaeognatha</b>	Meinertellidae.

“continua...”

Tabela 2: Continuação.

<b>Táxons</b>	<b>Famílias</b>
<b>Blattodea</b>	Blaberidae, Blattellidae, Blattidae
<b>Coleoptera</b>	Bostrichidae, Carabidae, Cholevidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Dermestidae, Dryopidae, Elateridae, Elmidae, Endomichidae, Gyrinidae, Histeridae, Hydrophilidae, Lampyridae, Nitidulidae, Omophronidae, Pselaphidae, Ptiliidae, Ptylodactilidae, Scarabaeidae, Scarabeidae, Staphylinidae, Tenebrionidae.
<b>Collembola</b>	Arrhopalitidae, Dicyrtomidae, Hypogastruridae.
<b>Dermaptera</b>	Labiidae
<b>Diplura</b>	Japygidae
<b>Diptera</b>	Agromyzidae, Anthomyzidae, Asilidae, Calliphoridae, Cecidomyiidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Chloropidae, Culicidae, Dixidae, Dolichopodidae, Drosophilidae, Empididae, Keroplatidae, Lauxaniidae, Milichiidae, Muscidae, Mycetophilidae, Phoridae, Psychodidae, Sarcophagidae, Sciaridae, Simuliidae, Stratiomyidae, Stratiomyidae, Streblidae, Syrphidae, Tabanidae, Tipulidae.
<b>Ephemeroptera</b>	Euthyplociidae, Leptophlebiidae
<b>Hemiptera</b>	Belostomatidae, Cydnidae, Gelastocoridae, Gerridae, Hebridae, Naucoridae, Notonectidae, Ploiariidae, Reduviidae, Veliidae, Cicadellidae, Cixiidae, Thyreocoridae.
<b>Hymenoptera</b>	Apidae, Apoidea, Braconidea, Elpelmidae, Encyrtidae, Evaniidae, Formicidae, Halictidae, Ichneumonidae, Mutillidae, Pteromalidae, Vespidae.
<b>Isoptera</b>	Termitidae.
<b>Lepidoptera</b>	Arctiidae, Geometridae, Geometridae, Hesperidae, Noctuidae, Pyralidae, Satyridae, Tineidae.

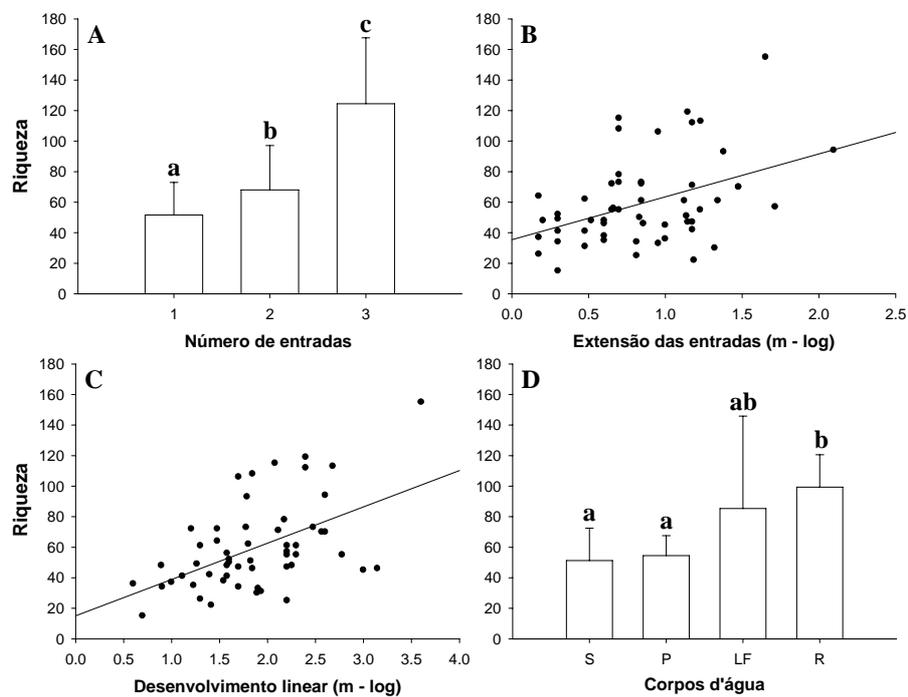
“continua...”

Tabela 2: Conclusão.

	<b>Táxons</b>	<b>Famílias</b>
	<b>Megaloptera</b>	Corydalidae
	<b>Neuroptera</b>	Ascalaphidae, Mantispidae, Myrmeleontidae.
	<b>Odonata</b>	Coenagrionidae, Libellulidae, Protoneuridae
	<b>Orthoptera</b>	Gryllidae, Phalangopsidae, Tettigoniidae.
	<b>Plecoptera</b>	Perlidae
	<b>Psocoptera</b>	Lepidopsocidae, Liposcelididae, Psyllipsocidae, Pyloneuridae.
	<b>Trichoptera</b>	Hydropsichidae, Leptoceridae
	<b>Zygentoma</b>	Lepidotrichidae, Lepismatidae, Nicoletiidae.
<b>Mollusca</b>	<b>Gastropoda</b>	NI
<b>Myriapoda</b>	<b>Geophylomorpha</b>	Geophilidae
	<b>Lithobiomorpha</b>	Lithobiidae
	<b>Polydesmida</b>	Chelodesmidae, Paradoxosomatidae.
	<b>Polyxenida</b>	Polyxenidae
	<b>Scolopendromorpha</b>	Scolopendridae
	<b>Scutigeromorpha</b>	Scutigeridae
	<b>Spirobolida</b>	Rhinocricidae
	<b>Spirostreptida</b>	Pseudonannolenidae.
	<b>Symphyla</b>	Scolopendrellidae, Scutigereleididae
<b>Nematoda</b>	<b>Nematoda</b>	NI
<b>Platyhelminthes</b>	<b>Temnocephalida</b>	NI
<b>Turbellaria</b>	<b>Turbellaria</b>	NI

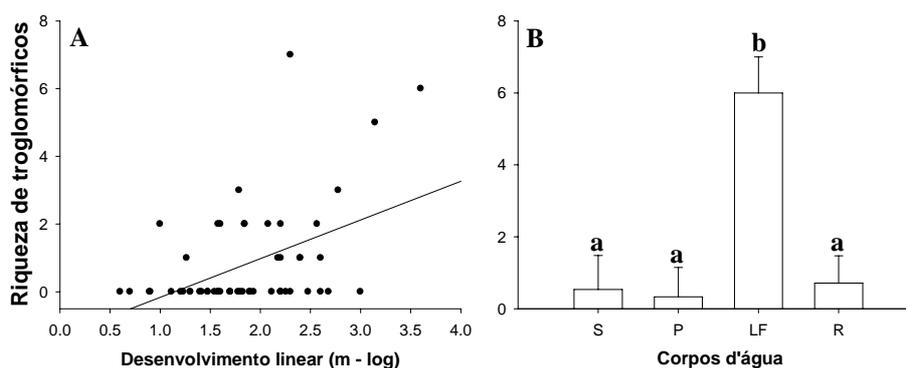
### Relações entre as métricas das cavernas, presença de água e riqueza

A riqueza total de espécies mostrou correlação positiva com o número de entradas (F: 15.31,  $p < 0.001$ ), extensão das entradas (F: 7.29,  $p: 0.009$ ), desenvolvimento linear (F: 15.27,  $p < 0.001$ ) e presença de corpos d'água nas cavernas (F: 9.66,  $p < 0.001$ ), sendo maior em cavernas com rios (Fig. 3).



**Figura 3:** Riqueza de espécies das cavernas calcárias amostradas no estado de Minas Gerais, Brasil, em relação ao número (A) e extensão das entradas (B), desenvolvimento linear (C) e presença de corpos d'água (D). A riqueza foi maior em cavernas com maior número e extensão de entradas, maior desenvolvimento linear e em cavernas com rios. Diferentes letras em A e D mostram diferenças significantes nas riquezas médias. S: cavernas secas, P: cavernas com poças temporárias, LF: cavernas com lençol freático, R: cavernas com rio perene.

A riqueza de espécies troglomórficas não variou significativamente entre as cavernas em relação ao número e extensão das entradas. No entanto, apresentou correlação positiva com o desenvolvimento linear (F: 24.96,  $p < 0.001$ ) e presença de corpos d'água (F: 34.06,  $p < 0.001$ ), sendo maior em cavernas com lençol freático (Figura 4).

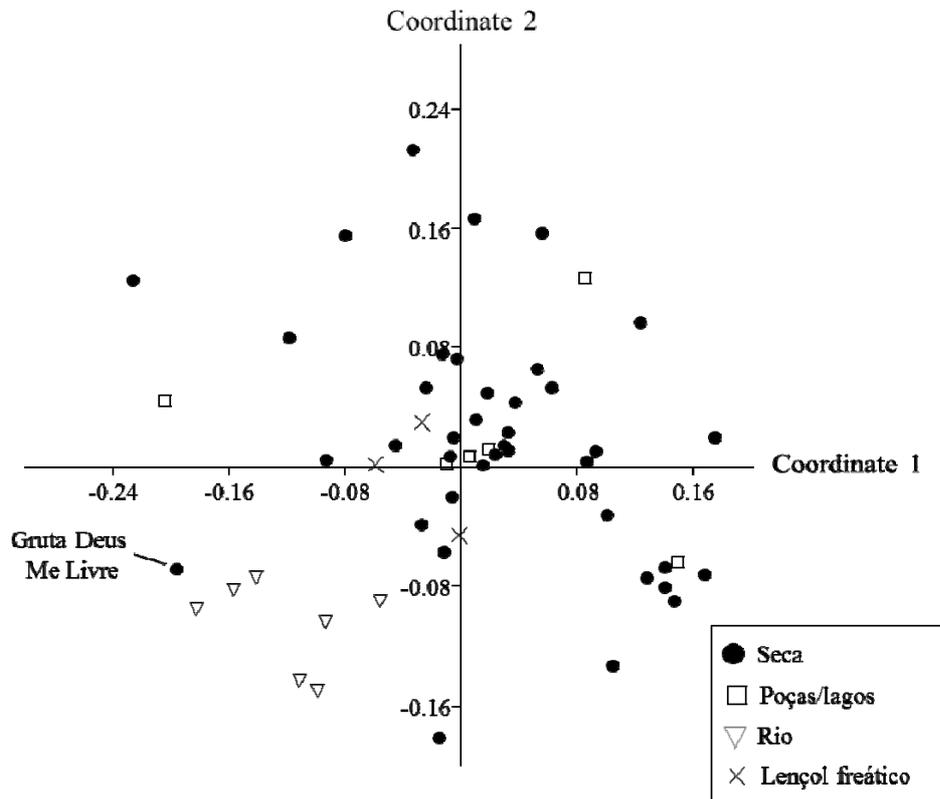


**Figura 4:** Riqueza de espécies troglomórficas das cavernas calcárias amostradas no estado de Minas Gerais, Brasil, em relação ao desenvolvimento linear (A) e presença de corpos d'água (B). A riqueza de espécies troglomórficas foi maior em cavernas com lençol freático e com maior desenvolvimento linear. Diferentes letras em B mostram diferenças significantes nas riquezas médias. S: cavernas secas, P: cavernas com poças temporárias, LF: cavernas com lençol freático, R: cavernas com rio perene.

### Composição de espécies

Não houve relação significativa entre a similaridade faunística e as distâncias entre as cavernas. A variável que significativamente mais explicou a composição de espécies das cavernas foi a presença de corpos d'água (Teste DistLM, Pseudo-F: 1.947,  $R^2$ : 0.017;  $p < 0.001$ ). A análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) mostrou que dentre as categorias de corpos d'água, cavernas que apresentam rios foram mais similares quanto à composição faunística (Fig. 5). Esta separação foi confirmada pela ANOSIM (one-way), que mostrou que cavernas com rios diferiram significativamente das cavernas secas ( $R$ : 0.478;  $p < 0.001$ ), com

poças (R: 0.675;  $p < 0.001$ ) e com lençol freático (R: 0.920;  $p: 0.009$ ), embora as três últimas não tenham sido significativamente diferentes.



**Figura 5:** Análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) baseada no índice de similaridade de Jaccard, mostrando a similaridade na composição de espécies de invertebrados das cavernas amostradas no estado de Minas Gerais, Brasil, em relação a presença de corpos d'água. (Stress: 0.18). A análise ANOSIM (one way) mostrou que as cavernas com rios foram significativamente dissimilares das demais cavernas. A figura destaca a Gruta Deus Me Livre, que apesar de ser seca, foi mais similar às cavernas com rios no interior.

## DISCUSSÃO

Pouco se conhece sobre os efeitos das características físicas das cavernas enquanto determinantes da estrutura e composição das comunidades cavernícolas. Desta forma, os resultados deste estudo mostram

os efeitos dos parâmetros métricos das cavernas e da presença de água sobre a riqueza e composição de espécies de invertebrados associados a cavernas calcárias no Brasil.

Quando comparamos a riqueza média encontrada no presente estudo com a registrada em estudos realizados em outras regiões do Brasil, a região Noroeste de Minas Gerais não pode ser considerada com elevada riqueza de espécies (Bento, 2011; Bernardi et al., 2012; Cordeiro, 2008; Ferreira, 2004; Ferreira e Horta, 2001; Ferreira et al., 2009; Ferreira et al., 2010; Santana et al., 2010; Souza, 2012; Souza-Silva e Ferreira, 2009; Souza-Silva et al., 2011b,c; Zampaulo, 2010; Zeppelini Filho et al., 2003; Fundação Estadual do Estado de São Paulo, 2010a,b,c,d). A riqueza média para as cavernas destes estudos é de 50 espécies (sd: 20). Apesar da média encontrada no presente estudo ser maior do que a média geral, ela está dentro do desvio padrão.

#### **Métricas das cavernas e a riqueza de espécies**

A relação entre o número e o tamanho das entradas com a riqueza total de espécies provavelmente decorre da maior facilidade de acesso das espécies epígeas ao ambiente cavernícola, por entradas maiores e mais numerosas (Ferreira, 2004; Souza-Silva, 2008). Cavernas com muitas entradas podem ter áreas maiores de interface com o sistema epígeo circundante, aumentando assim o estabelecimento de comunidades para-epígeas (Ferreira e Martins, 2001; Prous et al., 2004). É válido lembrar que a região tropical apresenta condições externas bem mais amenas que as observadas em regiões de clima temperado. Assim, as entradas de cavernas tropicais compreendem excelentes locais de abrigo e mesmo permanência para várias espécies (Prous et al., 2004), diferentemente do que ocorre em muitas cavernas temperadas, nas quais as entradas, especialmente no inverno, são quase tão severamente afetadas pelo frio quanto o ambiente externo. Por fim, é válido lembrar que cavernas com mais entradas são potencialmente capazes de receber maior quantidade de materiais orgânicos

do meio epígeo, aumentando a disponibilidade de recurso no interior das cavidades.

O aumento no desenvolvimento linear das cavernas relaciona-se tanto à riqueza total de espécies quanto à riqueza de espécies troglóbias (Culver et al., 2003; Culver et al., 2004; Ferreira, 2004, Souza-Silva, 2008). Cavernas maiores apresentam maior disponibilidade de habitats e recursos, fatores determinantes para a fauna subterrânea (Culver et al., 2006), permitindo que um número maior de espécies, bem como maiores populações, possam se estabelecer (Culver et al., 2004, Ferreira, 2004; Souza-Silva, 2008). Como exemplo, pode-se citar que cavernas maiores permitem que mais espécies e maiores populações de morcegos possam se estabelecer (Brunet e Medelin, 2001), aumentando a produtividade e produção de guano. Desta forma, se espera uma relação positiva entre o desenvolvimento linear, disponibilidade e variedade de habitats, disponibilidade de recurso e o número de espécies colonizando o ambiente.

#### **Rios e a riqueza de espécies nas cavernas**

Sistemas lóticos, além de aumentarem a umidade, importam matéria orgânica advinda do meio epígeo circundante para o interior das cavidades, proporcionando um importante recurso para a fauna (Poulson e Lavoie, 2001; Souza-Silva et al., 2011a). Assim, o aumento na riqueza de espécies em função da presença de rios pode decorrer da maior disponibilidade de recursos alimentares, especialmente em ambientes conhecidamente oligotróficos (Culver, 1982). Além disso, rios podem carrear espécies de serrapilheira que podem se estabelecer no interior das cavernas (Souza-Silva, 2012a).

Rios podem causar distúrbios nas cavernas, principalmente durante o período de chuva (inundações), ocasionando mudanças na comunidade. Estes distúrbios são comparáveis aos preditos pela *teoria do pulso de inundação* (Flood pulse concept), inicialmente proposta para planícies de inundação (Junk et al., 1989). Esta teoria prediz que o sistema responde em função da amplitude, duração, frequência, e regularidade dos pulsos, sendo

que pulsos regulares (que pode ser o caso de cavernas com rios) permitem aos organismos adaptarem-se às condições das zonas de transição aquático/terrestre. Além disso, pulsos regulares de inundação podem fazer com que não ocorram todos os estágios da sucessão ecológica, bem como a exclusão competitiva. Assim, apesar do *stress* causado pelos pulsos de inundação, cavernas com rios mantêm uma alta diversidade de espécies, semelhantemente ao que acontece em zonas de transição aquático/terrestre em planícies alagadas, fato que corrobora a hipótese do distúrbio intermediário (Connell, 1978). É importante ressaltar que regiões temperadas e tropicais irão responder ecologicamente de forma distinta aos pulsos de inundação e que a vazão do rio também é um fator determinante (Tockner et al., 2000).

#### **Espécies troglóbias: umidade vs disponibilidade de recursos**

As espécies troglóbias encontradas nas cavernas estudadas que possuem lençol freático são espécies terrestres. Invertebrados terrestres mais adaptados ao ambiente cavernícola apresentam especializações para viver em condições de elevada umidade, como, por exemplo, a redução cuticular, que aumenta a permeabilidade do tegumento (Culver, 1982). Se a permeabilidade da cutícula é aumentada, os troglóbios terrestres são sensíveis a baixos níveis de umidade, perdendo água rapidamente (Howarth, 1980). Desse modo, a maior riqueza de espécies troglóbias registrada para as cavernas com lençol freático, remete a uma nova questão: Se a presença de rios mantém a umidade elevada durante todo ano e aumenta a disponibilidade de recursos tróficos, por que essas cavernas não apresentam mais espécies troglóbias?

Rios, apesar de manterem a umidade elevada e aumentarem a disponibilidade de recursos (Souza-Silva et al., 2011a), podem causar distúrbios para os quais as espécies troglóbias podem ser mais sensíveis. Cavernas que sofrem com inundações violentas, usualmente não apresentam espécies troglóbias (Elliott, 2004). Desta forma, os pulsos de inundação podem ser mais severos para com espécies troglóbias, que não possuem

“estoques epígeos” de indivíduos que podem continuamente colonizar os sistemas subterrâneos, como ocorre com as espécies não troglóbias.

Além do distúrbio, a presença de rios pode aumentar a competição, uma vez que mais espécies estarão presentes. Assim, espécies troglóbias podem “evitar” esse tipo de caverna. Uma das principais adaptações fisiológicas dos troglóbios é a resistência à fome, sendo mais resistentes a ambientes oligotróficos do que outros animais (Huppopp, 2012). Em cavernas sem rios, com baixa disponibilidade de recursos, as espécies troglóbias mostram-se as mais especializadas, sendo, conseqüentemente as melhores competidoras.

Desta forma, principalmente em regiões tropicais, a presença de lençol freático mantendo a umidade elevada, pode ser mais importante do que a umidade e o recurso fornecido por rios, uma vez que não proporciona inundações violentas e não aumenta a competição.

#### **A influência de rios na composição de espécies: fauna de serrapilheira vs fauna cavernícola**

A presença de rios foi o fator que mais influenciou a estrutura das comunidades entre as cavernas. Esta influência pode ser explicada por três fatores: *i)* o recurso carregado é semelhante, *ii)* rios carregam grupos semelhantes de espécies de serrapilheira, e *iii)* os pulsos de inundações selecionam as mesmas espécies. Visualmente, a maioria da matéria orgânica importada para o interior das cavidades era composta por detritos vegetais (folhas e galhos). Recursos de origem semelhante são explorados por comunidades cavernícolas similares (Schneider et al., 2011). Os pulsos de inundação podem carrear espécies de serrapilheira juntamente com a matéria orgânica (Souza-Silva et al., 2012a), e somente aquelas tolerantes às inundações e ao ambiente cavernícola podem sobreviver, sendo as mesmas espécies selecionadas. Por exemplo, a gruta Deus Me Livre, município de Unai, apesar de seca durante a maior parte do ano, sofre pulsos de inundação ocasionados por enxurradas durante a estação chuvosa. Esta caverna foi mais similar às cavernas com rios (Fig. 5), mostrando que provavelmente os

pulsos de enxurradas selecionam as mesmas espécies que os pulsos de inundações provocados por rios.

Nas diferentes regiões brasileiras, a fauna de invertebrados de serrapilheira é composta principalmente de Formicidae, Coleoptera, Gastropoda, Oligochaeta, Isopoda, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Blattaria e Isoptera (Ferreira e Marques, 1998; Moreira et al., 2006), que são também os principais grupos encontrados em cavernas (Romero, 2009).

Diferentes espécies são encontradas em cavernas, desde aquelas acidentais até espécies que são restritas às cavernas (Sket, 2008). Porém, a separação desses grupos não é sempre tão simples, demandando um profundo conhecimento da biologia de cada grupo, bem como de sua presença (ou não) nos sistemas epígeos. Novak e colaboradores (2012), em um estudo sobre a distribuição das espécies no ambiente cavernícola, separaram os grupos apenas em duas categorias, troglóbios (estritamente cavernícolas) e não troglóbios (demais categorias), justamente pela dificuldade em separar as demais categorias.

Como citado anteriormente, existe grande similaridade entre os grupos de invertebrados de cavernas (especialmente as que apresentam rios) com os de serrapilheira na região tropical. Aliado a isto, existe a óbvia dificuldade em categorizar as espécies que são associadas às cavernas. Desta forma, como podemos efetivamente separar a fauna cavernícola da fauna de serrapilheira? Muitas espécies carreadas por rios junto com a matéria orgânica podem compreender grupos acidentais, embora um enorme elenco de espécies certamente se mostrem pré-adaptadas aos sistemas subterrâneos.

Sendo assim, mesmo que estes organismos possam utilizar a matéria orgânica carreada como abrigo e recurso alimentar (Souza-Silva et al., 2012a), somente com estudos mais detalhados e de longo prazo será possível diagnosticar qual é o grau de associação dessas espécies com o ambiente cavernícola.

#### **A fauna dependente do estado de conservação do meio externo**

As cavernas com elevada riqueza de espécies foram principalmente as que possuem rio e o entorno com remanescentes de florestas ainda bem preservados, como é o caso das cavernas de Arinos e Presidente Olegário (Tabela 1). Assim, é importante salientar a necessidade de preservação dos sistemas externos para manutenção de uma rica e diversificada fauna subterrânea.

Alterações no ambiente externo podem ocasionar sérios danos para as espécies cavernícolas. Por exemplo, a remoção da vegetação pode causar a extinção de espécies localmente endêmicas (Reboleira et al., 2011). Além disto, este tipo de alteração pode diminuir o aporte de recurso e alterar o habitat nas regiões das entradas, bem como diminuir a quantidade de matéria orgânica carregada para porções mais profundas das cavidades. Nas regiões de entrada existem populações de espécies para-epígeas que vivem em uma zona de transição entre o ambiente epígeo e hipógeo e que dependem do aporte de recurso para estas regiões (Prous et al., 2004).

Além da conservação do ambiente externo, é importante que os corpos d'água não sejam poluídos. Esta região possui como uma das principais fontes de renda a produção agropecuária. Estas práticas podem causar alterações na qualidade das águas, tanto superficiais, quanto subterrâneas, e, conseqüentemente, serem prejudiciais para populações cavernícolas (Neill et al., 2004).

## **CONCLUSÕES**

A riqueza total e de espécies troglomórficas e a composição faunística das cavernas foram influenciadas por parâmetros físicos das cavernas, corroborando a hipótese de que a estrutura física da caverna influencia a estrutura das comunidades de invertebrados associados a elas. Fatores como a presença de água, o desenvolvimento linear, número e tamanho de entradas, se relacionam com a fauna de invertebrados cavernícolas, aumentando a riqueza ou a similaridade faunística entre as cavernas.

Para as espécies troglóbias, a maior riqueza encontrada nas cavernas com lençol freático mostra que a umidade elevada durante todo o ano compreende um fator importante para a manutenção dessas espécies, e que a maior disponibilidade de recursos, ocasionada pela presença de rios, não é um fator determinante para esses organismos, que são adaptados às condições de oligotrofia (Huppopp, 2012). No entanto, estudos futuros deverão investigar a real influência da elevada umidade proporcionada pelo lençol freático, na presença de espécies troglóbias colonizando as cavernas. Confirmada essa importância, a exploração de lençol freático nessas regiões deve ser evitada para que essas espécies sejam protegidas.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro, projeto APQ-01854-09. Aos amigos do Grupo de Estudos em Ecologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras. A professora Carla e ao colega Nelson pelas sugestões. Ao Espeleológico Grupo de Brasília pelas informações sobre as cavernas da região.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bento, D.M., 2011, Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação [MA thesis]: Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 160 p.
- Bernardi, L.F.O., Pellegrini, T.G., Taylor, E.L.S., and Ferreira, R.L., 2012, Aspectos ecológicos de uma caverna granítica no sul de Minas Gerais: Espeleológico-Tema, v. 23, p. 2012.
- Brunet A.K., and Medelin, R.A., 2001, The species-area relationship in bat assemblages of tropical caves: *Journal of Mammology*, v. 82, p. 1114-1122.
- Cecav (Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas), 2010, Relatório Demonstrativo da situação atual das cavidades naturais subterrâneas por unidade da federação: Estado de Minas Gerais: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html> (accessed July 2012).

- Clarke, K.R., 1993, Non-parametric multivariate analyses of change in community structure: *Australian Journal of Ecology*, v. 18, p. 117-143.
- Connell, J.H., 1978, Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs: *Science*, v. 199, p. 1302-1310.
- Cordeiro, L.M., 2008, Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades [MA thesis]: Campo grande, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 119 p.
- Culver, D.C. and Wilkens, H., 2000, Critical review of relevant theories of the evolution of subterranean animals. *in* Wilkens, H, Culver, D.C., and Humphreys, W.F., eds., *Ecosystems of the World v. 30: Subterranean Ecosystems*: Amsterdam, Elsevier Press, p. 381-397.
- Culver, D.C., 1982, *Cave life: Evolution and Ecology*, Massachusetts and London, Harvard University Press, 189 p.
- Culver, D.C., Christman, M.C, Elliott, W.R., Hobbs, H.H., and Reddell, J.R., 2003, The North American obligate cave fauna: regional patterns: *Biodiversity and Conservation*, v. 12, p. 441-468.
- Culver, D.C., Christman, M.C, Šereg, I., Trontelj, P., and Sket, B., 2004, The Location of Terrestrial Species-Rich Caves in a Cave-Rich Area: *Subterranean Biology*, v. 2, p. 27-32.
- Culver, D.C., Deharveng, L., Bedos, A, Lewis, J.J., Madden, M., Reddell, J.R., Sket, B., Trontelj, P., and White, D., 2006, The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna: *Ecography*, v. 29, p. 120-128.
- De Waele, J., and Follesa, R., 2003, Human impact on karst: the example of Lusaka (Zambia): *International Journal of Speleology*, v.32, p. 71-83
- Derraik, J.G., Early, J.W., Closs, G.P., and Dickinson, K.J., 2010, Morphospecies and taxonomic species comparison for Hymenoptera: *Journal of Insect Science*, v. 10, p. 1-7. [dx.doi.org/10.1673/031.010.10801](https://doi.org/10.1673/031.010.10801)
- Derraik, J.G.B., Closs, G.P., Dickinson, K.J.M., Sirvid, P., Barratt, B.I.P., and Patrick, B.H., 2002, Arthropod Morphospecies versus Taxonomic Species: a Case Study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera: *Conservation Biology*, v. 16, p. 1015-1023.
- Dittmar, K., Porter, M.L., Price, L., Svenson, G., and Whitling, M.F., 2005, A Brief Survey of Invertebrates in Caves of Peninsular Malaysia: *Malayan Nature Journal*, v. 57, p. 221-233.
- Elliott, W.R., 2004, Protecting caves and cave life, *in* Culver, D.C., and White, W.B., eds., *Encyclopedia of caves*: San Diego, Elsevier Academic Press, p. 458-467.

- 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, 158p.
- 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, p. 7-17.
- Ferreira, R.L., and Marques, M.M.G.S.M., 1998, A Fauna de Artrópodes de Serrapilheira de Áreas de Monocultura com *Eucalyptus* sp. e Mata Secundária Heterogênea: *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 27, p. 395-403.
- Ferreira, R.L., and Martins, R.P., 1999, Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves: *Tropical Zoology*, v. 12p. 231-252.
- Ferreira, R.L., and Martins, R.P., 2001, Cavernas em risco de 'extinção': *Ciência Hoje*, v. 29, p. 20-28.
- Ferreira, R.L., Bernardi, L.F.O., and Souza-Silva, M., 2009, Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): Subsídios para o turismo nestas cavidades: *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 9, p. 41-58.
- Ferreira, R.L., Prous, X., and Martins, R.P., 2007, Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave: *Tropical Zoology*, v.20, p. 55-74.
- Ferreira, R.L., Prous, X., Bernardi, L.F.O., and Souza-Silva, M., 2010, Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos: *Revista Brasileira de Espeleologia*, v.1, p. 25-51.
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010a, Plano de manejo espeleológico: Caverna do Diabo: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (accessed November 2012).
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010b, Plano de manejo espeleológico: Gruta da Capelinha: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (accessed November 2012).
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010c, Plano de manejo espeleológico: Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR): <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (accessed November 2012).

- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010d, Plano de manejo espeleológico: Parque Estadual Intervalas: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (accessed November 2012).
- Herrera, F.F., 1995, Las comunidades de artropodos del guano del guácharos em la cueva del Guácharo, Venezuela: Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología, v. 29, p. 39-46.
- Howarth, F.G., 1980, The zoogeography of specialized cave animals: a bioclimatic model: *Evolution*, v. 28, p. 365-89.
- Hoppop, K., 2012, Adaptation to low food, *in* White, W.B., and Culver, D.C., eds, *Encyclopedia of Caves*, 2nd edition: New York, Academic Press, p. 1-9.
- Junk, W.J., Bayley, P.B., and Sparks, R.E., 1989, The Flood pulse concept in river-floodplain systems: *Canadian Special Publications Fisheries Aquatic Sciences*, v. 106, p. 110-127.
- Magurran, A.E., 2004, *Measuring biological diversity*: New York, Blackwell Science Ltd, 256 p.
- Manly, B.F.J., 1986, Randomization and regression methods for testing for associations with geographical, environmental and biological distances between populations: *Researches on Population Ecology*, v. 28, p. 201-218.
- Mantel, N., 1967, The detection of disease clustering and a generalized regression approach: *Cancer Research*, v. 27, p. 209-220.
- 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.
- Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., and Brussaard, L., 2006, *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*: Cambridge, CABI Publishing, 304 p.
- Neill, H., Gutiérrez, M., and Aley, T., 2004, Influences of agricultural practices on water quality of Tumbling Creek cave stream in Taney County, Missouri: *Environmental Geology*, v. 45, p. 550-559.
- Novak, T., Perc, M., Lipovšek, S., and Janžekovič, F., 2012, Duality of terrestrial subterranean fauna: *International Journal of Speleology*, v. 41, p. 181-188.
- Oliver, I., and Beattie, A.J., 1996, Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study: *Conservation Biology*, v. 1, p. 99-109.
- Poulson, T.L., and Lavoie, K.H., 2001, The trophic basis of subsurface ecosystems, *in* Wilkens, H., Culver, D.C., and Humphreys, W.F., eds.,

- Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems: New York, Elsevier, p. 231-250.
- Prous, X., Ferreira, R.L., and Martins, R.P., 2004, Ecótono delimitation: epigeo-hypogeo transition in cave ecosystems: *Austral Ecology*, v. 29, p. 374-382.
- Reboleira A.S., Borges P.A.V., Gonçalves, F., Serrano A.R.M., and Oromí, P., 2011, The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region - Portugal: an overview and its conservation: *International Journal of Speleology*, v. 40, p. 23-37.
- Romero, A., 2009, *Cave Biology: Life in Darkness*: New York, Cambridge University Press, 306 p.
- Santana, M.E.V., Souto, L.S., and Dantas, M.A.T., 2010, Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias - Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem: *Scientia Plena*, v. 6, p. 1-8.
- 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, p. 765-776.
- Simon, K.S., Benfield, E.F., and Macko, S.A., 2003, Food web structure and the role of epilithic films in cave streams: *Ecology*, v. 9, p. 2395-2406.
- Sket, B., 2008, Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?: *Journal of Natural History*, v. 42, p. 1549-1563.
- Smith, E.P., and Belle, G., 1984, Nonparametric estimation of species richness: *Biometrics*, v. 40, p. 119-129.
- Souza, M.F.V.R., 2012, Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas [MA thesis]: Lavras, Universidade Federal de Lavras, 149 p.
- Souza-Silva, M., 2008, Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira [Ph.D. thesis]: Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 211 p.
- Souza-Silva, M., and 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*, v. 9, p. 59-71.
- Souza-Silva, M., Bernardi, L.F.O., Martins, R.P., and Ferreira, R.L., 2012, Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave: *Acta Carsologica*, v.41, p. 139-150.

- Souza-Silva, M., Martins, R.P., and Ferreira, R.L., 2011a, Trophic Dynamics in a Neotropical Limestone Cave: *Subterranean Biology*, v.9, p. 127-138.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P., and Ferreira, R.L., 2011b, Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest: *Biodiversity Conservation*, v. 20, p. 1713-1729.
- Souza-Silva, M., Nicolau, J.C., and Ferreira, R.L., 2011c, Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG: *Espeleo-Tema*, v. 22, p. 79-91.
- Tockner, K., Malard, F., and Ward, J.V., 2000, An extension of the food pulse concept: *Hydrological Processes*, v.14, p. 2861-2883.
- Ward, D.F., and Stanley, M.C., 2004, The value of RTUs and parataxonomy versus taxonomic species: *New Zealand Entomologist*, v. 27, p. 3-9.
- Watson, J., Hamilton-Smith, E., Gillieson, D., and Kiernan, K., 1997, Guidelines for cave and karst protection: Gland, Switzerland and Cambridge, IUCN - The World Conservation Commission, 63 p.
- Weinstein, P., and Slaney, D., 1995, Invertebrate faunal survey of Rope Ladder cave, Northern Queensland: a comparative study of sampling methods: *Journal fo Australian Entomological Society*, v. 34, p. 233-236.
- Zampaulo, R.A., 2010, Diversidade de invertebrados na província espeleológica de Arcos, Pains, Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação [MA thesis]: Lavras, Universidade Federal de Lavras, 190 p.
- Zeppelini Filho, 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, p. 93-99.

**ARTIGO 2**

INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS DO NOROESTE DE MINAS  
GERAIS: ENDEMISMOS, AMEAÇAS E PRIORIDADES DE  
CONSERVAÇÃO

Artigo redigido conforme as normas da revista científica “*Acta  
Carsologica*”, ISSN 0583-6050 (versão preliminar)

## RESUMO

Devido ao alto valor econômico, áreas cársticas e cavernas vêm sendo impactadas há décadas no Brasil. Assim, tais sistemas vêm recebendo atenção de gestores, órgãos ambientais e pesquisadores, principalmente nos últimos anos. O presente estudo levantou informações da fauna de invertebrados cavernícolas da região Noroeste de Minas Gerais, Brasil, tais como riqueza de espécies e endemismos, além dos impactos e ameaças incidentes sobre estes ambientes, identificando cavernas e áreas mais vulneráveis e propondo ações de conservação. Três cavernas foram identificadas como prioritárias para conservação: Gruta da Lagoa Rica em Paracatu, e Lapa Nova e Lapa da Delza em Vazante. Outras três áreas foram consideradas como carentes de ações para conservação: regiões de Arinos, Paracatu e Cabeceira Grande/Unaí. A principal ameaça encontrada na região foi a conversão de florestas em pastagens para criação de gado, registrada no entorno de 85% das cavernas. As principais recomendações foram a recuperação do entorno, conscientização da sociedade e inventários bioespeleológicos em outras cavernas da região. As cavernas estudadas foram muito heterogêneas, apresentando características únicas. Assim, recomenda-se sempre o estudo do maior número de cavernas possível da região de interesse, para subsidiar planos e ação de conservação da fauna cavernícola.

**Palavras-chave:** conservação, cavernas, invertebrados, endemismos.

## INTRODUÇÃO

Cavernas são habitats para várias espécies, que as utilizam para as mais diversas finalidades (Culver & Pipan 2009). Os troglóbios, espécies estritamente cavernícolas, se destacam em função das frequentes modificações evolutivas de caráter morfológico, fisiológico e comportamental que as tornaram altamente especializadas a viver nestes ambientes (Culver & Wilkens 2000). Assim, cavernas são locais de grande importância para o estudo de processos evolutivos moldados pelas pressões seletivas típicas destes ambientes, como ausência permanente de luz, escassez de recursos alimentares, elevada umidade, temperaturas constantes, dentre outras (Culver & Pipan 2009).

Muitas espécies troglóbias ocorrem em uma única caverna ou um pequeno grupo de cavernas. Uma vez que estes ambientes têm sido bastante alterados, especialmente nas últimas décadas, é possível que muitas espécies tenham desaparecido sem sequer terem sido descritas (Elliott 2000). Além disso, cavernas são importantes para a manutenção dos ecossistemas onde estão inseridas, já que muitas vezes possuem drenagens que abastecem a superfície e são abrigos de espécies que prestam reconhecidos serviços ecológicos ao ecossistema externo, como por exemplo, os morcegos (Elliott 2000).

Embora a importância dos habitats subterrâneos seja evidente, cavernas têm sido ameaçadas ao longo dos anos por intervenções antrópicas (Watson *et al.* 1997). Estas intervenções vêm resultando em efeitos negativos, tais como a poluição e redução de recursos hídricos, mudanças no regime hidrológico, alterações nos habitats, declínio nas populações de espécies locais, dentre outros (Gillieson & Thurgate 1999; Parise & Pascali 2003; De Waele & Follesa 2003; Neill *et al.* 2004; Van Beynen *et al.* 2007). Diante destas ameaças, áreas cársticas e cavernas vêm recebendo atenção de gestores, órgãos ambientais e pesquisadores, principalmente nas últimas décadas, devido à grande importância dessas áreas tanto para ciência (geologia, paleontologia, arqueologia e biologia), quanto pelos valores

humanos (espiritual, religioso, estético, recreativo e educacional) (Watson *et al.* 1997).

Devido à importância socioeconômica de áreas cársticas e ao aumento do consumo de bens e produtos naturais é improvável que algumas cavernas não venham a ser impactadas, mesmo aquelas que apresentem espécies raras (Gibert & Deharveng 2002). Assim, reconhecer locais com prioridade para conservação é um passo importante para a criação de áreas preservadas e manutenção da biodiversidade subterrânea.

No Brasil, estudos com o objetivo de propor áreas que necessitem de ações emergenciais para a conservação da fauna subterrânea têm sido realizados, especialmente nos últimos anos (Souza-Silva 2008; Zampaulo 2010; Bento 2011; Souza 2012). Tais estudos baseiam-se principalmente em três aspectos: (I) presença de espécies troglóbias, consideradas relevantes em função do “status evolutivo”, insuficiência de conhecimento, distribuição restrita e fragilidade frente a eventos casuais de alteração de seus habitats (Culver & Wilkens 2000; Culver & Pipan 2009), (II) a riqueza de espécies, por possibilitar processos e interações ecológicas complexas (Ferreira 2004) e (III) o estado de conservação do entorno e interior das cavidades, o qual pode mostrar o grau de impacto e as ameaças impostas à fauna (Souza-Silva 2008).

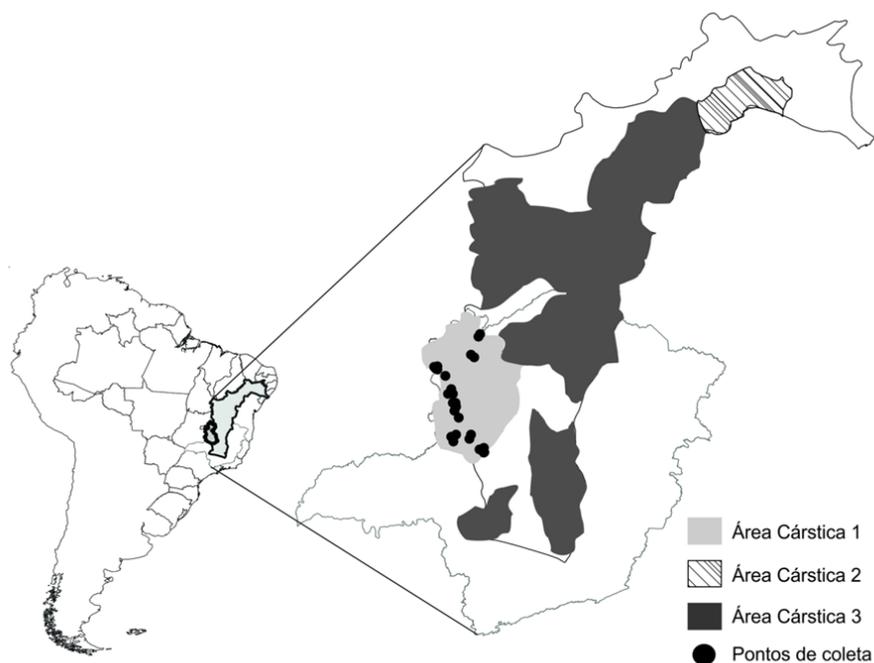
Recentemente foi publicado o Plano de Ação Nacional (PAN) para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do Rio São Francisco (Cavalcanti *et al.* 2012), terceira maior bacia hidrográfica e uma das mais importantes do Brasil. Dentre as três regiões cársticas de abrangência do PAN, a região I, localizada no Médio São Francisco (regiões cársticas do Grupo Paranoá, Grupo Bambuí e Formação Vazante), pode ser considerada a mais escassa de estudos relacionados à fauna cavernícola. Os poucos trabalhos referentes à fauna subterrânea foram feitos somente em uma caverna, Lapa Nova, localizada no município de Vazante, estado de Minas Gerais (Pellegrini & Ferreira 2012a,b; Souza & Ferreira 2012). Assim, o presente estudo levantou informações da fauna de invertebrados

cavernícolas, tais como riqueza de espécies e endemismos, e os impactos e as ameaças incidentes no ambiente, identificando cavernas e áreas mais vulneráveis e propondo ações de conservação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi conduzido em 47 cavernas distribuídas em oito municípios da região Noroeste de Minas Gerais, Brasil. As cavernas estão inseridas na região I do Plano de Ação Nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do Rio São Francisco (Cavalcanti *et al.* 2012) (Fig. 1).



**Figura 1:** Mapa da América do Sul destacando o Brasil, a bacia hidrográfica do Rio São Francisco, e o estado de Minas Gerais. Dentro da bacia do São Francisco são destacadas as três regiões cársticas inseridas no PAN Cavernas do São Francisco. As cavernas do presente estudo estão distribuídas por nove municípios da região Noroeste de Minas Gerais, pertencentes à área cárstica I do PAN Cavernas do São Francisco.

### **Amostragem de invertebrados**

A coleta de invertebrados foi realizada por meio de busca ativa por toda a cavidade com o auxílio de pinças, pincéis e redes de mão. Durante as coletas, foram priorizados depósitos orgânicos (depósitos vegetais, carcaças, guano etc.) e micro-habitats (sob pedras, solo úmido, frestas, espeleotemas etc.). Todos os espécimes coletados foram acondicionados em potes com álcool 70%. Ressalta-se que a equipe de coleta foi sempre composta por quatro biólogos com experiência em espeleologia e coleta manual de invertebrados em cavernas, como recomendado por Weinstein & Slaney (1995).

Todos os organismos foram identificados até o melhor nível taxonômico acessível e separados em morfo-espécies, assim como em outros trabalhos (Souza-Silva 2011b; Oliver & Beattie 1996; Derraik *et al.* 2002; Ward & Stanley 2004; Derraik *et al.* 2010). Todos os espécimes encontram-se depositados na coleção de invertebrados subterrâneos de Lavras (ISLA), da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A identificação, nos espécimes, de características denominadas “troglomorfismos”, foi utilizada para classificação de espécies potencialmente troglóbias. Tais características variam entre os grupos, mas frequentemente são representadas pela redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares e alongamento de apêndices (Culver & Wilkens 2000).

### **Ferramentas de valoração das cavernas**

A definição das áreas prioritárias para a conservação foi baseada na sobreposição da *relevância biológica*, *presença de espécies troglóbias* e *grau de impactos* nas cavernas conforme descrito a seguir (modificado de Souza-Silva 2008).

#### Relevância biológica

As categorias de relevância biológica foram definidas como extrema, alta, média e baixa, baseadas na riqueza de espécies total e relativa. A riqueza relativa de espécies em cada caverna foi calculada por meio da razão

entre a riqueza total, a projeção horizontal da caverna e extensão da entrada (Souza-Silva 2008).

O maior valor obtido para a riqueza e riqueza relativa foi dividido por quatro. Assim, obtiveram-se quatro categorias de riqueza total e relativa (extrema, alta, média e baixa) com intervalos de número de espécies.

Para a categorização da relevância biológica das cavernas foram atribuídos pesos às categorias de riqueza total e relativa. Cavernas com riqueza total extrema receberam peso 8; riqueza total alta peso 6; riqueza total média peso 4 e riqueza total baixa peso 2. Cavernas com riqueza relativa extrema receberam peso 4; riqueza relativa alta peso 3, riqueza relativa média peso 2 e riqueza relativa baixa peso 1.

Definiu-se que a riqueza total deveria receber o dobro de peso da riqueza relativa em função da importância real e direta do número absoluto de espécies, enquanto parâmetro de preservação de um dado sistema. Caso fosse utilizada somente a riqueza relativa, correr-se-ia o risco de preservar cavernas reduzidas, mas com um número relativamente alto de espécies em detrimento de cavernas extensas e com elevada riqueza absoluta (Souza-Silva 2008).

A relevância biológica para cada caverna foi determinada por meio da somatória dos pesos da riqueza total e relativa para cada caverna. A maior relevância biológica serviu de base para a inclusão das cavernas nas categorias de extrema, alta, média e baixa relevância biológica final. Cavernas com relevância biológica *extrema* receberam peso 4; *alta* relevância biológica final receberam peso 3, *média* relevância biológica final receberam peso 2 e *baixa* relevância biológica final receberam peso 1.

#### Categorias de espécies troglomórficas

A maior riqueza de espécies troglomórficas encontrada serviu de base para classificação das cavernas como de extrema (peso 4), alta (peso 3), média (peso 2) e baixa (peso 1) riqueza de espécies troglomórficas.

### Caracterização impactos existentes

Impactos ambientais foram definidos para cada caverna em função da presença ou ausência de alterações no ambiente interno e externo das mesmas. As alterações levantadas foram categorizadas em relação a *usos e impactos*. Atividades turísticas e religiosas foram consideradas usos, sendo impactos o pisoteio, iluminação, e as alterações consequentes destas atividades.

A partir da identificação dos impactos nas cavernas procedeu-se a uma segunda análise concernente à magnitude destes impactos que podem causar alterações nas comunidades. Tal análise considerou desde impactos que poderiam causar alterações mínimas àqueles que afetariam consideravelmente a fauna cavernícola.

Na definição dos impactos foram considerados três tipos de modificações (depleção, enriquecimento e alteração). O primeiro tipo de modificação é aquele que pode levar à depleção, ou seja, a redução de recursos tróficos ou da fauna em função das atividades antrópicas e o segundo as alterações que levam ao enriquecimento na disponibilidade de recursos orgânicos para a fauna. O terceiro tipo é aquele que modifica, no espaço e no tempo, a estrutura física de habitats ou microhabitats nas cavernas, chamados de impactos de alteração. Ressalta-se que o mesmo impacto pode levar a mais de um tipo destas três modificações.

Para atribuição dos pesos os impactos foram classificados de acordo com o potencial em intensos (potencialmente causador de alterações intensas sobre a fauna - peso 2) ou tênues (potencialmente causador de alterações reduzidas sobre a fauna - peso 1). Uma segunda classificação adicionada à análise dos impactos diz respeito à permanência dos mesmos. A permanência refere-se ao período de tempo de persistência do impacto. Desta forma, os impactos foram considerados de curta duração (peso 1) ou contínuos (peso 3). Optou-se pela atribuição de peso três vezes maior para impactos contínuos pelo fato de que a continuidade dos impactos pode causar danos bem maiores do que aqueles de curta duração. A última

classificação de impactos refere-se à abrangência do impacto. Impactos pontuais receberam peso 1, enquanto aqueles que ocorrem em uma grande extensão (impactos sistêmicos) receberam peso 2. Os impactos que apresentaram mais de uma das três alterações (depleção, enriquecimento ou alteração) tiveram os pesos da intensidade somados.

A tabela 1 mostra alguns exemplos de impactos e os pesos atribuídos para cada um deles. Ressalta-se que o peso final pode variar entre as cavernas, uma vez que, o mesmo impacto pode apresentar intensidade, permanência e abrangência diferentes para cada caverna.

A categorização das cavernas quanto ao grau de impactos foi realizada a partir da soma dos pontos obtidos em cada caverna. A maior somatória de impactos serviu de base para a separação das cavernas quanto ao grau de impactos em extremo (peso 4), alto (peso 3), médio (peso 2) e baixo (peso 1).

#### **Vulnerabilidade e proposta de cavernas prioritárias para a conservação**

O grau de vulnerabilidade das comunidades de invertebrados de cada caverna foi obtido a partir da soma dos pesos da relevância biológica final, riqueza de espécies troglomórficas e dos impactos presentes em cada caverna. O maior valor de vulnerabilidade foi utilizado para a inclusão das cavernas nas categorias de vulnerabilidade extrema, alta, média e baixa.

Foram consideradas como cavernas prioritárias para conservação, aquelas classificadas como de extrema vulnerabilidade. Regiões com cavernas com alta vulnerabilidade foram destacadas como áreas de prioridade secundária e que necessitam de alguma ação para conservação.

Tabela 1: Valoração dos impactos para as cavernas da região Noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil, estudadas entre 2009 e 2011. Os impactos foram classificados de acordo com as modificações que podem levar a depleção, enriquecimento ou alteração nos habitats, recursos ou na fauna das cavernas e analisados quanto ao potencial, permanência e abrangência. I: intenso; T: tênue; DC: duração contínua; CD: curta duração; IG: impacto geral; IL: impacto localizado; P: peso dos impactos; PFI: peso final dos impactos ( $= \Sigma P_{\text{potencial}} + \Sigma P_{\text{permanência}} + \Sigma P_{\text{extensão}}$ ); \*: impactos no interior das cavernas (Modificada de Souza-Silva, 2008).

<b>Impactos</b>	<b>Modificações</b>	<b>Potencial</b>	<b>P</b>	<b>Permanência</b>	<b>P</b>	<b>Abrangência</b>	<b>P</b>	<b>PFI</b>
Mineração	Depleção+alteração	I	2 + 2	DC	3	IG	2	9
Lixo/entulho	Enriquecimento+alteração	I	2+2	DC	3	IG	2	9
Solo desnudo	Alteração	I	2	DC	3	IL	1	6
Estrada	Alteração	T	1	DC	3	IL	1	5
Trilha	Alteração	T	1	DC	1	IL	1	3
Processos erosivos	Alteração	I	2	DC	3	IL	1	6
Assoreamento	Alteração	I	2	DC	3	IL	1	6
Área de queimada	Alteração	I	2	CD	1	IL	1	4
Corte seletivo de madeira	Alteração	T	1	DC	1	IL	1	3
Desmatamento	Depleção	T	1	CD	1	IG	2	4
Impermeabilização do solo	Alteração	I	2	DC	3	IL	1	6
Pecuária	Alteração	T	1	DC	3	IL	1	5
*Depredação de espeleotemas	Alteração	T	1	DC	1	IL	1	3
*Rejeitos de mineração	Depleção+alteração	I	2 + 2	DC	3	IG	2	9
*Assoreamento da drenagem	Depleção+alteração	I	2	DC	3	IL	1	6
*Lixo no interior	Alteração	I	2	DC	3	IG	2	7
*Pichações	Alteração	T	1	CD	1	IL	1	3
*Pisoteamento	Alteração	I	2	DC	3	IG	2	7
*Construções	Alteração	I	2	CD	1	IL	1	4
*Fogueiras	Alteração	T	1	DC	1	IL	1	3
*Queima de pneu	Depleção+alteração	I	2 + 2	DC	1	IL	1	6

## RESULTADOS

Foi registrado um total de 1348 espécies distribuídas em pelos menos 170 famílias de invertebrados. A riqueza média foi de 63 ( $\pm 29$ ) espécies. A caverna Lapa Nova apresentou a maior riqueza (155 espécies) e a Gruta V01 apresentou a menor riqueza de espécies (15 espécies) (Tab. 2).

Dentre as 47 cavernas, 4.26% foram classificadas como de riqueza total extrema (117 a 155 espécies), 19.15% como alta (78 a 116 espécies), 59.57% como média (39 a 77 espécies) e 17.02% como baixa (menor que 39 espécies) (Tab. 2). A maior riqueza relativa registrada foi na Gruta Nove (3.822) e a menor na Lapa Nova (0.001). Assim, 2.13% das cavernas apresentaram extrema (2.868 a 3.822), 2.13% alta (1.913 a 2.867), 8.51% média (0.956 a 1.912) e 87.23% baixa riqueza relativa (menor que 0.956) (Tab. 2).

A maior somatória obtida por meio dos pesos atribuídos às cavernas a partir das classificações quanto às riquezas total e relativa foi nove. Assim, 25.53% das cavernas foram classificadas como de extrema (7 a 9), 57.45% como de alta (5 ou 6) e 17.02% como de média (3 ou 4) relevância biológica (Tab. 2). Nenhuma caverna apresentou baixa relevância biológica.

Foram registradas 35 espécies com características troglomórficas distribuídas em 19 cavernas, todas com pelo menos uma espécie endêmica, representando 80% de espécies endêmicas a uma única cavidade (Fig. 2). As cavernas com maior riqueza de espécies troglomórficas foram a Gruta da Lagoa Rica, em Paracatu, com sete espécies e a Lapa Nova, em Vazante, com seis espécies. Assim, 4.26% das cavernas foram classificadas como de extrema (6 ou 7 espécies), 2.13% de alta (4 ou 5 espécies), 21.28% de média (2 ou 3 espécies) e 72.34% de baixa riqueza de espécies troglomórficas (0 ou 1 espécies) (Tab. 2).

Tabela 2: Lista das cavernas estudadas nos municípios da região Noroeste de Minas Gerais, Brasil, nos anos 2009, 2010 e 2011. Localização em UTM (X, Y, Z), número total de espécies (S), classificação quanto ao número total de espécies (SC), riqueza relativa (RR), classificação quanto à riqueza relativa (RRC), relevância biológica (RB), riqueza de espécies troglomórficas (RT), classificação quanto à riqueza de espécies troglomórficas (RTC), graus de impactos (GI), vulnerabilidade (V), extrema (E), alta (A), média (M) e baixa (B).

<b>Município</b>	<b>Cavernas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>S</b>	<b>SC</b>	<b>RR</b>	<b>RRC</b>	<b>RB</b>	<b>RT</b>	<b>RTC</b>	<b>GI</b>	<b>V</b>
Arinos	Lapa da Camila	353310	8240506	23L	115	A	0.192	B	E	2	M	B	A
Arinos	Lapa da Capa	357713	8236358	23L	113	A	0.014	B	E	0	B	B	A
Arinos	Lapa da Marcela	354261	8240358	23L	94	A	0.002	B	E	0	B	M	A
Arinos	Lapa da Suindara	354162	8240098	23L	55	M	0.021	B	A	0	B	M	A
Arinos	Lapa do Salobo	369279	8287176	23L	50	M	0.188	B	A	2	M	M	A
Arinos	Lapa do Taquaril	369401	8295327	23L	78	A	0.104	B	E	1	B	B	A
Arinos	Lapa do Velho Juca	354106	8240266	23L	46	M	0.093	B	A	3	M	M	A
Cabeceira Grande	Gruta do Caidô	259885	8206642	23K	70	M	0.006	B	A	1	B	M	A
Cabeceira Grande	Gruta do Porco Espinho	257418	8206250	23K	35	B	0.529	B	M	0	B	B	M
João Pinheiro	Gruta do Sapecado	350114	8015342	23K	26	B	0.867	B	M	0	B	B	M
João Pinheiro	Gruta Tauá	350312	8015352	23K	22	B	0.055	B	M	0	B	B	M
Matutina	Gruta da Cachoeira	399044	7874960	23K	61	M	0.229	B	A	0	B	M	A
Matutina	Gruta Nove	399102	7874933	23K	48	M	3.822	E	E	0	B	A	A
Matutina	Lapa do Campo de Futebol	398585	7874853	23K	42	M	0.112	B	A	0	B	E	A
Paracatu	Gruta da Lagoa Rica	309267	8102836	23K	55	M	0.055	B	A	7	E	A	E
Paracatu	Gruta Tamanduá II	311508	8070394	23K	41	M	0.539	B	A	0	B	M	A

“continua...”

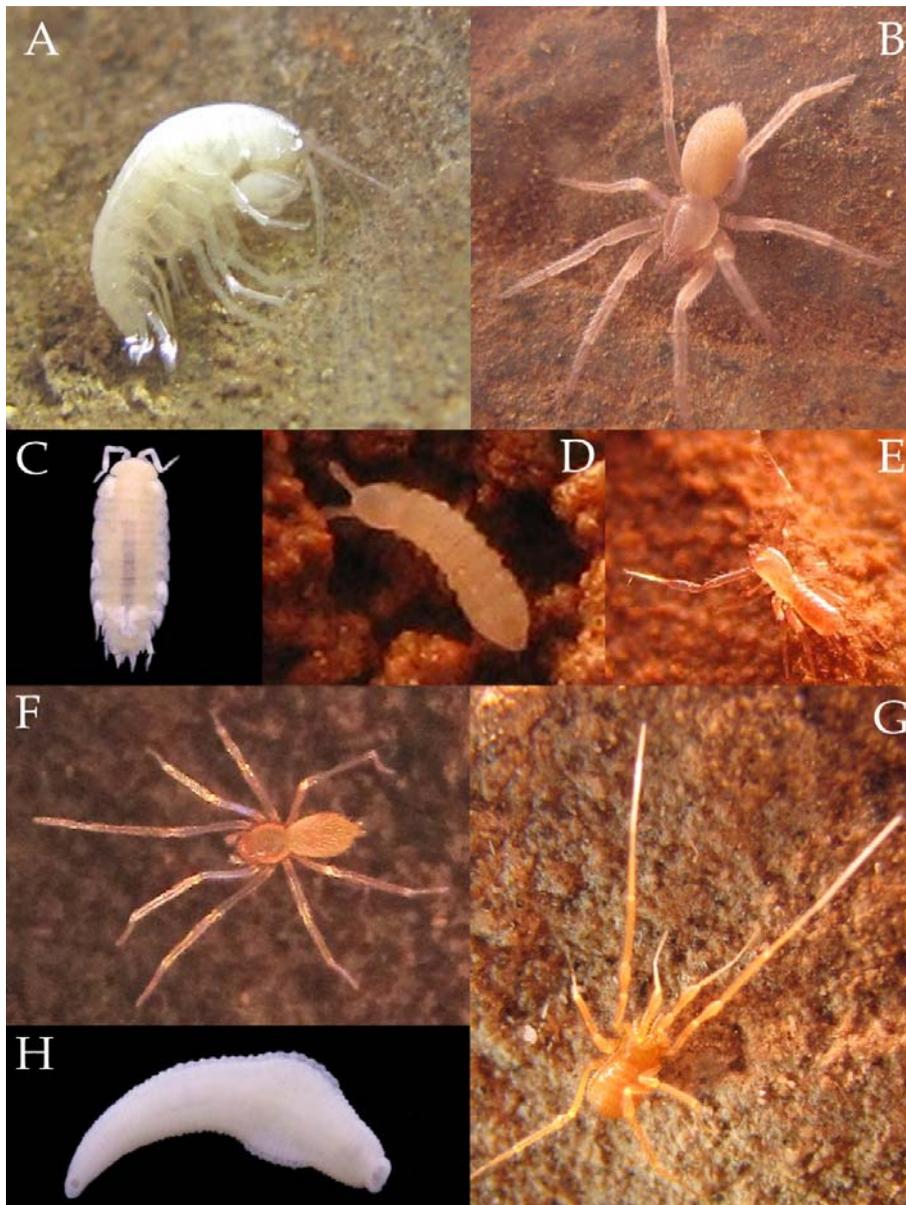
Tabela 2: Continuação.

<b>Município</b>	<b>Cavernas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>S</b>	<b>SC</b>	<b>RR</b>	<b>RRC</b>	<b>RB</b>	<b>RT</b>	<b>RTC</b>	<b>GI</b>	<b>V</b>
Paracatu	Lapa da Cava	297248	8132338	23K	48	M	0.383	B	A	0	B	M	A
Paracatu	Lapa da Santa Fé	297342	8133601	23K	30	B	0.018	B	M	0	B	A	A
Paracatu	Lapa do Brocotó	308134	8083657	23K	72	M	0.533	B	A	0	B	M	A
Paracatu	Lapa do Brocotó II	308165	8083812	23K	73	M	0.243	B	A	0	B	M	A
Paracatu	Lapinha de Santo Antônio	306536	8105656	23K	51	M	0.055	B	A	0	B	A	A
Presidente Olegário	Gruta da Caieira	385073	7974405	23K	61	M	0.014	B	A	0	B	B	M
Presidente Olegário	Gruta da Juruva	385747	7973888	23K	112	A	0.030	B	E	1	B	B	A
Presidente Olegário	Lapa da Vereda da Palha	380964	7981211	23K	119	E	0.034	B	E	1	B	B	A
Unai	Abriguinho	256233	8206485	23K	34	B	0.654	B	M	0	B	B	M
Unai	Barth Cave	279196	8183910	23K	47	M	0.021	B	A	1	B	M	A
Unai	Gruta Cachoeira do Queimado	251574	8205653	23K	57	M	0.007	B	A	2	M	M	A
Unai	Gruta da Encosta	255335	8206050	23K	52	M	0.650	B	A	0	B	B	M
Unai	Gruta da Mata dos Paulista	278976	8183510	23K	64	M	1.422	M	A	0	B	B	M
Unai	Gruta das Frangas	279221	8183417	23K	41	M	1.051	M	A	0	B	B	M
Unai	Gruta Deus Me Livre	279976	8182900	23K	106	A	0.236	B	E	0	B	B	A
Unai	Gruta do Rio Preto	259263	8205827	23K	56	M	0.320	B	A	2	M	B	A
Unai	Gruta Malhadinha	257965	8206112	23K	108	A	0.311	B	E	3	M	B	A
Unai	Lapa do Sapezal	297937	8141547	23K	71	A	0.041	B	E	0	B	B	A
Vazante	Abrigo da Escarpa	307964	8016869	23K	36	B	0.900	B	M	0	B	M	M

"continua..."

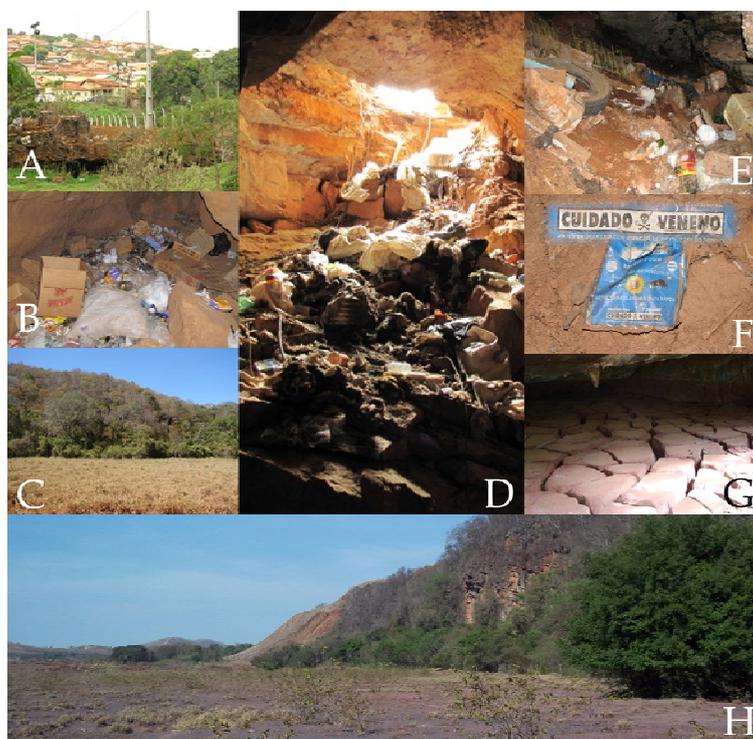
Tabela 2: Conclusão.

<b>Município</b>	<b>Cavernas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>S</b>	<b>SC</b>	<b>RR</b>	<b>RRC</b>	<b>RB</b>	<b>RT</b>	<b>RTC</b>	<b>GI</b>	<b>V</b>
Vazante	Gruta da Escarpa	307911	8016928	23K	62	M	0.332	B	A	0	B	M	A
Vazante	Gruta das Urtigas	308192	8017657	23K	70	M	0.006	B	M	2	M	M	A
Vazante	Gruta dos Urubus	307785	8016598	23K	93	A	0.063	B	E	3	M	B	A
Vazante	Gruta Não Cadastrada	308230	8017482	23K	49	M	1.332	M	A	1	B	M	A
Vazante	Gruta V01	306704	8017075	23K	15	B	1.500	M	M	0	B	B	M
Vazante	Gruta V02	306618	8017108	23K	37	B	2.467	A	A	2	M	B	A
Vazante	Lapa da Delza	298146	8010447	23K	46	M	0.008	B	A	5	A	A	E
Vazante	Lapa da Mata Velha	299617	8007387	23K	61	M	0.054	B	A	0	B	B	M
Vazante	Lapa do Guardião Severino	300039	8010088	23K	47	M	0.063	B	A	0	B	B	M
Vazante	Lapa Nova	299765	8010652	23K	155	E	0.001	B	E	6	E	A	E
Vazante	Lapa Nova II	299691	8010585	23K	55	M	0.020	B	A	3	M	M	A
Vazante	Sumidouro da Vaca Morta	306446	8016811	23K	72	M	0.639	B	A	0	B	M	A



**Figura 2:** Alguns exemplos de espécies troglomórficas registradas para a região Noroeste de Minas Gerais, Brasil. A: *Hyallela* sp. (Endêmica da Lapa da Vereda da Palha); B) Prodidomidae sp3 (Endêmica da Gruta Cachoeira do Queimado); C) *Trichorhina* sp. (Endêmica da Lapa do Camilo); D) *Acherontides* sp. e E) Chthoniidae sp. (Endêmicos da região de Vazante); F) Tetrablemmidae sp. e G) *Speleoleptes* sp. (Endêmicos da Gruta da Lagoa Rica); H) Oniscodesmidae sp. (Endêmico da Lapa da Delza).

O principal uso do entorno foi o da utilização da área como pastagens, registrado em 85.11% das cavernas, enquanto que no interior, a visitação turística foi mais comum, observada em 23.4% das cavernas. O impacto mais comum encontrado no entorno das cavernas foi a presença de trilhas, registradas no entorno de 72.34% das cavidades, enquanto que no interior das cavernas, o pisoteamento foi mais presente, registrado em 38.3% das cavidades (Fig. 3). A mineração foi considerada como o principal impacto potencial no entorno, sendo possível em 34% das cavernas. A poluição de corpos d'água destacou-se como o principal impacto no interior, sendo potencial em 27.6% das cavernas.

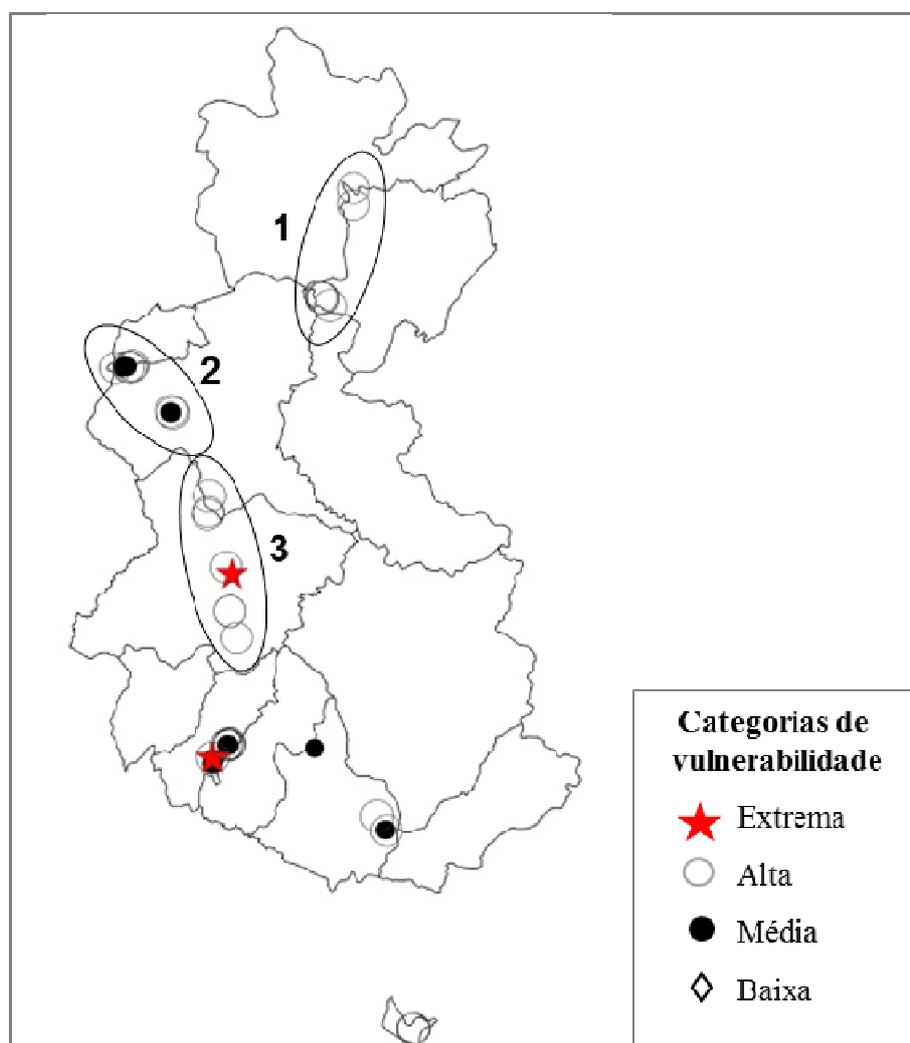


**Figura 3:** Alguns impactos encontrados no entorno e interior das cavernas estudadas no Noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil, entre os anos 2009 e 2011: A) Zona urbana sobre uma cavidade (Matutina); B) Descarte de lixo orgânico e veterinário (Paracatu); C) Remoção da vegetação externa na área de entorno (Paracatu); D) Descarte de lixo orgânico e veterinário (Paracatu); E) Descarte de lixo urbano (Vazante); F) Descarte de lixo tóxico (Paracatu); G) Assoreamento da cavidade por rejeitos de mineração; H) Assoreamento de área de entorno por rejeitos de mineração (Vazante).

A maior somatória dos pesos atribuídos às cavernas quanto aos impactos observados foi registrada para a Lapa do Campo de Futebol, localizada no município de Matutina (61), sendo a única caverna com grau de impacto extremo (46 a 61). 12.77% das cavernas apresentaram alto (31 a 45), 38.3% médio (17 a 30) e 46.8% das cavernas apresentaram baixo grau de impactos (menor que 16) (Tab. 2).

A maior somatória dos pesos atribuídos aos três itens considerados no presente estudo como de importância para conservação de cavernas (relevância biológica, presença de espécies troglóbias e estado de conservação) foi de 11, registrado para a Lapa Nova, município de Vazante. Assim, 6.38% das cavernas foram classificadas como de extrema vulnerabilidade (9 a 11), 68.09% como de alta (6 a 8) e 25.53% de média vulnerabilidade (3 a 5). Nenhuma caverna apresentou baixa vulnerabilidade (menor que 3) (Tab. 2).

As cavernas prioritárias para conservação foram a Gruta da Lagoa Rica, município de Paracatu, Lapa Nova e Lapa da Delza, ambas no município de Vazante (Tab. 3, figura 3). Três regiões foram definidas como prioritárias para conservação: (1) região de Arinos, (2) Cabeceira Grande e Unai e (3) Paracatu (Tab. 3, Fig. 4). A tabela 3 sumariza as recomendações para as cavernas prioritárias para conservação e as regiões com necessidade de ações de conservação, bem como os critérios utilizados para indicação.



**Figura 4:** Mapa de distribuição das cavernas amostradas na região Noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil, entre os anos 2009 a 2011, e suas respectivas classificações quanto à vulnerabilidade. A figura destaca as cavernas prioritárias para conservação (estrela vermelha), bem como as regiões com necessidades de ações para conservação (elipses). 1: região de Arinos, 2: região de Cabeceira grande e Unaí e 3: Região de Paracatu.

Tabela 3: Cavernas e regiões cársticas com necessidades de ações para conservação com os respectivos critérios de indicação, as principais ameaças e as recomendações para medidas de conservação.

<b>Local</b>	<b>Critério de indicação</b>	<b>Principais ameaças</b>	<b>Recomendações</b>	<b>Espécies endêmicas</b>
<b>Gruta da Lagoa Rica</b>	Alta riqueza de espécies e de espécies troglomórficas (sete espécies), sendo seis endêmicas desta caverna.	Inserida dentro de área de mineração. Poluição do lago de lençol freático.	Recuperação do entorno. Fiscalização constante.	Tetrablemmidae sp1; Oonopidae sp4; Collembola sp12; Crustacea sp1; <i>Speleoleptes</i> sp1 e Oniscodesmidae sp2.
<b>Lapa Nova</b>	Maior caverna do estudo e com maior riqueza (155 espécies) e seis espécies troglomórficas, sendo duas encontradas somente nesta caverna.	Caverna turística, estando sujeita aos impactos provenientes desse uso.	Efetivação da reserva de proteção ambiental que existe no entorno da caverna e do plano de manejo proposto por Pellegrini e Ferreira (2012). Conscientização dos moradores locais para que não joguem lixo na entrada da caverna. A prefeitura deve colocar uma lixeira próxima às casas no local e recolher efetivamente o lixo.	Oonopidae sp3 e <i>Eukoenenia virgemdalapa</i> Souza e Ferreira, 2012.
<b>Lapa da Delza</b>	Possui cinco espécies troglomórficas, sendo duas encontradas somente nesta caverna.	Inserida no centro urbano do município. Entrada utilizada como depósito de lixo pelos moradores. Poluição do corpo d'água perene.		Prodidomidae sp1 e Oniscodesmidae sp1.

“continua...”

Tabela 3: Conclusão.

<b>Local</b>	<b>Critério de indicação</b>	<b>Principais ameaças</b>	<b>Recomendações</b>	<b>Espécies endêmicas</b>
<b>Região de Arinos</b>	Cavernas de grande extensão, com rios no interior, extrema relevância biológica (25% de todas as espécies da região Noroeste de Minas Gerais estudadas), sete espécies troglomórficas encontradas somente nas cavernas da região.	Conversão de matas nativas em pastagens. Poluição de corpos d'água.	Recuperação do entorno. Pesquisar a viabilidade da criação de uma área de proteção na região.	Hirudinea sp3; Collembola sp32; <i>Trichorhina</i> sp5; Styloniscidae sp.; Oniscodesmidae sp4; Polyxenida sp5 e Planária sp6.
<b>Região de Paracatu</b>	Caverna com maior riqueza de troglomórficos da região (Gruta da Lagoa Rica) e demais cavernas com alta relevância biológica e altamente impactadas.	Mineração. Remoção da cobertura vegetal para pastagens. Pavimentação no entorno. Uso religioso.	Recuperação do entorno. Inventários bioespeleológicos em outras cavernas da região.	Tetramelemmidae sp1; Oonopidae sp4; Collembola sp12; Crustacea sp1; <i>Speleoptes</i> sp1 e Oniscodesmidae sp2.
<b>Região de Cabeceira Grande e Unai</b>	Cavernas com extrema relevância biológica, algumas com rios, sete espécies troglomórficas encontradas somente nas cavernas da região.	Remoção da cobertura vegetal para pastagens. Construção de hidrelétricas. Poluição de corpos d'água.	Recuperação do entorno. Inventários bioespeleológicos em outras cavernas da região.	Trombidiforme sp8; Prodidomidae sp3; Ochiroceratidae sp; Pselaphidae sp10; Collembola sp34; <i>Trichorhina</i> sp; Oniscodesmidae sp3

## **DISCUSSÃO**

### **Relevância biológica**

Muitos estudos referentes à fauna subterrânea foram realizados em diferentes regiões do Brasil (Bento 2011; Bernardi *et al.* 2012; Cordeiro 2008; Ferreira 2004; Ferreira & Horta 2001; Ferreira *et al.* 2009; Ferreira *et al.* 2010; Santana *et al.* 2010; Souza 2012; Souza-Silva & Ferreira 2009; Souza-Silva *et al.* 2011a,b; Zampaulo 2010; Zeppelini Filho *et al.* 2003; Fundação Estadual do Estado de São Paulo 2010a,b,c,d). A riqueza média desses estudos é de 50 espécies ( $\pm 20$ ). No presente estudo a média encontrada foi maior que a média geral para as cavernas brasileiras, mas está dentro do desvio padrão. Portanto, a região de estudo não pode ser considerada com elevada riqueza. No entanto, treze cavernas merecem destaque, pois apresentam riqueza superior à média mais o desvio padrão das outras regiões do Brasil.

Quanto às espécies troglóbias, além da importância para o conhecimento de processos evolutivos, a distribuição restrita a uma ou poucas cavernas, somada a baixa taxa de reprodução, fazem com que esses organismos sejam sensíveis a alterações no ambiente (Culver & Pipan 2009), tornando-se uma importante ferramenta para conservação (Elliott 2007; Borges *et al.* 2012). No presente estudo as espécies troglóbias apresentaram um alto grau de endemismo e todas as cavernas que abrigam troglóbios possuem pelo menos uma espécie endêmica. Portanto, mesmo que não tenham sido classificadas como as mais vulneráveis, estas cavernas devem ser inseridas em futuros planos de conservação.

### **Ameaças e *status* de conservação da área**

O uso inadequado da terra para atividades agropecuárias, expansão de cidades, uso de águas de superfície e subterrâneas, atividades de mineração, dentre outros, têm sido as principais ameaças impostas às áreas cársticas (Watson 1997).

Na região de estudo a principal ameaça é a remoção de florestas para criação de pastagens. Espécies cavernícolas localmente endêmicas podem

ser extintas caso a região de entorno seja desmatada (Reboleira *et al.* 2011). Além disto, a remoção da vegetação no entorno das entradas das cavernas pode diminuir o aporte de recurso e alterar o ambiente nestas regiões, por exemplo, mudando a temperatura e umidade do local. As entradas funcionam como ecótonos e abrigam grande diversidade de espécies que dependem do recurso importado do ambiente externo (Prous *et al.* 2004)

A principal ameaça potencial para o interior das cavernas da região estudada é a poluição de corpos d'água, fato que pode acarretar em alterações severas no ambiente e na fauna cavernícola. Como exemplo disto, as práticas agrícolas realizadas no entorno da caverna Tumbling Creek, (Missouri, USA), estão afetando a qualidade da água e podem estar diminuindo a população de uma espécie aquática sensível a estas mudanças (*Antrobia culveri*) (Neill *et al.* 2004).

Embora a região, como todas as áreas cársticas do mundo, esteja sujeita a impactos de origem antrópica, existem locais que ainda encontram-se preservados, como é o caso da porção norte da região, como no município de Arinos. As cavernas deste município encontram-se consideravelmente preservadas se comparadas a outras cavernas do estudo. Um bom exemplo é a Lapa da Capa, onde não foi encontrado nenhum impacto visível, tanto no entorno quanto no interior da cavidade. No entanto, a região está inserida no bioma Cerrado, conhecido pela alta diversidade e constante ameaça (Myers *et al.* 2000), necessitando sempre de ações de conservação.

### **Proteção legal e educação pública**

A falta de leis e atos especificamente dedicados ao carste é muito comum. Mesmo quando a legislação considera estes ambientes, os potenciais benefícios não são de fato conquistados, principalmente devido à falta de fiscalização e controle por parte das autoridades (Parise & Gunn, 2007).

Em todo o mundo, são poucos os exemplos de países que possuem algum tipo de legislação específica para proteção de cavernas, como por exemplo, Estados Unidos, França, Eslovênia, Austrália e Brasil (Tercafs 1992; Kepa 2001; Restificar *et al.* 2006; Ferreira *et al.* 2007). Existem

exemplos de cavernas e áreas protegidas legalmente, como é o caso das regiões consideradas Patrimônio da Humanidade devido às características de suas paisagens cársticas (Williams 2008). No entanto, áreas cársticas e cavernas têm sido protegidas de forma indireta, principalmente pela criação de reservas por motivos que não incluem a importância de suas características cársticas, como é o caso de países da América Central (Day 1996; Kueny & Day 2002) e alguns países do sudeste asiático (Day & Ulrich, 2000).

O Brasil é o único país que possui um órgão voltado especificamente para o estudo, proteção e manejo de cavernas, que compreende o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Historicamente, as cavernas brasileiras não podiam ser destruídas por serem patrimônios da união (Constituição Federal 1998; Decreto 99556/1990). Porém no ano de 2008, as cavernas passaram a ser passíveis de supressão (Decreto 6640/2008), desde que previamente estudadas durante o processo de licenciamento do empreendimento. Durante o estudo as cavernas devem ser classificadas de acordo com sua relevância em máxima, alta, média e baixa, segundo critérios propostos na Instrução Normativa número 2 de 2009. Cavernas com relevância máxima não podem, em hipótese alguma, serem suprimidas, sendo que cavernas incluídas nas demais categorias são passíveis de alterações irreversíveis, incluindo supressão.

Tal decreto tem sido duramente criticado e considerado um retrocesso para a conservação de cavernas no país (Figueiredo *et al.* 2010). No entanto, a rigidez da lei anterior fez com que, em casos de forte demanda social e econômica, a única alternativa era a supressão ou impacto sobre as cavernas (Auler 2006), muitas vezes sem que houvesse um estudo prévio.

A proteção baseada em leis, embora vital, não é suficiente. A proteção real e eficiente deve contar com o suporte da população e um programa contínuo de educação pública sobre a proteção dos recursos (Watson 1997). Além disso, o uso adequado da terra pode aumentar o desenvolvimento sustentável da economia nestas regiões (Linhua 1999).

### **Conservação de cavernas no mundo**

Diferentes estratégias para conservação de cavernas e áreas cársticas têm sido utilizadas em todo o mundo. Índices têm sido usados para avaliar o grau de impacto e as ameaças, visando identificar áreas cársticas mais ameaçadas e/ou que merecem atenção prioritária para estratégias de conservação (Elliott 2007; Van Beynen & Townsend, 2005; 2012).

Van Beynen & Townsend (2005) criaram um índice de perturbação de áreas cársticas com diferentes indicadores, incluindo a fauna subterrânea, o qual tem sido usado em trabalhos que visam propor áreas prioritárias para conservação (Calò & Parise 2006; Van Beynen *et al.* 2007; Borges *et al.* 2012). Van Beynen & Townsend (2005), no entanto, afirmaram que a seleção de espécies individuais como indicadoras seria problemática por causa de divergências sobre quais espécies usar. Por isso, somente em Borges e colaboradores (2012) o componente biológico foi utilizado como indicador, baseando na riqueza de troglóbios, endemismos e raridade.

Recentemente foi criado um índice para a sustentabilidade do carste (KSI) (Van Beynen & Townsend, 2012). Este índice se baseia em indicadores que incorporam medidas dos três domínios do uso dos recursos: o social, o ambiental e o econômico.

A distribuição das espécies foi utilizada para identificar locais com espécies ameaçadas e propor prioridades de conservação por Culver e colaboradores (2000) e Lewis e colaboradores (2003), ambos em regiões dos Estados Unidos, e por Ferreira e colaboradores (2007) em áreas cársticas da França.

Elliott (2007) utilizou a riqueza de espécies, riqueza de troglóbios e endemismo como indicadores para um índice, utilizado para ranquear, quanto à relevância da biodiversidade, as cavernas do Missouri, Estados Unidos, para planos de conservação. Tal índice utiliza a expressão  $B = SR \times T \times SE$ , onde, B: biodiversidade, SR: riqueza de espécies, T: riqueza de troglóbios, SE: endemismo local.

Em diversas regiões do Brasil, estudos vêm utilizando metodologias semelhantes à utilizada neste trabalho para propor áreas e cavernas prioritárias para conservação (Souza-Silva 2008; Zampaulo 2010; Bento 2011; Souza 2012). Bons resultados têm sido alcançados, como é o caso da criação do Parque Nacional da Furna Feia, no estado do Rio Grande do Norte, onde entorno de 36% (205 cavernas) de todas as cavernas conhecidas para o estado, encontram-se inseridas e legalmente protegidas. Tal área havia sido apontada por Bento (2011) como prioritária para conservação no Estado do Rio Grande do Norte em função de seu trabalho que utilizou a mesma metodologia aqui empregada.

#### **Ações de conservação**

Embora reservas por si só não garantam a preservação da natureza, elas são ferramentas fundamentais, separando elementos da biodiversidade dos processos que ameaçam a Natureza (Margules & Pressey 2000). Em áreas cársticas é importante a criação de zonas de amortecimento nas regiões de transição entre a área de preservação e os terrenos vizinhos, diminuindo as influências e consequências de danos ambientais nas terras adjacentes (Barany-Kevei 1999).

No Brasil, a criação de reservas enfrenta sérios problemas. Cavernas inseridas em áreas de preservação sofrem com impactos da visitação, como por exemplo, o pisoteio, lixo, depredação de espeleotemas, dentre outros (Lobo 2008; Souza-Silva & Ferreira 2009). Assim, a criação de reservas para a proteção de cavernas ou espécies cavernícolas deve ser muito bem avaliada e elaborada, além de possuir um efetivo plano de manejo do local, integrando cientistas, gestores e profissionais do turismo, além de estudos específicos para cada caverna utilizada para visitação turística (Lobo *et al.* 2013).

Embora impactos diretos (ex. mineração) sejam os mais preocupantes, pois podem ocasionar perdas imediatas, outros impactos podem criar inúmeros problemas para a fauna, ainda que em longo prazo. A poluição de corpos d'água é um exemplo. Terrenos cársticos possuem

descontinuidades por onde potenciais poluentes podem ser transportados até locais afastados, como nascentes e cavernas com lençol freático e rios (Parise & Gunn 2007). Assim, diminuir a exploração e poluição de águas em terrenos cársticos seria importante para manutenção de cavernas que possuem lençol freático e rios (De Waele & Follesa, 2003).

### **Considerações finais**

Estudar a biodiversidade subterrânea no maior número de cavernas no Cerrado é de suma importância, pois se trata de um ambiente altamente diverso e em constante ameaça (Myers *et al.* 2000). Assim, o presente estudo apresentou resultados que poderão subsidiar ações de conservação em uma região pouco estudada neste bioma. Além disso, outras regiões cársticas na bacia do Rio São Francisco deverão ser investigadas quanto à prioridade de conservação, propiciando subsídios para o Plano de Ação Nacional para conservação das cavernas e da fauna cavernícola dessa região.

Cavernas e áreas cársticas vêm sendo impactadas em todo o mundo, principalmente por ação antrópica. Embora seja provável, é impossível determinar se tais impactos têm causado a perda de espécies nestes ambientes, principalmente pela falta de informações das características primárias das comunidades anteriores aos impactos.

Mesmo diante da dificuldade de quantificar a perda da biodiversidade cavernícola diante de alterações no ambiente, é certo que existe perda. Embora os impactos que causam alterações irreversíveis nas cavernas, como a mineração, sejam os principais alvos de ambientalistas, outros também são altamente preocupantes.

Na região de estudo, assim como em todo o mundo, a remoção de florestas surge como uma das mais preocupantes alterações, não somente para a biodiversidade epígea, mas também para a subterrânea. As espécies cavernícolas dependem, em grande parte, da importação de recursos do ambiente externo (Culver 1982) e a remoção de florestas pode diminuir essa importação.

Outro fato importante é que florestas tropicais abrigam grande diversidade de espécies e estão sujeitas a diversos impactos de origem antrópica, principalmente ligados a atividades agrícolas, que provocam, em quase todos os casos, grande perda de biodiversidade epígea (Gibson *et al.* 2011). Uma vez que a biodiversidade epígea é diminuída, possivelmente menos espécies estarão utilizando o ambiente cavernícola.

### **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro, projeto APQ-01854-09. Aos amigos do Grupo de Estudos em Ecologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras. Ao Espeleológico Grupo de Brasília pelas informações sobre as cavernas da região.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Auler A. S., 2006: *Relevância de cavidades naturais subterrâneas: contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos.*- Ministério de Minas e Energia (MME), pp. 166, Brasília.
- Australian Speleological Federation, 2010: Minimal Impact Caving Code (MICC).- [Online] Available from: <http://www.caves.org.au/downloads/MICC2010.pdf> [Accessed 3rd October 2012].
- Australian Speleological Federation. Minimum Impact Code of Ethics for Scientific Investigation in Caves and Karst (Science MIC), 3pp, 2010. Available from: <http://www.caves.org.au/downloads/ScienceCodeJul2010.pdf> [Accessed 3rd October 2012].
- Balák, I. Janè, J., Stefka, L. & P. Bosák, 1999: Agriculture and nature conservation in the Moravian karst (Czech Republic).- *International Journal of Speleology*, 28B, 71-88.
- Barany-Kevei, I., 1999: Impacts of agricultural land use on some Hungarian karst regions.- *International Journal of Speleology*, 28B, 89-98.

- Bento, D.M., 2011: *Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação.*- M.D. Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pp. 160.
- Bernardi, L.F.O., Pellegrini, T.G., Taylor, E.L.S. & R.L. Ferreira, 2012: Aspectos ecológicos de uma caverna granítica no sul de Minas Gerais.- *Espeleo-Tema*, 23, 5-12.
- Borges, P.A.V., Cardoso, P., Amorim, I.R., Pereira, F., Constância, J.P., Nunes, J.C., Barcelos, P., Costa, P., Gabriel, R. & M.L. Dapkevicius, 2012: Volcanic caves: priorities for conserving the Azorean endemic troglobiont species.- *International Journal of Speleology*, 41, 101-111.
- Calò, F. & M. Parise, 2006: Evaluating the human disturbance to karst environments in southern Italy.- *Acta Carsologica*, 35, 47-56.
- Cavalcanti, L.F., Lima, M.F., Medeiros, R.C.S. & I. Meguerditchian, 2012: *Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco, (Série Espécies Ameaçadas, 27).*- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, pp. 140, Brasília.
- Constituição da República Federativa do Brasil, 1988: [Online] Available from: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm) [Accessed 3rd September 2012].
- Cordeiro, L.M., 2008: *Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades.*- M.D. Thesis. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, pp. 119.
- Culver, D.C. & H. Wilkens, 2000: Critical review of relevant theories of the evolution of subterranean animals.- In: Wilkens, H. et al. (eds.) *Ecosystems of the World Vol30: Subterranean Ecosystems*. Elsevier Press, p. 381-397, Amsterdam.
- Culver, D.C. & T. Pipan, 2009: *The biology of caves and other subterranean habitats.*- Oxford University Press, pp. 254, Oxford.
- Culver, D.C., 1982: *Cave life: Evolution and Ecology.*- Harvard University Press, pp. 189, Massachusetts and London.

- Culver, D.C., M.D. L.L., Christman M.C. & H.H. Hobbs, 2000: Obligate cave fauna of the 48 contiguous United States.- *Conservation Biology*, 14, 386-401.
- Day, M. & P. Urich, 2000: An assessment of protected karst landscapes in Southeast Asia.- *Cave and Karst Science*, 27, 61-70.
- Day, M.J., 1996: Conservation of Karst in Belize.- *Journal of Cave and Karst Studies*, 58, 139-144.
- De Waele, J. & R. Follesa, 2003: Human impact on karst: the example of Lusaka (Zambia).- *International Journal of Speleology*, 32, 71-83.
- Decreto N° 6.640, 2008: [Online] Available from: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm) [Accessed 3rd September 2012].
- Decreto N° 99.556, 1990: [Online] Available from: <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99556-1-outubro-1990-339026-normaatuizada-pe.html> [Accessed 3rd September 2012].
- Derraik, J.G., Closs, G.P., Dickinson, K.J., Sirvid, P., Barratt, B.I.P. & B.H. Patrick, 2002: Arthropod Morphospecies versus Taxonomic Species: a Case Study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera.- *Conservation Biology*, 16, 1015-1023.
- Derraik, J.G., Early, J.W., Closs, G.P. & K.J. Dickinson, 2010: Morphospecies and taxonomic species comparison for Hymenoptera.- *Journal of Insect Science*, 10, 1-7.
- Elliott, W.R., 2004: Protecting caves and cave life.- In: Culver, D.C. & W.B. White, (eds.). *Encyclopedia of caves*. Elsevier Academic Press, pp. 458-467, San Diego.
- Elliott, W.R., 2000: Conservation of the North American cave and karst biota.- In: Wilkens, H. et al. (eds.) *Ecosystems of the World Vol30: Subterranean Ecosystems*. Elsevier Press, pp. 665-689, Amsterdam.
- Elliott, W.R., 2007: Zoogeography and biodiversity of Missouri caves and karst.- *Journal of Cave and Karst Studies*, 69, 135-162.
- Ferreira, D., Malard F., Dole-Olivier, M.J. & J. Gibert, 2007: Obligate groundwater fauna of France: diversity patterns and

- conservation implications.- *Biodiversity and Conservation*, 16, 567-596.
- 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. & L.C.S. Horta, 2001: Natural and human impacts on invertebrate communities in brazilian caves.- *Revista Brasileira de Biologia* 61, 7-17.
- Ferreira, R.L., Bernardi, L.F.O., M. Souza-Silva, 2009: Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): Subsídios para o turismo nestas cavidades.- *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 9, 41-58.
- Ferreira, R.L., Gomes, F.T.M.C., M. Souza-Silva, 2008: 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*, 1, 139-158.
- Ferreira, R.L., Prous, X., Bernardi, L.F.O. & M. Souza-Silva, 2010: Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos.- *Revista brasileira de espeleologia*, 1, p. 25-51
- Figueiredo, L.A.V., Rasteiro, M.A. & P.C. Rodrigues, 2010: Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da sociedade civil.- *Espeleo-Tema*, 21, 49-65.
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010a: Plano de manejo espeleológico: Caverna do Diabo.- [Online] Available from: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos> (Accessed 1st November 2012).
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010b: Plano de manejo espeleológico: Gruta da Capelinha.- [Online] Available from: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (Accessed 1st November 2012).
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010c: Plano de manejo espeleológico: Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira

(PETAR).- [Online] Available from: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (Accessed 1st November 2012).

Fundação Florestal do Estado de São Paulo, 2010d: Plano de manejo espeleológico: Parque Estadual Intervales.- [Online] Available from: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/> (Accessed 1st November 2012).

Gibert, J. & L. Deharveng, 2002: Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity.- *BioScience*, 52, 473-481.

Gibson, L., Lee, T.M., Koh, L.P., Brook, B.W., Gardner, T.A., Barlow, J., Peres, C.A., Bradshaw, C.J.A., Laurance, W.F., Lovejoy, T.E. & N.S. Sodhi, 2001: Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity.- *Nature*, 478, 378-383.

Gillieson, D. & M. Thurgate, 1999: Karst and agriculture in Australia.- *International Journal of Speleology*, 28B, 149-168.

Gunn, J., Hardwick, P. & P.J. Wood, 2000: The invertebrate community of the Peak–Speedwell cave system, Derbyshire, England — pressures and considerations for conservation management.- *Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems*, 10, 353-369.

Hoppop, K., 2012: Adaptation to low food.- In: White, W.B. & D.C. Culver (eds) *Encyclopedia of Caves, 2nd edition*, Academic Press, p. 1-9, New York.

Instrução Normativa N° 2, 2009: [Online] Available from: [http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002\\_MA\\_MA\\_Comentada.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002_MA_MA_Comentada.pdf) (Accessed 3rd October 2012).

Kepa, T., 2001: Karst conservation in Slovenia.- *Acta carsologica*, 30, 143-164.

Kueny, J.A. & M.J. Day, 2002: Designation of protected karstlands in Central America: a regional assessment.- *Journal of Cave and Karst Studies*, 64, 165-174.

Lewis, J.J., Moss, P.H., Tecic, D. & M.E. Nelson, 2003: A conservation focused inventory of subterranean invertebrates of the southwest Illinois karst.- *Journal of Cave and Karst Studies*, 65, 9-21.

- Linhua, S., 1999: Sustainable development of agriculture in karst areas, South China.- *International Journal of Speleology*, 28B, 139-148.
- Lobo, H.A.S., 2008: Ecoturismo e percepção de impactos socioambientais sob a ótica dos turistas no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR.- *Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas*, 1, 67-75.
- Lobo, H.A.S., Trajano, E., Marinho, M.A., Bichuette, M.E., Scaleante, J.A.B., Scaleante, O.A.F., Rocha, B.N. & F.V. Laterza, 2013: Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave.- *Tourism Management*, 35, 234-243.
- Margules, C.R. & R.L. Pressey, 2000: Systematic conservation planning.- *Nature*, 405, 243-253.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca G.A.B. & J. Kent, 2000: Biodiversity hotspots for conservation priorities.- *Nature*, 403, 853-858.
- Neill, H., Gutiérrez, M. & T. Aley, 2004: Influences of agricultural practices on water quality of Tumbling Creek cave stream in Taney County, Missouri.- *Environmental Geology*, 45, 550-559.
- Oliver, I. & A.J. Beattie, 1996: Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study.- *Conservation Biology*, 1, 99-109.
- Parise, M. & J. Gunn, 2007: Natural and anthropogenic hazards in karst areas: an introduction.- *Geological Society of London: Special Publications*, 279, 1-3
- Parise, M. & V. Pascali, 2003: Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy).- *Environmental Geology*, 44, 247-256.
- Pellegrini, T.G. & R.L. Ferreira, 2012b: Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation.- *International Journal of Speleology*, 41, 361-368.
- Pellegrini, T.G. & R.L. Ferreira, 2012a: Sampling effort in mite communities associated with cave bat guano.- *Speleobiology Notes*, 4, 10-16.

- Prous, X., Ferreira, R.L. & R.P. Martins, 2004: Ecótone delimitation: epigeal-hypogean transition in cave ecosystems.- *Austral Ecology*, 29, 374-382.
- Reboleira A.S., Borges P.A.V., Gonçalves, F., Serrano A.R.M. & P. Oromí, 2011: The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region - Portugal: an overview and its conservation.- *International Journal of Speleology*, 40, 23-37.
- Restificar, S.D.F., Day, M.J. & P.B. Urich, 2006: Protection of karst in the Philippines.- *Acta Carsologica*, 35, 121-130.
- Santana, M.E.V., Souto, L.S. & M.A.T. Dantas, 2010: Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias - Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem.- *Scientia Plena*, 6, 1-8.
- Souza, M.F.V.R. & R.L. Ferreira, 2012: *Eukoenenia virgemdalapa* (Palpigradi: Eukoeneniidae): a new troglobitic palpigrade from Brazil.- *Zootaxa*, 3295, 59-64.
- Souza, M.F.V.R., 2012: *Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas*.- M.D. Thesis. Universidade Federal de Lavras, pp. 149.
- Souza-Silva, M. & R.L. Ferreira, 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., 2008: *Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira*.- PhD thesis. Universidade Federal de Minas Gerais, pp. 211.
- Souza-Silva, M., Bernardi, L.F.O., Martins, R.P. & R.L. Ferreira, 2012: Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave.- *Acta Carsologica*, 41, 139-150.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P. & R.L. Ferreira, 2011a: Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest.- *Biodiversity Conservation*, 20, 1713-1729.
- Souza-Silva, M., Nicolau, J.C. & R.L. Ferreira, 2011b: Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. *Espeleo-Tema*.- 22, 79-91.

- Tercafs, R., 1992: The Protection of the subterranean environment: conservation principles and management tools.- In Camacho, A. (eds.) *The Natural history of bioespeleology*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, pp. 485-522, Madrid.
- Van Beynen, P. & K. Townsend, 2005: A Disturbance index for karst environments.- *Environmental Management*, 1, 101-116.
- Van Beynen, P., Brinkmann, R. & K. Van Beynen, 2012: A sustainability index for karst environments.- *Journal of Cave and Karst Studies*, 74, 221-234.
- Van Beynen, P., Feliciano, N., North, L. & K. Townsend, 2007: Application of a Karst Disturbance Index in Hillsborough County, Florida.- *Environmental Manage*, 39, 261-277.
- Ward, D.F & M.C. Stanley, 2004: The value of RTUs and parataxonomy versus taxonomic species.- *New Zealand Entomologist*, 27, 3-9.
- Watson, J., Hamilton-Smith, E., Gillieson, D. & K. Kiernan, 1997: *Guidelines for cave and karst protection*: IUCN, pp. 63, Gland/Cambridge.
- Weinstein, P. & D. Slaney, 1995: Invertebrate faunal survey of Rope Ladder cave, Northern Queensland: a comparative study of sampling methods.- *Journal of Australian Entomological Society*, 34, 233-236.
- Williams, P., 2008: *World Heritage Caves and Karst*.- IUCN, pp. 57, Gland.
- Zampaulo, R.A., 2010: *Diversidade de invertebrados na província espeleológica de Arcos, Pains, Dorésópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação*.- M.D. thesis. Universidade Federal de 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. & A.C. Marques, 2003: Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil: Papéis Avulsos de Zoologia.- 43, 93-99.

**ARTIGO 3**

DIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS NA SUB-BACIA  
DO RIO URUCUIA, AFLUENTE DO SÃO FRANCISCO: ESTUDO DE  
CASO EM CAVERNAS DE ARINOS, MINAS GERAIS

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

## RESUMO

O uso inadequado da terra e a superexploração dos recursos naturais vêm causando sérios impactos nos ambientes cavernícolas. Assim, trabalhos que proponham ações de conservação se fazem necessários. Com o presente estudo objetivou-se levantar informações sobre a fauna de invertebrados de sete cavernas da região de Arinos, Noroeste do estado de Minas Gerais, propondo prioridades e medidas de conservação. Foram registradas 374 espécies, sendo sete delas com características troglomórficas. A expansão de práticas agropecuárias e a poluição de corpos d'água são as ameaças mais preocupantes. A recuperação do entorno das cavidades e a conscientização dos proprietários de terras próximas são ações prioritárias a serem desenvolvidas. A criação de reservas e corredores compreendem alternativas para a preservação deste importante patrimônio.

**Palavras chave:** invertebrados, endemismos, conservação.

## **INTRODUÇÃO**

Cavernas são cavidades naturais subterrâneas que abrigam uma ampla diversidade de animais, sejam visitantes temporários ou residentes (Culver & Pipan, 2009). A maior parte dos animais cavernícolas compreende invertebrados, sendo os insetos e aracnídeos os grupos mais frequentes e diversos (Romero, 2009).

Os organismos cavernícolas podem apresentar diferentes graus de especialização ao ambiente subterrâneo, desde aqueles que utilizam as cavernas como abrigo até os que completam todo seu ciclo de vida nestes ambientes. As espécies que são unicamente encontradas em cavernas (troglóbios) são os principais alvos de estudos devido à sua grande importância evolutiva e vulnerabilidade (Culver, 1982). Estas espécies frequentemente apresentam características morfológicas, fisiológicas e comportamentais que as tornaram altamente especializadas à vida nestes ambientes (Culver & Wilkens, 2000). Além disto, a maioria das espécies troglóbias apresenta um alto grau de endemismo, sendo restritas a uma única cavidade ou a um pequeno grupo de cavernas, fato que as tornam vulneráveis frente a alterações severas em seus habitats (Culver et al., 2000).

Ambientes cavernícolas possuem drenagens que abastecem a superfície e são utilizados como abrigo por diversas espécies com importantes papéis ecológicos nos ecossistemas hipógeos e epígeos. Os morcegos, por exemplo, atuam na polinização e dispersão de sementes e veiculam recursos alimentar para organismos de cavernas na forma de guano. Assim, cavernas são importantes para a manutenção dos ecossistemas onde estão inseridas (Elliott, 2000).

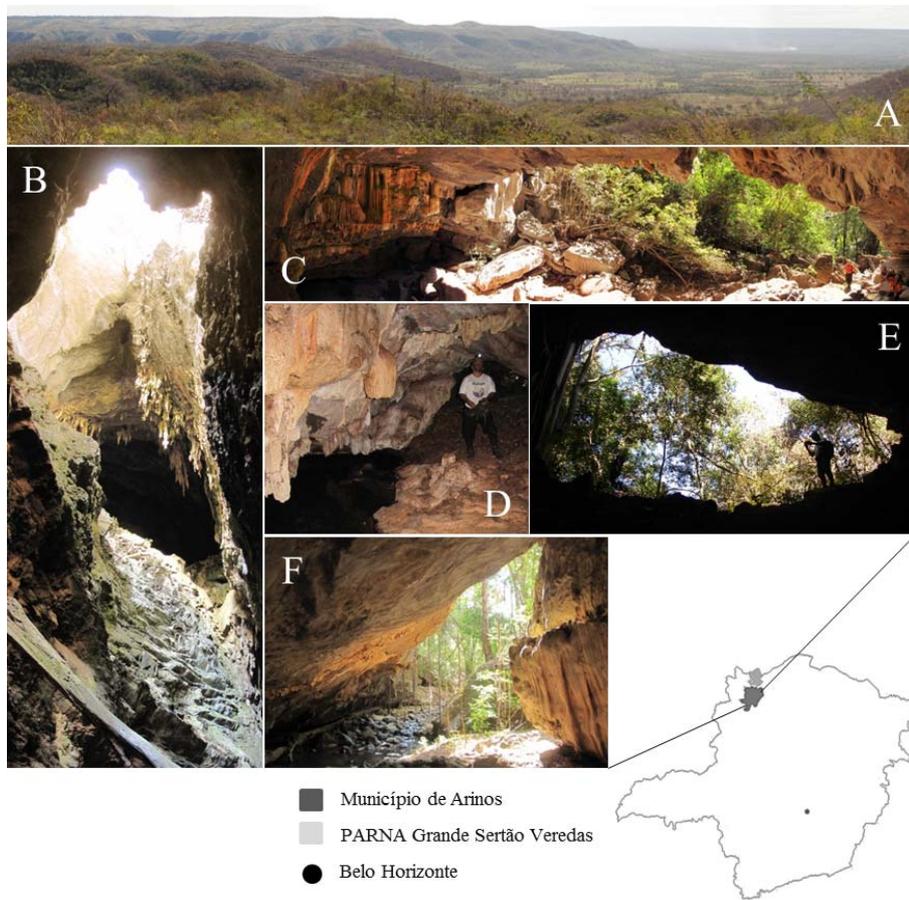
Apesar da reconhecida importância dos habitats cavernícolas, estes têm sido alterados ao longo dos anos por intervenções antrópicas. As principais ameaças impostas às comunidades cavernícolas decorrem principalmente do uso inadequado da terra para atividades agropecuárias, expansão de cidades, exploração de águas de superfície e subterrâneas e atividades de mineração (Watson, 1997).

Em 2005, a Fundação Biodiversitas publicou o mais recente atlas sobre o conhecimento das áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade em Minas Gerais (Drummond et al., 2005). Dentre as áreas, a região de Arinos no Noroeste do estado foi identificada como potencial para conservação devido à insuficiência de dados da biota e as ameaças, principalmente pela expansão da agricultura. Assim, o presente estudo teve como objetivo realizar uma caracterização da fauna hipógea de algumas cavernas da região, bem como verificar os impactos e ameaças às cavernas e a fauna cavernícola, subsidiando propostas de ações para conservação.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O município de Arinos, localizado na região Noroeste do Estado de Minas Gerais, possui 19 cavernas cadastradas na base de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) e da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE). Destas, sete tiveram sua fauna de invertebrados amostrada em julho de 2010 (Figura 1). Existem cavernas com elevada extensão, como por exemplo, a Gruta Pé de Limão e a Lapa da Marcela, possuindo desenvolvimento linear de 3.527,4 e 1.237,6 metros respectivamente (SBE, 2012).

O município de Arinos faz parte da área de abrangência e de influência direta do Parque Nacional Grande Sertão Veredas, apresentando em seus limites, 5% da área total do parque (IBAMA, 2003) (Figura 1). Está inserido na sub-bacia do Rio Urucuia, que abrange os estados de Minas Gerais e Goiás, sendo um importante afluente do Rio São Francisco (Pereira et al., 2007). A agropecuária representa a principal atividade econômica em Arinos, responsável por aproximadamente 35% do Produto Interno Bruto do município (Fonte: IBGE, 2009).



**Figura 1:** Mapa do estado de Minas Gerais destacando os limites do município de Arinos, Noroeste do estado, onde sete cavernas tiveram sua fauna de invertebrados, os impactos e ameaças no entorno e interior, amostrados durante o mês de julho de 2010. A imagem destaca ainda os limites do Parque Nacional Grande Sertão Veredas, com 5% de sua área de abrangência estando inserida nos limites do município de Arinos. Região de Arinos (A), região de entrada da Lapa da Marcela (B), região de entrada da Lapa da Capa (C), interior da Lapa do Salobo (D), região de entrada da Lapa da Suindara (E) e região de entrada da Lapa do Taquaril (F).

As coletas de invertebrados foram realizadas por meio de busca ativa, priorizando depósitos orgânicos (depósitos vegetais, carcaças, guano, etc.) e micro-habitats (sob pedras, solo úmido, frestas, espeleotemas, etc.). Os espécimes foram coletados com o auxílio de pinças, pincéis e redes de mão (quando presentes corpos d'água) e acondicionados em vidros com álcool 70%. A equipe de coleta foi sempre a mesma, sendo composta por

biólogos com experiência em espeleologia e coleta manual de invertebrados em cavernas, como recomendado por Weinstein & Slaney (1995).

Assim, como em diversos outros trabalhos, os organismos foram identificados até o melhor nível taxonômico acessível e separados em morfo-espécies (Souza-Silva *et al.*, 2011a, Oliver & Beattie, 1996; Derraik *et al.*, 2002; Ward & Stanley, 2004; Derraik *et al.*, 2010). Os espécimes encontram-se depositados na coleção de invertebrados subterrâneos de Lavras (ISLA), da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada por meio da identificação, nos espécimes, de características como a redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares e alongamento de apêndices, as quais podem variar entre os grupos (Culver & Wilkens, 2000).

O teste de Mantel foi utilizado para testar a relação da distância geográfica entre as cavernas e a similaridade faunística (Manly, 1984; Mantel, 1967). A análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), baseada no índice de Jaccard, foi utilizada para visualizar conjuntos de cavernas de acordo com a composição da fauna. Posteriormente, uma one-way ANOSIM foi realizada para testar a significância da separação dos grupos (Clarke, 1993).

Foram levantadas informações sobre impactos e ameaças às cavernas da região, caracterizando os impactos no interior e no entorno das cavidades (~250m), bem como as ameaças potenciais. Os impactos e ameaças foram caracterizados qualitativamente, ou seja, pela presença ou ausência, concomitantemente às coletas de invertebrados, e por imagens de satélite (Google Earth). Estas informações foram cruzadas com os dados biológicos (riqueza total e de espécies troglomórficas) das cavidades, subsidiando as propostas de ações para conservação.

## RESULTADOS

### Aspectos biológicos

Foram registradas 374 espécies (riqueza média de 79 ( $\pm 29$ ) espécies por caverna), distribuídas em 39 táxons e pelo menos 99 famílias (Tabela 1). Os táxons com maior riqueza foram Coleoptera (87 spp.), sendo a família Staphylinidae a mais representativa do grupo (28.7% das espécies), seguida por Diptera (74 spp.), sendo Chironomidae a família mais representativa do grupo (27% das espécies) (Tabela 1). A Lapa do Camilo foi a caverna que apresentou maior riqueza de espécies (115 spp.), seguida da Lapa da Capa (113 spp.) e Lapa da Marcela (94 spp.) (Tabela 2).

Tabela 1: Lista de táxons, famílias e número de espécies de cada família registrados nas cavernas de Arinos, região Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2010. NI: não identificadas. NI: famílias não identificadas.

Táxon	Famílias
<b>Acari</b>	Laelapidae (4), Macrochelidae(2), Macronissidae (2), Ameroseiidae (1), Anystidae (1), Cheiletidae (1), Erythraidae (1), Opilioacaridae (1), Rhagidiidae (1), Teneriffidae (1), Veigaiidae (1)
<b>Amblypygi</b>	Phryniidae (1)
<b>Annelida</b>	Famílias não identificadas
<b>Araneae</b>	Ctenidae (4), Araneidae (3), Theridiidae (3), Pholcidae (2), Salticidae (2), Deinopidae (1), Oonopidae (1), Psauridae (1), Scytodidae (1), Segestriidae (1), Sicariidae (1), Symphytognathidae (1), Theridiosomatidae (1), Trechaleidae (1), Actinopodidae (1)
<b>Blattodea</b>	Blattellidae, Blattidae
<b>Coleoptera</b>	Staphylinidae (25), Carabidae (15), Tenebrionidae (9), Elmidae (3), Dryopidae (2), Gyrinidae (2), Pselaphidae (2), Bostrichidae (1), Cholevidae (1), Curculionidae (1), Dermestidae (1), Histeridae (1), Hydrophilidae (1), Ptylodactilidae (1)
<b>Collembola</b>	NI
<b>Crustacea</b>	Dogielinotidae
<b>Diplura</b>	Japygidae

“continua...”

Tabela 1: Conclusão.

<b>Táxons</b>	<b>Famílias</b>
<b>Diptera</b>	Chironomidae (20), Tipulidae (12), Drosophilidae (6), Psychodidae (5), Ceratopogonidae (4), Phoridae (4), Sciaridae (3), Cecidomyiidae (2), Simuliidae (2), Anthomyzidae (1), Culicidae (1), Dixidae (1), Dolichopodidae (1), Keroplatidae (1), Milichiidae (1), Muscidae (1), Tabanidae (1)
<b>Ephemeroptera</b>	Euthyplociidae (1), Leptophlebiidae (1)
<b>Gastropoda</b>	NI
<b>Hemiptera</b>	Veliidae (4), Belostomatidae (3), Ploiariidae (3), Notonectidae (2), Reduviidae (2), Cydnidae (1), Gelastocoridae (1), Gerridae (1), Hebridae (1)
<b>Homoptera</b>	Cicadellidae (2), Cixiidae (2)
<b>Hymenoptera</b>	Braconidea (1), Formicidae (10), Mutillidae (1)
<b>Isopoda</b>	Armadilidae (1), Platyarthridae (1), Porcelionidae (1), Styloniscidae (1)
<b>Isoptera</b>	Termitidae (2)
<b>Lepidoptera</b>	Hesperiidae (1), Noctuidae (4), Pyralidae (1), Tineidae (8)
<b>Megaloptera</b>	Corydalidae (1)
<b>Neuroptera</b>	Myrmeleontidae (1)
<b>Odonata</b>	Coenagrionidae (1), Libellulidae (1), Protoneuridae (1)
<b>Opiliones</b>	Gonyleptidae (3), Scadabiidae (1)
<b>Orthoptera</b>	Phalangopsidae (2)
<b>Ostracoda</b>	NI
<b>Palpigradi</b>	Eukoeneiidae (1)
<b>Plathelminthes</b>	Temnocephalidae (1)
<b>Plecoptera</b>	Perlidae (1)
<b>Polydesmida</b>	Polidesmoide (1)
<b>Polyxenida</b>	Polyxenidae (1)
<b>Pseudoscorpiones</b>	Chernetidae (1), Chthoniidae (2), Garypidae (1)
<b>Psocoptera</b>	Lepidopsocidae (1), Psyllipsocidae (4), Ptyloneuridae (2)
<b>Spirobolida</b>	Rhinocricidae (1)
<b>Spirostreptida</b>	Pseudonannolenidae (1)
<b>Trichoptera</b>	Hydropsichidae (1), Leptoceridae (1)
<b>Turbellaria</b>	NI

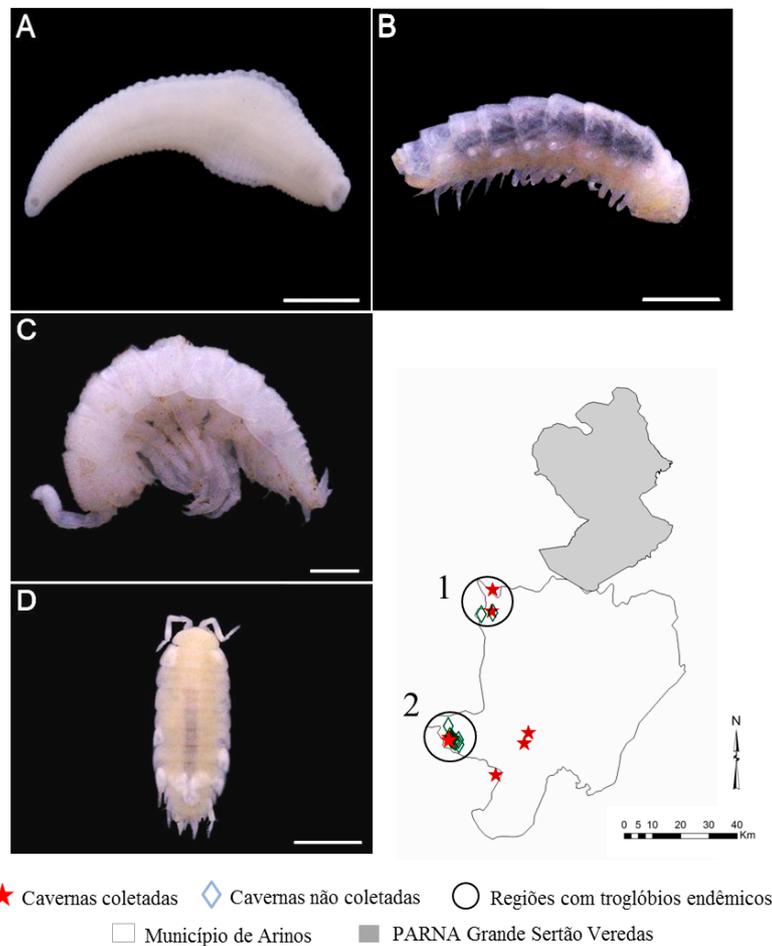
Tabela 2: Cavernas estudadas no município de Arinos, região Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2010 e suas respectivas coordenadas geográficas (UTM) (X,Y,Z), desenvolvimento linear amostrado (DL), riqueza total de espécies (S) e de espécies troglomórficas (ST).

<b>Cavernas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>DL</b>	<b>S</b>	<b>ST</b>
Lapa do Camilo	353310	8240506	23L	120	115	2
Lapa da Capa	357713	8236358	23L	480	113	0
Lapa da Marcela	354261	8240358	23L	400	94	0
Lapa da Suindara	354162	8240098	23L	160	55	0
Lapa do Salobo	369279	8287176	23L	40	50	2
Lapa do Taquaril	369401	8295327	23L	150	78	1
Lapa do Velho Juca	354106	8240266	23L	70	46	2

Sete espécies com características troglomórficas foram registradas, sendo cada espécie restrita a uma única caverna, portanto endêmicas (Tabela 3). As espécies troglomórficas compreendem Isopoda (duas espécies), Hirudinea, Collembola, Polydesmida, Polyxenida e Turbellaria (uma espécie cada) (Tabela 3). Estas espécies ocorreram em duas regiões: a primeira englobando a Lapa do Taquaril e do Salobo e a segunda englobando a Lapa do Camilo e do Velho Juca (Figura 2).

Tabela 3: Lista de espécies troglomórficas registradas para as cavernas estudadas no município de Arinos, região Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2010. Aqui é destacado o endemismo das espécies, não sendo registradas em mais que uma cavidade.

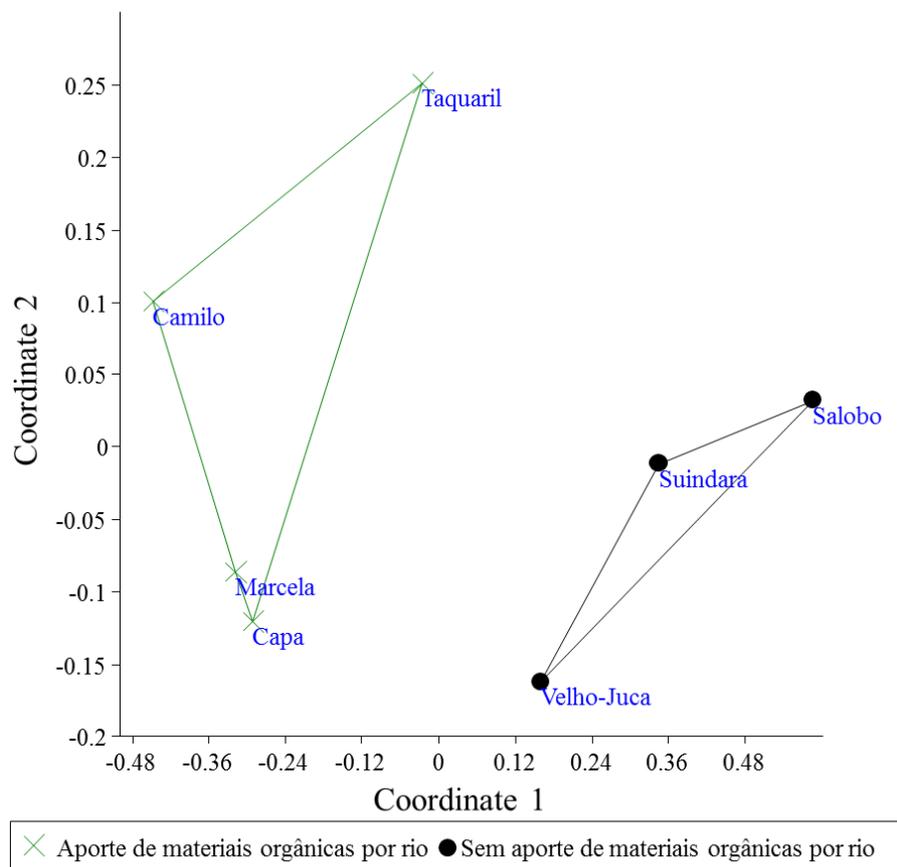
<b>Morfo-espécies</b>	<b>Lapa do Camilo</b>	<b>Lapa do Salobo</b>	<b>Lapa do Taquaril</b>	<b>Lapa do Velho Juca</b>
Hirudinea sp.	-	X	-	-
Collembola sp.	X	-	-	-
<i>Trichorhina</i> sp.	X	-	-	-
Styloniscidae sp.	-	-	-	X
Oniscodesmidae sp.	-	-	-	X
Polyxenidae sp.	-	-	X	-
Turbellaria sp.	-	X	-	-



**Figura 2:** Regiões de endemismos e algumas espécies com características troglomórficas registradas na região de Arinos, noroeste do estado de Minas Gerais. (1) Região da Lapa do Taquaril e do Salobo: (A) *Hirudinea* sp e (B) *Polyxenida* sp. (2) Região da Lapa do Camilo e do Velho Juca: (C) *Styloniscidae* sp. E *Trichorhina* sp. Barras de escala em A e D correspondem a 1 mm, em B a 500  $\mu$ m e C a 200  $\mu$ m.

O teste de Mantel mostrou que a composição faunística das cavernas não apresentou relação com a distância geográfica entre elas. A análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), indicou a separação das cavernas em dois grupos (Figura 3). O primeiro grupo é composto pelas cavernas Lapa da Marcela, da Capa, do Camilo e do Taquaril, todas transpassadas por rios aportando materiais alóctones, e o segundo pela Lapa do Velho Juca, da Suindara e do Salobo, sendo que as duas primeiras são

cavernas secas e a última possui uma drenagem que sai da caverna, portanto não realiza o aporte de materiais alóctones (Figura 3). A separação foi confirmada pela one-way ANOSIM (R: 0.83, p: 0.03).



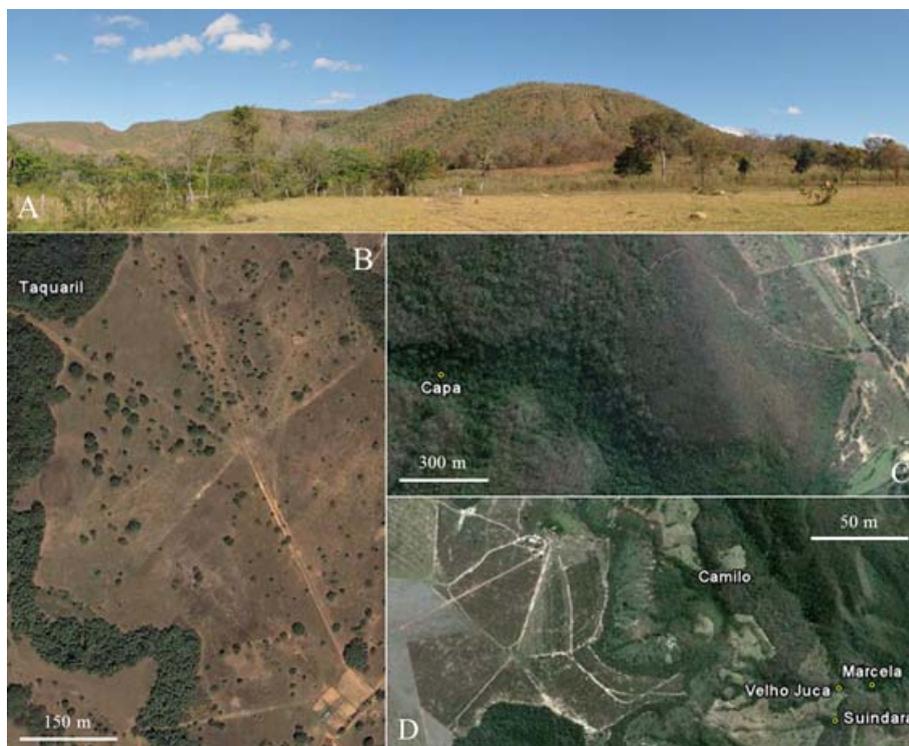
**Figura 3:** Análise de escalonamento multidimensional não métrica (nMDS) baseada no índice de similaridade de Jaccard para as cavernas estudadas no município de Arinos, região Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2010 (Stress: 0.08). A figura destaca os dois grupos formados. O primeiro grupo composto pelas cavernas Lapa da Marcela, da Capa, do Camilo e do Taquaril, todas com rio aportando materiais para o interior, e o segundo pela Lapa do Velho Juca, da Suindara e do Salobo, todas sem aporte de materiais por rio.

### Impactos e ameaças

Os principais impactos registrados no entorno (~250 m) das cavernas compreenderam a remoção da cobertura vegetal, para a criação de trilhas ou

para a utilização como lenha ou conversão em pastagem e cultivos (Tabela 4, Figura 4). As porções internas das cavernas encontravam-se preservadas, tendo sido observado apenas o pisoteamento e algumas pichações na Lapa do Salobo (Tabela 4). A Lapa da Capa foi a única cavidade que não apresentou quaisquer impactos visíveis.

Os principais impactos potenciais para as cavernas estudadas compreendem a poluição e exploração dos recursos hídricos (Tabela 5).



**Figura 4:** Alguns impactos e ameaças no entorno das cavernas estudadas em Arinos, noroeste de Minas Gerais. (A) Lapa do Salobo e (B) Lapa do Taquaril mostrando a conversão da mata nativa em pastagem. (C) Lapa da Capa sem impactos visíveis, mas com atividades agropecuárias a uma distância de aproximadamente um quilômetro. (D) Cavernas Lapa do Camilo, da Marcela, da Suindara e do Velho Juca mostrando a conversão da mata nativa em áreas agrícolas. Imagens A, B e C: Google Earth (2008).

Tabela 4: Lista de impactos reais no entorno (~250 m) e interior das cavernas estudadas no município de Arinos, região Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2010.

Caverna	Impactos reais no entorno (~250 m)						Impactos reais no interior	
	Trilha	Remoção da vegetação	Pecuária	Lixo / entulho	Assoreamento	Queimada	Pisoteamento	Pichações
Lapa do Camilo	X	X	-	-	-	-	-	-
Lapa da Capa	-	-	-	-	-	-	-	-
Lapa da Marcela	-	X	X	-	-	X	-	-
Lapa da Suindara	X	X	-	-	X	-	-	-
Lapa do Salobo	X	X	-	X	-	-	X	X
Lapa do Taquaril	-	-	-	X	-	-	-	-
Lapa do Velho Juca	X	X	-	-	X	-	-	-

Tabela 5: Lista de impactos potenciais no entorno (~250 m) e interior das cavernas estudadas no município de Arinos, região Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2010.

Caverna	Impactos potenciais no entorno (~250 m)			Impactos potenciais no interior	
	Poluição de curso d'água	Exploração de recursos hídricos	Desmatamento	Poluição de corpos d'água	Exploração de recursos hídricos
Lapa do Camilo	X	-	-	X	-
Lapa da Capa	-	-	-	-	-
Lapa da Marcela	X	X	X	X	X
Lapa da Suindara	-	-	-	-	-
Lapa do Salobo	X	X	-	X	X
Lapa do Taquaril	X	X	-	X	X
Lapa do Velho Juca	-	-	-	-	-

## **DISCUSSÃO**

### **Aspectos biológicos**

O presente estudo revelou uma alta riqueza de espécies para as cavernas da região. Esta alta riqueza é confirmada quando comparada com cavernas de outras regiões do Brasil, que em média apresentam 50 espécies (sd: 20) (Bento, 2011; Bernardi et al., 2012; Cordeiro, 2008; Ferreira, 2004; Ferreira & Horta, 2001; Ferreira et al., 2009; Ferreira et al., 2010; Santana et al., 2010; Souza, 2012; Souza-Silva & Ferreira, 2009; Souza-Silva et al., 2011b,c; Zampaulo, 2010; Zeppelini Filho et al., 2003; Fundação Estadual do Estado de São Paulo, 2010a,b,c,d).

A região brasileira que tem maior destaque quanto à riqueza de espécies é a região do município de Cordisburgo. Souza (2012), em estudo realizado em 17 cavernas, registrou uma riqueza média de 80 ( $\pm 47.8$ ) espécies. Dentre as cavernas estudadas por Souza (2012), destaca-se a Gruta Morena, possuindo uma riqueza de 238 espécies. Assim, as cavernas da região de Arinos juntamente com a região de Cordisburgo, podem ser consideradas regiões de destaque no país quanto à diversidade de espécies cavernícolas.

A alta riqueza encontrada provavelmente ocorre em função da presença de rios no interior das cavidades. Rios importam matéria orgânica, que pode ser utilizada como habitat e recurso alimentar por diversas espécies terrestres. Os rios podem também transportar invertebrados do meio externo, que colonizam e acabam se estabelecendo nas cavernas, utilizando a matéria orgânica como abrigo e alimento (Souza-Silva et al., 2012), aumentando a riqueza e o número de indivíduos associados às cavidades.

Embora nenhuma das cavernas estudadas apresente grande riqueza de espécies troglóbias, é importante destacar o endemismo encontrado. Nenhuma dessas espécies apareceu em mais que uma caverna. O endemismo é comumente registrado para espécies troglóbias (Culver & Wilkens, 2000; Culver & Pipan, 2009), fato que agrava a fragilidade dessas espécies frente a alterações em seus habitats. Desta forma, as quatro cavernas da região que

abrigam estas espécies devem ser prioritariamente incluídas em planos de conservação (Figura 5).

A separação das cavernas quanto à composição de espécies foi influenciada pela presença de rios aportando materiais orgânicos alóctones para o interior das cavernas. A presença de rios pode causar distúrbios (e.g. inundação) que selecionam as mesmas espécies que irão colonizar a caverna, ainda que estas estejam distantes (Simões, M.H.; Ferreira, R.L. e Souza-Silva, M., dados não publicados). Um fato que corrobora esta ideia é que a proximidade não influenciou a composição de espécies. Por exemplo, a Lapa do Taquaril apresentou maior similaridade com a Lapa da Marcela, aproximadamente 57 km de distância, do que com a Lapa do Salobo, cerca de 8 km de distância.

#### **Ameaças à fauna cavernícola**

A principal ameaça à fauna cavernícola observada foi a remoção da vegetação externa. A perda de cobertura vegetal no entorno das cavidades pode levar a extinção de espécies localmente endêmicas (Reboleira *et al.*, 2011). Além disto, existem as espécies para-epígeas, ou seja, que vivem na interface entre o meio epígeo e hipógeo (Prous *et al.*, 2004). A remoção da vegetação do entorno pode diminuir o aporte de recurso para o ambiente e alterar o habitat destas espécies, por exemplo, mudando a temperatura e umidade do local.

A poluição e exploração de corpos d'água é uma ameaça potencial para as cavernas estudadas, pois a principal fonte econômica da região é a atividade agropecuária (Fonte: IBGE, 2009). Os impactos causados por este tipo de atividade podem acarretar alterações severas no ambiente e na fauna cavernícola. Um exemplo de espécie afetada por este tipo de impacto é o molusco *Antrobia culveri* Hubricht (1971), residente na caverna Tumbling Creek, Missouri, USA. Práticas agrícolas estão afetando a qualidade da água, provavelmente causando a diminuição da população desta espécie (Neill *et al.*, 2004). A exploração de recursos hídricos pode diminuir o nível de água e causar perda de habitat. Por exemplo, o declínio do nível da água tem

causado perdas na comunidade de espécies que dependem deste habitat no sudoeste da Austrália (Eberhard & Davies, 2011).

### **Ações para conservação**

Diante das ameaças observadas, as principais recomendações emergenciais para conservação das cavernas estudadas e de sua fauna seria a recuperação do entorno das cavidades que apresentam algum tipo de remoção da vegetação. Além disso, é fundamental a realização de programas de conscientização (especialmente dos proprietários de terras no entorno das cavidades) quanto ao uso adequado da terra e dos recursos hídricos, para que não ocorra a poluição e superexploração dos corpos d'água.

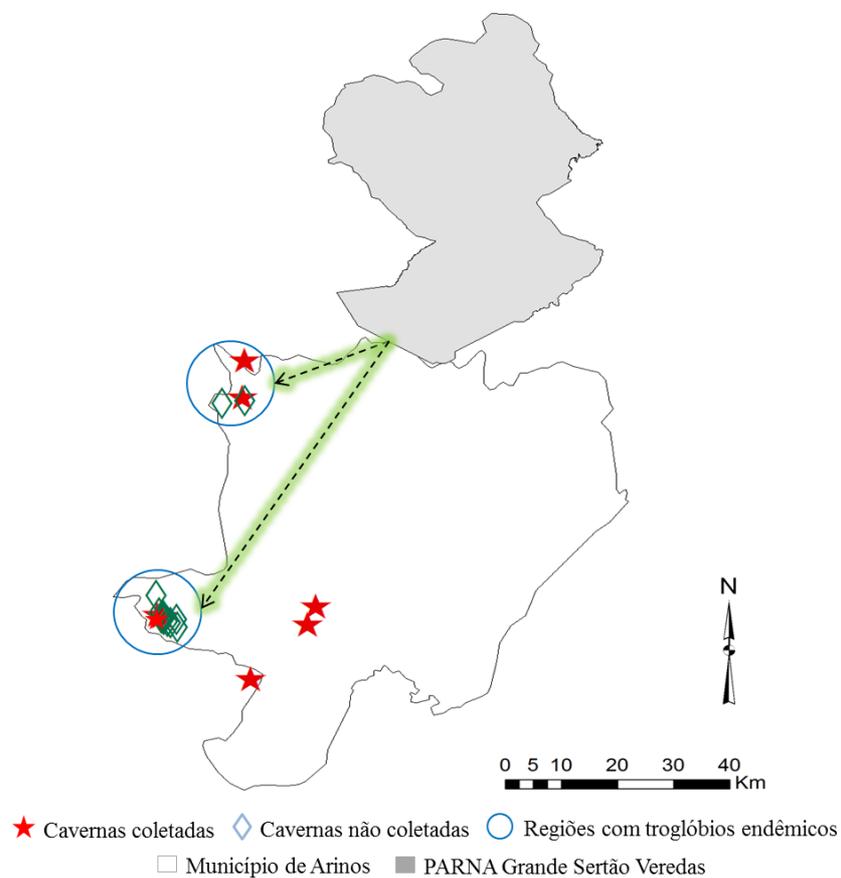
É importante ressaltar que terrenos cársticos e cavernas estão entre os ambientes mais vulneráveis do planeta. Características como a hidrologia e geomorfologia, fazem do carste um ambiente interligado entre diferentes regiões (Ford & Williams, 2007). Assim, distúrbios podem resultar de impactos e alterações ocorridos em uma distância considerável, sendo necessárias ações de conservação em níveis local e regional, para que se tenha uma efetiva proteção e manejo destes ambientes (Watson et al., 1997).

A proximidade da região de Arinos com os limites do PARNA Grande Sertão Veredas faz desta região um local de extrema importância, já que esta área atua como zona de amortecimento do parque. Em 2005, o atlas sobre a biodiversidade e as áreas prioritárias para conservação em Minas Gerais, lançado pela Fundação Biodiversitas, propunha a criação de um corredor entre a região de Arinos e o PARNA Grande Sertão Veredas (Drummond et al., 2005).

Uma possível alternativa para conservação das cavernas (e de sua fauna) seria a criação de uma unidade de uso sustentável, que incorporasse principalmente as cavernas que abrigam espécies troglóbias endêmicas. A categoria de unidade de conservação que mais se enquadraria na região de Arinos seria a de Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). Em geral, uma ARIE é uma área de pequena extensão, com pouco ou nenhuma ocupação humana, com características únicas ou com exemplares raros da

biota, que visa compatibilizar o uso das terras com os objetivos da conservação (Fonte: Ministério do Meio Ambiente).

A criação de uma unidade de conservação poderia estar vinculada ao Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco, uma vez que Arinos faz parte da região de abrangência deste plano (Cavalcanti et al., 2012). Assim, a criação do corredor proposto anteriormente, poderia ligar a região do parque com a região onde estão inseridas as cavernas de Arinos, principalmente às regiões de endemismos (Figura 5).



**Figura 5:** Limites geográficos do município de Arinos, Noroeste de Minas Gerais, e do Parque Nacional Grande Sertão Veredas. A figura mostra a localização de todas as cavernas atualmente registradas para Arinos, com destaque para as abrangidas no presente estudo e para as regiões com espécies troglóbias endêmicas. As setas indicam possíveis direções de um futuro corredor ecológico entre o parque e a região das cavernas de Arinos.

### **Considerações finais**

As cavernas do município de Arinos apresentam uma elevada riqueza de espécies, principalmente pela presença de rios que frequentemente carregam grande quantidade de matéria orgânica para o interior das cavidades, fornecendo alimento e abrigo para inúmeras espécies. Todas as espécies troglomórficas foram endêmicas a uma única cavidade, sendo, portanto, habitats prioritários para conservação.

Várias cavernas de Arinos ainda não têm sua biota conhecida. Assim, mais inventários biológicos são necessários para que se tenha um melhor diagnóstico da fauna cavernícola. Além disto, a região leste do município ainda não possui registro de cavernas, sendo necessárias prospecções para confirmar a existência ou não de cavernas nesta área.

A expansão de práticas agropecuárias na região é a ameaça mais preocupante para a fauna cavernícola. Este tipo de uso da terra, além da conversão de matas em pastagens, pode poluir cursos d'água com agrotóxicos e poluentes resultantes da criação de animais e práticas agrícolas, podendo causar sérios distúrbios nas populações cavernícolas.

Um passo importante para a conservação das cavernas da região seria o investimento na educação ambiental da população, principalmente rural, quanto ao uso adequado das terras e recursos hídricos, e a importância disto para a manutenção da fauna cavernícola. A criação de reservas e corredores ecológicos por si só, não são suficientes para conservação, mas compreendem um passo primordial para a construção de estratégias regionais de conservação (Margules & Pressey, 2000). A criação de reservas para proteção da biodiversidade e dos recursos naturais é um passo importante, mas que deve considerar aspectos econômicos, sociais e ecológicos, para que tenha o fundamental apoio da sociedade.

### **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro, projeto APQ-01854-09. Agradecemos

ao Rosinei de Oliveira e Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, pelos auxílios nas coletas. Aos amigos do Laboratório de Ecologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras. Ao Espeleo Grupo de Brasília (EGB), pelas informações sobre as cavernas da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENTO, D. M. *Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação*. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BERNARDI, L. F. O.; PELLEGRINI, T. G.; TAYLOR, E. L. S.; FERREIRA, R. L. Aspectos ecológicos de uma caverna granítica no sul de Minas Gerais. *Espeleo-Tema*, Campinas, v. 23, n. 1, p. 5-12, 2012.

CAVALCANTI, L. F.; LIMA, M. F.; MEDEIROS, R. C. S.; MEGUERDITCHIAN, I. *Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco: Série Espécies Ameaçadas*. 27 ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. 140p.

CLARKE, K.R. Non-parametric multivariate analyses of change in community structure. *Australian Journal of Ecology*, v. 18, n. 1, p. 117-143, 1993.

CORDEIRO, L. M. *Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades*. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2008.

CULVER, D. C. *Cave life: Evolution and Ecology*. Massachusetts and London: Harvard University Press, 1982. 189p.

CULVER, D. C.; MASTER, L. L.; CHRISTMAN, M. C.; HOBBS III, H. H. Obligate cave fauna of the 48 contiguous United States. *Conservation Biology*, v. 14, n. 2, p. 386-401, 2000.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. *The biology of caves and other subterranean habitats*. New York: Oxford University Press, 2009. 254p.

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. *Ecosystems of the World*, v. 30: Subterranean Ecosystems. Amsterdam: Elsevier Press, 2000. p. 381-397.

DERRAIK, J. G. B.; CLOSS, G. P.; DICKINSON, K. J. M.; SIRVID, P.; BARRATT, B. I. P.; PATRICK, B. H. Arthropod Morphospecies versus Taxonomic Species: a Case Study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera. *Conservation Biology*, v.16, n. 4, p. 1015-1023, 2002.

DERRAIK, J. G.; EARLY, J. W.; CLOSS, G. P.; DICKINSON, K. J. Morphospecies and taxonomic species comparison for Hymenoptera. *Journal of Insect Science*, v. 10, n. 108, p. 1-7, 2010.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. 2 ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222p.

EBERHARD, S., DAVIES, S. Impacts of drying climate on aquatic cave fauna in Jewel Cave and other caves in southwest western Australia. *Journal of the Australasian Cave and Karst Management Association*, n. 83, p. 6-13, 2011.

ELLIOTT, W. R. Conservation of the North American cave and karst biota. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. *Ecosystems of the World*, v. 30: Subterranean Ecosystems. Amsterdam: Elsevier Press, 2000. p. 665-689.

FERREIRA, D.; MALARD, F.; DOLE-OLIVIER, M. J.; GIBERT, J. Obligate groundwater fauna of France: diversity patterns and conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, v. 16, p. 567-596, 2007.

FERREIRA, R. L. *A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos*. 2004. 158 f. Tese (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

FERREIRA, R. L.; BERNARDI, L. F. O.; SOUZA-SILVA, M. Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): Subsídios para o turismo nestas cavidades. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 9, n. 1, p. 41-58, 2009.

FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves. *Revista Brasileira Biologia*, v. 61, n. 1, p. 7-17, 2001.

FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; BERNARDI, L. F. O.; SOUZA-SILVA, M. Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v. 1, n. 1, 2010.

FORD, D.C.; WILLIAMS, P. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 576p.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano de manejo espeleológico: Caverna do Diabo, 2010<sup>a</sup>*. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/>. Acesso em: 03 nov. 2012.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano de manejo espeleológico: Gruta da Capelinha 2010<sup>b</sup>*. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/>. Acesso em: 03 nov. 2012.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano de manejo espeleológico: Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) 2010<sup>c</sup>*. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/>. Acesso em: 03 nov. 2012.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano de manejo espeleológico: Parque Estadual Intervales 2010<sup>d</sup>*. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-espeleologicos/>. Acesso em: 03 nov. 2012.

IBAMA. *Plano de manejo do Parque Nacional Grande Sertão Veredas, 2003*. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna\\_grande\\_sertao\\_veredas.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna_grande_sertao_veredas.pdf). Acesso em: 03 nov. 2012.

LEWIS, J. J.; MOSS, P. H.; TECIC, D.; NELSON, M. E. A conservation focused inventory of subterranean invertebrates of the southwest Illinois karst. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 65, n. 1, p. 9-21, 2003.

MAGURRAN, A. E. *Measuring biological diversity*. New York: Blackwell Science Ltd, 2004. 256p.

MANLY, B. F. J. Randomization and regression methods for testing for associations with geographical, environmental and biological distances between populations. *Researches on Population Ecology*, v. 28, n. 2, p. 201-218, 1986.

- MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Researcher*, v. 27, n. 2, p. 209-220, 1967.
- MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. *Nature*, v. 405, p. 243-253, 2000.
- NEILL, H.; GUTIÉRREZ, M.; ALEY, T. Influences of agricultural practices on water quality of Tumbling Creek cave stream in Taney County, Missouri. *Environmental Geology*, v. 45, n. 5, p. 550-559, 2004.
- OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. *Conservation Biology*, v. 1, n. 10, p. 99-109, 1996.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecótono delimitation: epigeal-hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology*, v. 29, n.4, p. 374-382, 2004.
- 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. *Cave Biology: Life in Darkness*. New York: Cambridge University Press, 2009. 306p.
- SANTANA, M. E. V., SOUTO, L. S., DANTAS, M. A. T. Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias - Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem. *Scientia Plena*, v. 6, n. 12, p. 1-8, 2010.
- SOUZA-SILVA, M. *Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira*. 2008. 2011 f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- SOUZA-SILVA, M.; BERNARDI, L. F. O.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave. *Acta Carsologica*, v. 41, n. 1, p. 139-150, 2012.
- SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. 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*, v. 9, n. 1, p. 59-71, 2009.

SOUZA-SILVA, M.; NICOLAU, J. C.; FERREIRA, R. L. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. *Espeleo-Tema*, v. 22, n. 1, p. 79-91, 2011b.

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 Conservation*, v. 20, n. 8, p. 1713-1729, 2011a.

WARD, D. F; STANLEY, M. C. The value of RTUs and parataxonomy versus taxonomic species. *New Zealand Entomologist*, v. 27, n.1, p. 3-9, 2004.

WATSON, J.; HAMILTON-SMITH, E.; GILLIESON, D.; KIERNAN, K. *Guidelines for cave and karst protection*. Switzerland and Cambridge: IUCN, 1997. 63p.

WEINSTEIN, P.; SLANEY, D. Invertebrate faunal survey of Rope Ladder cave, Northern Queensland: a comparative study of sampling methods. *Journal of Australian Entomological Society*, v. 34, n.3, p. 233-236, 1995.

ZAMPAULO, R. A. *Diversidade de invertebrados na província espeleológica de Arcos, Pains, Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação*. 2010. 190 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 43, n. 5, p. 93-99, 2003.