



**MAYSA FERNANDA VILLELA REZENDE SOUZA**

**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**

**LAVRAS – MG**

**2012**

**MAYSA FERNANDA VILLELA REZENDE SOUZA**

**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**

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

Orientador

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Coorientador

Dr. Marconi Souza Silva

**LAVRAS – MG**

**2012**

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

Souza, Maysa Fernanda Villela Rezende.

Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de  
Cordisburgo, MG : subsídios para definição de cavernas prioritárias  
para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas /  
Maysa Fernanda Villela Rezende Souza. – Lavras : UFLA, 2012.

149 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Fauna cavernícola. 2. Comunidades cavernícolas. 3. Carste. 4.  
Troglomórfico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.522

**MAYSA FERNANDA VILLELA REZENDE SOUZA**

**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**

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

APROVADA em 29 de fevereiro de 2012.

Dr. Abel Pérez González                      UFRJ

Dr. Júlio Neil Cassa Louzada                UFLA

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Orientador

Dr. Marconi Souza Silva

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2012**

Ao grande amor de minha mãe.

**PARA SEMPRE**

*Por que Deus permite  
que as mães vão-se embora?*

*Mãe não tem limite,  
é tempo sem hora,  
luz que não apaga  
quando sopra o vento  
e chuva desaba,  
veludo escondido  
na pele enrugada,  
água pura, ar puro,  
puro pensamento.*

*Morrer acontece  
com o que é breve e passa  
sem deixar vestígio.*

*Mãe, na sua graça,  
é eternidade.*

*Por que Deus se lembra  
- mistério profundo -  
de tirá-la um dia?*

*Fosse eu Rei do Mundo,  
baixava uma lei:*

*Mãe não morre nunca,  
mãe ficará sempre  
junto de seu filho  
e ele, velho embora,  
será pequenino  
feito grão de milho.*

*Carlos Drummond de Andrade*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela minha vida e pelas pessoas maravilhosas que colocou em meu caminho, muitas das quais foram partes extremamente importantes deste processo. Entre elas gostaria de citar primeiramente meus pais Marilda e Francisco e minha avó Juracy, que embora não possam estar presentes, sempre foram minha força e me indicaram bons caminhos a seguir. Outra pessoa a quem agradeço muito por estar presente em vida é meu amigo, “pai adotivo” e eterno orientador Rodrigo. Meus sinceros agradecimentos pelos ensinamentos, pelos conselhos, pelas piadas que alegam meu dia e pelo constante incentivo na realização dos estudos sobre os peculiares seres que habitam o ambiente subterrâneo.

Sou extremamente grata ao meu coorientador Marconi, não só pelo auxílio durante todo processo de realização do projeto (coleta, triagem, identificação e redação), mas também pela sua sincera amizade, pelas risadas e palavras de conforto.

Sou muito grata também aos meus tios, primos e irmãos, pela confiança e carinho, principalmente ao meu irmão Francis que sempre foi meu exemplo de determinação, persistência e coragem.

Aos colegas de laboratório Sassanha, Poldo, Chassi, Tripé, Talita, Teta, Ana, Babu, Dani, Isabela e Marcela, pela ajuda nos trabalhos de campo, na triagem de material, contagem de “mapinhas” e acima de tudo pela amizade.

Meus sinceros agradecimentos às amigas; Ana Carla, Chrislaine, Gabriela, Izabel, Larissa e Sabrina, pelos bons momentos que me proporcionaram. Por mais que o tempo insista em nos separar, é possível perceber que os laços continuam fortes e que posso contar com vocês sempre. Meus agradecimentos especiais à minha amiga de infância Milena, sua mãe Clarice e todos os demais membros da família Reghin, pelo acolhimento e por terem se tornado minha segunda família.

Ao Pedro, uma pessoa maravilhosa, pelo carinho, paciência e companhia.

Aos especialistas, Dr. Abel Pérez González, Dr. Antônio Brescovit, Dra. Leila Souza, e aos alunos de pós-graduação em Ecologia Aplicada, Thais Giovannini Pellegrini, Leopoldo de Oliveira Bernardi e Pedro Ratton Alves de Sousa, pelo auxílio na identificação do material biológico.

Aos funcionários do IEF Mário e Raquel e a todos os funcionários da Maquinetur, especialmente Gilson, os agradecimentos pelo acolhimento e precioso apoio logístico durante a realização dos trabalhos de campo no município de Cordisburgo.

Aos colegas e professores do programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada, pelos conhecimentos compartilhados.

E finalmente, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo suporte financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

*E mais do que tudo, a Gruta do Maquiné – tão inesperada de grande,  
com seus sete salões encobertos, diversos, seus enfeites de tantas cores e tantos  
formatos de sonho, rebrilhando risos de luz - ali dentro a gente se esquecia  
numa admiração esquisita, mais forte que o juízo de cada um, com mais glória  
resplandecente do que uma festa, do que uma igreja.*

*Guimarães Rosa (2001)*



## RESUMO

O carste da região de Cordisburgo (Minas Gerais) apresenta grande importância científica no contexto nacional devido às descobertas paleontológicas e espeleológicas feitas pelo naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund. Dentre as cavernas da região, merece destaque a Gruta de Maquiné, cuja exploração turística ocorre desde o ano de 1908. Em 1967 foi criada a infraestrutura turística que incluía escadas, alterações no piso e iluminação. A partir de então, numerosos eventos provavelmente geraram impactos sobre o sistema biológico da cavidade. Apesar da grande relevância histórica e cultural, pouco se conhece a respeito da biologia subterrânea desta região. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a comunidade de invertebrados associada às cavernas dessa região e detectar as principais ameaças incidentes, subsidiando propostas para a conservação e manejo. Devido ao intenso uso turístico da Gruta de Maquiné, foram elaboradas recomendações mais específicas sobre o manejo biológico nesta cavidade. Foram amostradas 15 cavernas neste município obtendo-se dados de riqueza total, riqueza de troglóbios, diversidade e similaridade entre as cavernas. Foi encontrado um total de 751 espécies de invertebrados, dentre as quais 39 são troglomórficas. Foi observada uma riqueza média de 80 espécies por cavidade e uma razão de 2,6 espécies troglomórficas por caverna. A diversidade média das cavernas amostradas foi 2,52. As cavernas não apresentaram um agrupamento claro em relação à similaridade. A riqueza total de espécies foi maior em cavernas com presença de corpos d'água e a riqueza de troglóbios e a riqueza total das cavernas foram significativamente correlacionadas à largura das entradas, ao número de entradas e à projeção horizontal. As grutas Morena e Maquiné foram classificadas como sendo de extremo grau de vulnerabilidade e, portanto, prioritárias para conservação na região de Cordisburgo. Para a Gruta de Maquiné, que já se encontra dentro de uma unidade de conservação, sugere-se a implantação de um plano de manejo. De forma geral, os invertebrados distribuem-se preferencialmente pelas partes turísticas desta cavidade, sendo as zonas interditas à visitação relativamente pouco povoadas. Dessa forma, sugere-se a criação de “corredores de migração” de forma a direcionar as populações presentes nestes locais para regiões não visitadas na caverna. Além disso, sugere-se que a região de entrada seja mantida o próximo possível das suas condições originais para facilitar o estabelecimento das comunidades parasíticas. Uma medida essencial para região seria a criação de outras unidades de conservação para preservação da Gruta da Morena e de outras cavidades com alta vulnerabilidade e extrema relevância biológica.

Palavras-chave: Cavernas. Invertebrados. Conservação. Manejo

## ABSTRACT

The karst area of the region of Cordisburgo (Minas Gerais) shows great scientific importance in the national context due to the paleontologic and speleologic discoveries made by the naturalist Peter Wilhem Lund. Since 1908, touristic exploration have been taken place in Maquiné cave, therefore it needs closer attention among the other caves in the region. In 1967, its touristic infrastructure was created, including stairways, floor alterations and illumination. Since then numerous events probably generated impacts over the cavity biological system. Despite of the great historical and cultural relevance the underground biology of this region is poorly studied. Thus, the present study has as one of its objective to characterize the invertebrate community associated to the caves of the municipality of Cordisburgo and to detect the main threats, generating information that can contribute to conservation and management actions. Because of the intense touristic exploitation of the Maquiné cave, specific recommendations about the biological management were elaborated. Fifteen caves were sampled yielding data on: total richness, troglobitic richness, diversity and similarity between the caves. It was found a total of 751 species among which 39 were considered troglomorphic. The average richness of 80 species per cavity was observed and the ratio of 2,6 troglomorphic species per cave. The sampled caves average diversity was 2,52. The caves did not show a clear grouping relating to the similarity. The total richness was greater in the caves with water streams inside. The troglobitic richness and the total richness were significantly correlated to the entrance width, to the number of entrances and to the cave length. Morena and Maquiné natural cavities were rated as been extremely vulnerable, therefore, deserve conservation priorities. It is suggested to the Maquiné cave a biological management plan since it is located in a conservation area. Generally, the invertebrate fauna is mainly distributed in the touristic area in this cave rather than in non visited areas. Therefore, it is suggested the creation of migration passageways with means to orientate the invertebrate populations to non visited places inside the cave. Besides, it is essential that the cave entrance should be kept as similar as possible as its original conditions in order to facilitate the establishment of the para-epigean communities. It is fundamental to establish new conservation areas in the study region for the preservation of Morena cave and many other cavities with extreme biological relevance and high vulnerability.

Keywords: Caves. Invertebrates. Conservation. Management.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1 Características gerais de cavernas e dos organismos cavernícolas</b> ...	15
<b>2.2. Principais impactos incidentes em ambientes cársticos</b> .....	19
<b>2.3 Conservação e manejo de cavernas</b> .....	22
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	25
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	28
<b>5. HIPÓTESES</b> .....	29
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30
<b>SEGUNDA PARTE</b> .....	36
<b>ARTIGO 1 DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS SUBTERRÂNEOS DE CORDISBURGO, MINAS GERAIS: SUBSÍDIOS PARA A DETERMINAÇÃO DE CAVERNAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO</b> .....	37
<b>RESUMO</b> .....	37
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	38
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	43
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
<b>4. RESULTADOS</b> .....	54
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	69
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	84
<b>7. AGRADECIMENTOS</b> .....	87
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	87

<b>ARTIGO 2: CARACTERIZAÇÃO DA FAUNA DE INVERTEBRADOS DA LAPA NOVA DE MAQUINÉ (CORDISBURGO, MG):</b>	
<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O MANEJO BIOLÓGICO DA CAVIDADE..</b>	<b>100</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>100</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>102</b>
<b>2. OBJETIVOS:.....</b>	<b>105</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>106</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>110</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>135</b>
<b>6. AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>144</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>145</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi realizada a partir da amostragem da fauna de invertebrados presentes em quinze cavernas localizadas no município de Cordisburgo, Minas Gerais. A primeira parte inicia-se com o *Referencial Teórico*, onde foi feita uma breve caracterização do ambiente cavernícola e dos organismos que o habitam e dos principais impactos incidentes sobre as áreas cársticas. Além disso, foram abordados aspectos relacionados à conservação e manejo destes ecossistemas. Em seguida foi feita a caracterização da área de estudo e apresentados os objetivos e hipóteses gerais da dissertação.

A segunda parte corresponde aos artigos da dissertação. No primeiro capítulo objetivou-se fazer uma caracterização da comunidade de invertebrados associada a quinze cavernas localizadas no município de Cordisburgo (Minas Gerais) e detectar as principais ameaças potenciais e reais incidentes sobre estes ambientes, subsidiando propostas para a conservação e manejo de cavernas na região. O segundo capítulo corresponde a uma caracterização da fauna de invertebrados da Lapa Nova de Maquiné, bem como a elaboração de um plano de manejo biológico para que o uso turístico ocorra de forma a impactar o mínimo possível a fauna da cavidade. A Lapa Nova de Maquiné foi escolhida para ser estudada de forma mais detalhada por ser uma das cavernas turísticas mais conhecidas do Brasil, sendo explorada para este fim desde o início do século XX. Dessa forma, corresponde a uma caverna de extrema relevância no cenário nacional, sendo um importante componente da história da região de Cordisburgo.

É importante ressaltar que como esta dissertação foi estruturada na forma de artigos científicos, algumas informações presentes no referencial

teórico ou área de estudo foram usadas novamente em cada artigo, quando necessário.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Características gerais de cavernas e dos organismos cavernícolas**

As cavernas constituem um dos componentes presentes em relevos cársticos. Estes, por sua vez, constituem-se de terrenos com hidrologia distintiva e que apresentam uma série de formas características devido à presença de uma rocha de alta solubilidade e com porosidade secundária (fraturas) bem desenvolvida. Regiões cársticas constituídas por rochas carbonáticas cobrem de 10 a 15% das terras continentais não cobertas por gelo e aproximadamente entre 20 e 25% da população mundial dependem de águas subterrâneas obtidas nestes relevos (FORD; WILLIAMS, 2007).

O ambiente cavernícola é caracterizado principalmente pela elevada estabilidade ambiental e pela ausência permanente de luz (POULSON; WHITE, 1969). No meio hipógeo, a temperatura geralmente é constante, aproximando-se das médias anuais da região onde a caverna está situada. Além disso, as taxas de umidade do ar são sempre elevadas, tendendo à saturação (BARR; KUEHNE, 1971).

As entradas de cavernas compreendem habitats altamente variáveis e a partir desta região até as zonas mais profundas da cavidade há um gradiente de decréscimo de luz e aumento na umidade (HOWARTH, 1983). As regiões profundas e permanentemente escuras de uma caverna constituem ambientes muito rigorosos para colonização da maior parte dos organismos edáficos e de

superfície. Nestas regiões, as flutuações sazonais de luz e temperatura estão ausentes (GILLIESON, 1998).

A ausência de luz faz com que a produção de biomassa através da fotossíntese seja restrita às regiões de entrada. Esta limitada produção primária por fotossíntese tem sérias implicações para os organismos que habitam o ambiente subterrâneo e suas formas de vida. Muitos são desta forma, detritívoros ou predadores (GNASPINI-NETO, 1989).

As comunidades cavernícolas são altamente dependentes de recursos alimentares provenientes do ambiente epígeo. Uma importante fonte de alimento são os depósitos de matéria orgânica (húmus, folhas, troncos e galhos) carregada para o interior de cavernas por rios e enchentes. Esta matéria orgânica pode também ser transportada pelo vento e acessar as cavernas por meio de entradas e aberturas verticais no teto. Em menores quantidades, a matéria orgânica também pode percolar através do epicarste e entrar na caverna por meio de pequenas fissuras (GILBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994; GILLIESON, 1998; SOUZA-SILVA, 2003).

As raízes de árvores que penetram em cavernas também constituem uma importante fonte de recurso em algumas cavernas tropicais e temperadas (HOWARTH, 1983). Morcegos e pássaros que nidificam em cavernas também são agentes de extrema importância para a importação de matéria orgânica. Primeiramente, através da deposição de suas fezes que apresentam um alto valor nutricional e servem de alimento para vários invertebrados cavernícolas; sua prole pode ser suscetível ao ataque de predadores e parasitas; são hospedeiros potenciais para vários ecto e endoparasitas e suas carcaças podem ser consumidas por uma série de invertebrados (CULVER, 1982; FERREIRA; MARTINS, 1998, 1999; GILLIESON, 1998).



Os organismos cavernícolas podem ser classificados em três categorias (HOLSINGER; CULVER, 1988), modificado do sistema de Schinner e Racovitza: 1. Os troglóxenos correspondem àqueles organismos que utilizam as cavernas como abrigo, no entanto, precisam sair regularmente destes ambientes para se alimentar e reproduzir. Frequentemente ocorrem nas proximidades das entradas das cavernas, mas eventualmente grandes populações de troglóxenos podem ocorrer em locais mais distantes das entradas. Desta forma, muitos destes organismos atuam como importadores de energia do meio epígeo, sendo muitas vezes os principais responsáveis pelo fluxo energético em sistemas cavernícolas como cavernas permanentemente secas. 2. Os troglófilos são capazes de completar seu ciclo de vida no interior de uma caverna, apresentando populações nos ambientes hipógeo e epígeo. Neste último, os troglóxenos e troglófilos geralmente ocorrem em ambientes úmidos e sombreados. Certas espécies podem, ainda, serem troglóxenas sob certas circunstâncias e troglófilas em outras (e.g. cavernas com grande disponibilidade de alimento). 3. Os troglóbios são aqueles organismos restritos ao ambiente cavernícola, podendo apresentar especializações morfológicas (anoftalmia, despigmentação, alongamento de apêndices e potencialização de estruturas sensoriais), fisiológicas ou comportamentais que provavelmente evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e/ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo.

Como muitos grupos de troglóbios incluem espécies com graus de modificações morfológicas que variam amplamente, Christiansen (1962) sugeriu o termo troglomórfico para indicar as formas altamente modificadas.

Outros organismos que podem eventualmente ser encontrados nestes ambientes, chamados de acidentais por Leruth (1939), compreendem espécies que acidentalmente penetram em cavernas (por quedas em entradas verticais,

levados por meio da água, carregados por correntes de ar, por pêlos ou pele de vertebrados ou junto de outros invertebrados). Esses organismos, embora não sejam efetivamente cavernícolas, apresentam importância ecológica uma vez que seus cadáveres servem de alimento para as espécies que residem nas cavernas.

A distribuição dos organismos no meio hipógeo pode ser influenciada por inúmeros fatores, mas dentre eles a disponibilidade de recursos alimentares é muito importante (FERREIRA; MARTINS, 1998). Além disso, muitos organismos colonizam cavernas via entrada, de forma que a distância da entrada até o interior também pode ser um importante fator de influência na distribuição de alguns grupos (FERREIRA; POMPEU, 1997).

Ferreira e Martins (2001) sugeriram uma classificação das comunidades cavernícolas de acordo com sua dependência em relação aos recursos alimentares e sua distribuição espacial. As comunidades recurso-espaco-dependentes são formadas por organismos que são geralmente de pequeno tamanho corporal (menos que 5 mm), com baixa mobilidade e que são encontrados dentro dos limites das pilhas de recurso. As comunidades recurso-espaco-idependentes seriam aquelas compostas por organismos que apresentam alta mobilidade e não estão obrigatoriamente associados a um único depósito de recurso. As comunidades para-epígeas são aquelas vivem associadas às entradas de cavernas e são compostas por organismos epígeos e hipógeos.

Grandes quantidades de matéria orgânica, a presença de produção primária por plantas e uma maior diversidade de presas potenciais para espécies predadoras podem estar presentes nas zonas de entrada (GILLIESON, 1998).

Segundo Gillieson (1998), em algumas regiões da América do Norte e da Europa tem-se uma boa estimativa da diversidade cavernícola e algum conhecimento sobre sua biologia de alguns grupos taxonômicos. No entanto,

para algumas regiões do mundo como os trópicos, as amostragens de fauna são restritas a curtas visitas de pesquisadores às cavernas. Estas visitas apenas servem para mostrar o grande potencial de diversidade cavernícola presente nestas regiões. Apesar do aumento dos esforços para formação de bioespeleólogos, os estudos sobre ecologia de cavernas no nível de comunidade são relativamente poucos. Estudos sobre impactos decorrentes de ações humanas sobre a ecologia de cavernas são limitados e devem de alta prioridade para pesquisas.

## **2.2 Principais impactos incidentes em ambientes cársticos**

Gillieson (1998) ressalta a conectividade entre cavernas e o carste que as circundam e que os esforços para se conservar os ambientes subterrâneos só são válidos se houver a preocupação de se conservar a área cárstica como um todo. Segundo Ford e Williams (2007), os ambientes cársticos são extremamente frágeis e vulneráveis a impactos quando comparados a outros sistemas. Isto se deve ao fato de que alterações ambientais induzidas pelo homem, que comumente são mais rápidas do que as alterações naturais, são disseminadas a partir do ponto impactado para toda área cárstica através de processos hidrológicos.

As principais ameaças à fauna subterrânea decorrentes de ações antrópicas são a mineração, desmatamento, agricultura, turismo, poluição e extração de água (SOUZA-SILVA, 2008). A mineração constitui um impacto bastante adverso por remover habitats cavernícolas, ou mesmo significar a completa supressão da caverna (GOMES; FERREIRA; JACOBI, 2000).

A vegetação da superfície desempenha um papel fundamental na interceptação da água, regulando seu fluxo no epicarste, na produção biogênica

de dióxido de carbono que ocorre na zona das raízes e no controle da infiltração de água no solo exercido pelas folhas e raízes. Dessa forma, a remoção de vegetação de áreas cársticas ou a substituição da vegetação original pode mudar drasticamente a quantidade e o fluxo de água no carste, bem como os processos de dissolução do calcário (GILLIESON, 1998). Mudanças na estrutura da vegetação ao redor das cavernas podem afetar populações de espécies troglóxenas (como grilos e morcegos, por exemplo), que deixam as cavernas em busca de alimento (FAGAN; LUTSCHER; SCHNEIDER, 2007; TAYLOR; KREJCA; DENIGHT, 2005).

Além disso, como o recurso alimentar vem do ambiente epígeo, o desmatamento pode vir a intensificar a condição de oligotrofia das cavernas, o que pode alterar a riqueza e composição das comunidades presentes. A substituição da vegetação original presente no entorno das entradas de cavernas pode tornar o habitat menos adequado para o estabelecimento de espécies paraepigéias (PROUS; FERREIRA; MARTINS, 2004; RICHTER et al., 1993).

Pesticidas e herbicidas em áreas com agricultura podem também impactar os organismos cavernícolas. A poluição de cursos de água subterrâneos por esgoto doméstico e resíduos industriais também é um impacto ao qual muitas cavernas são submetidas. Esta prática pode causar a extinção local de espécies e favorecer a dominância daquelas que são adaptadas a estas condições (GILLIESON, 1998).

A prática de visitação de cavernas também pode impactar diretamente a fauna através do pisoteio de populações, de habitats e de recursos alimentares. O pisoteio intensivo pode causar a compactação do sedimento, tornando-o um habitat menos apropriado para muitas espécies de invertebrados (FERREIRA, 2004). Segundo Ferreira e Martins (2001), a exploração turística pode reduzir o tamanho populacional de algumas espécies devido à perda de indivíduos por

esmagamento, bem como introduzir nutrientes (transportados nos calçados de visitantes e nos resíduos eventualmente depositados no solo) com consequente atração de fauna e alterações ecossistêmicas.

Dentre os efeitos diretos de turistas sobre a atmosfera cavernícola pode-se citar alterações na deposição de espeleotemas devido ao aumento da evaporação da água causada pelo calor do corpo e pelo calor das luzes. Este calor liberado pelos turistas e pelas fontes de iluminação pode também aumentar a temperatura média no interior da caverna ao longo do tempo, como observado em Castellana Cave (Itália). Nesta caverna turística, a temperatura do ar aumentou 3°C em 22 anos (CIGNA, 1989). Além disso, o aumento dos níveis de dióxido de carbono durante as visitas pode alterar o equilíbrio químico das reações e afetar a dissolução de espeleotemas de calcita (DRAGOVITCH; GROSE, 1990; FORD; WILLIAMS, 2007).

A utilização de sistemas de iluminação contínua em cavernas turísticas cria a oportunidade de colonização e crescimento para plantas (como algas verdes filamentosas, musgos e samambaias). Essas plantas causam um efeito de poluição visual e podem corroer espeleotemas. Outro efeito das lâmpadas com amplo espectro de emissão é o aquecimento do ar e da superfície da rocha próxima ao local onde foram instaladas. Nestes locais os espeleotemas podem ser tornarem secos ou mudarem sua forma de crescimento. A substituição por lâmpadas de baixa potência, de iluminação programada e de luzes frias como leds podem ajudar a minimizar os problemas (CIGNA; BURRI, 2000; FORD; WILLIAMS, 2007; GILLIESON, 1998).

A instalação de infraestrutura no entorno de cavernas também resulta em impactos, principalmente aqueles decorrentes de mudanças na hidrologia. A impermeabilização do solo com cimento e asfalto na construção de rotas de caminhada, estruturas na entrada, estacionamentos e banheiros contrasta com

a grande permeabilidade dos sistemas cársticos, modificando a hidrologia da caverna (GILLIESON, 1998).

### **2.3 Conservação e manejo de cavernas**

Existe uma grande dificuldade de se avaliar os impactos decorrentes de atividades humanas sobre as áreas cársticas devido ao fato de não existirem estudos anteriores à incidência destes impactos. Segundo Ford e Williams (2007), existem poucas áreas cársticas do mundo onde florestas primárias têm sido mantidas em sua condição original até o presente momento, sendo que a maioria das florestas é secundária.

A conservação de ecossistemas subterrâneos apresenta problemas especiais devido à fragilidade das comunidades cavernícolas, incluindo um alto grau de endemismo e peculiaridades morfológicas, ecológicas e comportamentais das espécies troglóbias (CULVER, 1982). Estas espécies, por sua vez, são restritas ao ambiente cavernícola, sendo incapazes de estabelecerem populações viáveis no ambiente externo (HOLSINGER; CULVER, 1988). Dessa forma, estes organismos são muitas vezes priorizados em planos de manejo. Embora esta seja uma medida válida, é importante ressaltar que para a preservação de espécies vulneráveis é necessária a proteção de seu habitat como um todo (EBERHARD, 2001).

Os estudos de manejo são em geral realizados em cavernas que serão utilizadas turisticamente. Existem aproximadamente 650 cavernas turísticas no mundo com uma renda anual bruta estimada em torno de 2.5 bilhões de dólares. As áreas muito famosas como Mammoth Cave National Park (Estados Unidos) ou Guilin (China) podem receber de 0.4 a 1 milhão de visitantes por ano (FORD; WILLIAMS, 2007). Os dados apresentados por Cigna e Burri (2000) a

respeito do número de visitantes recebido por algumas importantes cavernas turísticas do mundo mostram que a Gruta de Maquiné (Cordisburgo, Minas Gerais), juntamente com a Gruta do Ubajara (Ceará) correspondem às cavernas mais visitadas do Brasil, ambas recebendo em média 47.000 visitantes por ano.

O turismo compreende um dos impactos antrópicos que tem sido adicionado a áreas cársticas. Muitas cavernas apresentam interessantes elementos geológicos, biológicos ou arqueológicos, sendo consideradas patrimônios culturais. Desta forma, faz-se necessário disponibilizar estes ambientes à visitação pública (HOYOS et al., 1998). No entanto, o uso turístico de cavernas exhibe riscos, tanto para os visitantes, quanto para a integridade física e biótica da caverna.

O ideal seria que antes da abertura de uma caverna à visitação turística, alguns de seus parâmetros naturais físicos (temperatura do ar, umidade relativa, CO<sub>2</sub> atmosférico, fluxo e qualidade de água) e biológicos (amostragem de espécies) fossem medidos. Dessa forma, a variação natural de cada um dos parâmetros hidrológicos seria determinada ao longo do ano e possíveis alterações decorrentes do turismo poderiam ser identificadas posteriormente. Estas alterações, por sua vez, poderiam ser críticas para os organismos que vivem nestas cavernas. Além disso, a presença de fósseis e de valores culturais arqueológicos e indígenas também deve ser avaliada (CALLAFORRA et al., 2003; FORD; WILLIAMS, 2007).

No entanto, é possível observar que os planos de manejo de cavernas são desenvolvidos, em sua maioria, a partir de dados climáticos da cavidade. Muitos autores ressaltam a importância de se medir parâmetros climáticos no interior de uma caverna antes desta ser aberta ao turismo ou no monitoramento daquelas cavidades já utilizadas para esta finalidade (BOGGIANI et al., 2007; CALAFORRA et al., 2003; CIGNA; BURRI, 2000; FREITAS; SCHMEKAL,

2006; HOYOS et al., 1998; LOBO, 2008; LOBO et al., 2009; RUSSELL; MCLEAN, 2008). No entanto, poucos pesquisadores (FERREIRA, 2004; GUNN; HARDWICK; WOOD, 2000) se preocupam em realizar estudos ecológicos e relacionar os parâmetros físicos às variáveis ecológicas da caverna. Segundo Ferreira (2004), os estudos destinados à conservação e manejo de cavernas devem envolver o uso de metodologias que integrem aspectos físicos das cavernas e seu entorno com aspectos biológicos como diversidade, riqueza e distribuição das espécies.

Uma ação que contribui para garantir o sucesso do plano é a obtenção prévia da maior quantidade possível de informações sobre o sistema subterrâneo (e seu entorno) a ser manejado. Além disso, o monitoramento rigoroso das comunidades após o estabelecimento da ação de manejo é essencial, a fim de se detectar quaisquer alterações que não estavam prevista. Dessa forma, pode-se tentar corrigir estas alterações através de ações de manejo adicionais, adaptadas a cada caso (FERREIRA, 2004; HAMILTON-SMITH, 2006). Ferreira (2004) destaca, ainda, que a proposta de manejo deve ser específica para cada caverna.

Dessa forma, não devem existir planos de manejo padronizados para várias cavernas. Estes planos podem envolver desde ações simples, como delimitação da rota de caminhamento para o turista até ações mais drásticas e complexas como o fechamento da caverna ao turismo e a construção de réplica para contemplação. Nessa perspectiva, um exemplo interessante é Lascaux Cave na França. Esta caverna foi fechada em 1963 para proteger os desenhos pré-históricos que estavam se deteriorando em decorrência do aparecimento de musgos e algas e do crescimento de cristais promovidos pela luz e respiração dos visitantes. Uma réplica da caverna foi meticulosamente construída para absorver a demanda turística (FORD; WILLIAMS, 2007).



A destruição ou fragmentação de áreas cársticas deve ser evitada devido a sua grande importância como refúgio para espécies raras ou ameaçadas. Devido ao seu isolamento físico e a sua natureza acidentada, as paisagens cársticas são tamponadas contra alterações climáticas drásticas, tendo um papel fundamental para a manutenção da biodiversidade. Estas áreas preservam muitas populações de organismos relictos que apresentavam distribuições maiores durante regimes climáticos diferentes que ocorreram no passado (GILLIESON, 1998).

### **3 ÁREA DE ESTUDO**

A região de Cordisburgo situa-se na área central de Minas Gerais, distante 130 Km de Belo Horizonte. Compreende uma área cárstica composta por compartimentos rochosos de várias idades que está inserida na unidade geotectônica do Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba (PEDROSA-SOARES, 1994).

As rochas pelito-carbonáticas, datadas do Proterozoico, agrupadas no Subgrupo Paraopeba, Formação Lagoa do Jacaré, são predominantes na região. A unidade primária é composta por granitos e gnaisses formando um embasamento cristalino sobre o qual foram depositadas as ardósias, os calcários, os filitos, os folhelhos e os metassiltitos (NOCE; RENGER, 2005).

A superfície exocárstica de Cordisburgo apresenta rios perenes e intermitentes que moldam feições semelhantes às de paisagens não-cársticas como terraços, várzeas e meandros. No entanto, pode ser diferenciada de sistemas não-cársticos pela presença de vales cegos ou semi-cegos e de drenagens que são capturadas para o sistema subterrâneo (TRAVASSOS, 2010). A presença de grandes maciços calcários alongados em direção SE-NW e com

planos de acamamento predominantemente horizontalizados caracterizam o exocarste de Cordisburgo. Outras morfologias comumente encontradas são as dolinas de dissolução e de abatimento e os poljes. Embora não constituam as formas predominantes, a formação de dolinas é favorecida pela presença de material de cobertura superficial de espessura e natureza variáveis no carste da região (TRAVASSOS, 2010).

No que diz respeito à conservação, existe uma Unidade de Conservação na região que corresponde ao Monumento Natural Estadual Peter Lund, criado em 2005 pelo decreto 44.120, com o objetivo de proteger e conservar o sítio histórico-científico constituído pela Gruta do Maquiné, e pela flora e fauna de seu entorno (ALT, 2010).

O endocarste de Cordisburgo era composto por 16 cavernas, com as principais cavidades da região sendo a Gruta da Morena (4620 metros), Lapa Nova do Maquiné (1312 metros), Gruta do Salitre (1098 metros) e Gruta do Tobogã (1000 m) (TRAVASSOS, 2010). No entanto, trabalhos de prospecção posteriores revelaram a presença de 25 cavernas adicionais na área do Monumento Natural Estadual Peter Lund e três outras em seu entorno imediato (ALT, 2010). Dessa forma, percebe-se que ainda existe enorme potencial para novas descobertas espeleológicas no município de Cordisburgo.

Os dados pluviométricos da região indicam que o clima pode ser incluído no regime tropical com duas estações bem definidas. A estação seca vai de junho a setembro coincidindo com os meses mais frios e a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março. A pluviosidade média anual varia de 1250 mm a 1500 mm e a temperatura média anual é de 22 °C (TRAVASSOS, 2010).

As quinze cavernas amostradas neste estudo estão inseridas em áreas remanescentes de cerrado, sendo este bioma considerado como um dos mais

importantes “hotspots” para conservação da biodiversidade mundial e que deve receber atenção prioritária à conservação. Esta categorização inclui ambientes que apresentam uma excepcional perda de habitat, mas que ainda retém uma alta taxa de diversidade e endemismos (MYERS, 2000).

Na área de estudo, grande parte da vegetação original foi removida devido à atividade agropecuária e à silvicultura de eucalipto. O que restou da vegetação de cerrado apresenta-se ora densa, ora esparsa. A floresta estacional semidecídua pode ser observada nos afloramentos calcários e seus arredores devido ao clima e ao tipo de rocha. Matas ciliares e de galeria podem ser observadas ao longo das drenagens (TRAVASSOS, 2010).

A paisagem da região de Cordisburgo apresenta importantes feições cársticas que devem ser preservadas devido aos seus valores histórico, cultural e ambiental. O carste desta região foi palco de importantes descobertas científicas, especialmente aquelas relacionadas à paleontologia e à espeleologia. Isto se deve principalmente às escavações e estudos realizados pelo naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund. Além disso, o município foi retratado em várias obras do talentoso escritor João Guimarães Rosa na década de 50 (TRAVASSOS, 2010). É importante ressaltar também que a região de Cordisburgo (Circuito das Grutas) foi classificada como área de Importância Biológica Especial para a conservação de invertebrados no “Atlas para a conservação da biodiversidade de Minas Gerais” (DRUMMOND et al., 2005) (figura 1). Isto só foi possível devido a estudos bioespeleológicos realizados por Ferreira (2004) em duas cavernas presentes em Cordisburgo (grutas de Maquiné e Salitre), revelando a presença de várias espécies troglóbias.

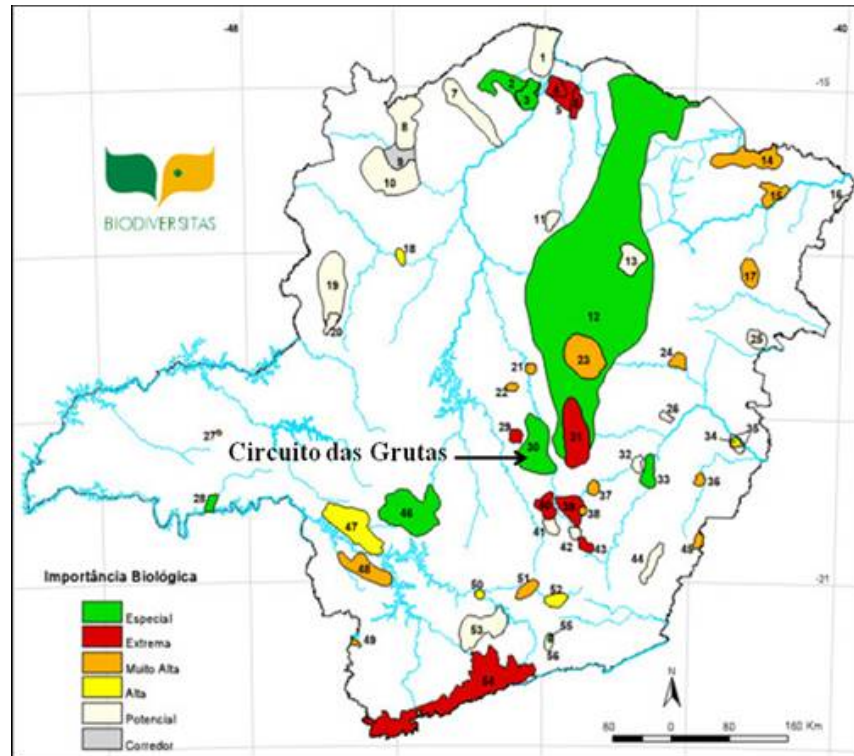


Figura 1 Mapa de áreas indicadas para conservação de invertebrados no estado de Minas Gerais segundo “Atlas para conservação da biodiversidade de Minas Gerais”.  
 Fonte: Adaptado de Drummond et al. (2005)

Dessa forma, faz-se necessária a realização de estudos dos invertebrados subterrâneos da região, a fim de fornecer informações que ajudem na elaboração de planos de manejo ambientais regionais, ou aqueles mais pontuais relacionados ao aproveitamento turístico das cavernas.

#### 4 OBJETIVOS

O objetivo geral com o presente trabalho foi caracterizar a fauna de invertebrados das cavernas da região de Cordisburgo, Minas Gerais, bem como

detectar as principais ameaças potenciais e reais incidentes sobre as cavernas, subsidiando propostas de ações para a conservação e manejo destes ambientes. Neste sentido, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar as espécies de invertebrados associadas a algumas cavernas da Área Cárstica de Cordisburgo;
2. Avaliar a riqueza, diversidades alfa e beta de cada caverna inventariada, bem como a similaridade entre elas;
3. Verificar a presença, status populacional e distribuição de espécies troglomórficas;
4. Verificar se os parâmetros biológicos (riqueza total, diversidade, riqueza de troglóbios) estão relacionados com características físicas da caverna (desenvolvimento linear, presença de corpos d'água, largura e número de entradas);
5. Identificar as principais ameaças antrópicas impostas às comunidades cavernícolas da região, avaliando a extensão de seus impactos reais e potenciais;
6. Propor um zoneamento biológico das cavidades, que evidencie cavernas de maior relevância biológica ou vulnerabilidade frente a diferentes impactos;
7. Caracterizar a fauna e os recursos presentes no ecossistema da Lapa Nova de Maquiné e propor diretrizes para o manejo da fauna desta cavidade, visando sua utilização turística com a minimização dos impactos causados por esta atividade.

## **5 HIPÓTESES**

O presente trabalho foi baseado nas seguintes hipóteses gerais:

As diferenças físicas, geológicas e biológicas entre as cavernas presentes na região de Cordisburgo impõem uma heterogeneidade em relação à riqueza e diversidade de invertebrados subterrâneos.

O uso turístico da Lapa Nova de Maquiné constitui uma ameaça real à comunidade de invertebrados associada a esta cavidade.

### REFERÊNCIAS

ALT, L. R. **Plano de manejo do monumento natural estadual Peter Lund, Cordisburgo, MG**. Cordisburgo: Ambiente Brasil Centro de Estudos, 2010. 170 p.

BARR, T. C.; KUEHNE, R. A. Ecological studies in the mammoth cave ecosystems of Kentucky. **Annales de Spéléologie**, Paris, v. 26, n. 1, p. 47-96, 1971.

BOGGIANI, P. C. et al. Definição de capacidade de carga turística das cavernas do monumento natural gruta do Lago Azul, Bonito, MS. **Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 333-348, out. 2007.

CALAFORRA, J. M. et al. Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use. **Environmental Conservation**, Cambridge, v. 30, n. 2, p. 160-167, abr. 2003.

CHRISTIANSEN, K. A. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. **Spelunca**, Paris, v. 2, p. 76-78, jul. 1962.

CIGNA, A. A. Show caves. In: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Ed.). **Encyclopedia of caves**. London: Elsevier; Academic, 2005. p. 495-500.

CIGNA, A. A.; BURRI, E. Development, management and economy of show caves. **International Journal of Speleology**, Roma, v. 29, n. 1/4, p. 1-27, Sept. 2000.

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

DRAGOVITCH, D.; GROSE, J. Impact of tourists on carbon dioxide levels at Jenolan Caves, Australia: an examination of microclimatic constraints on tourist cave management. **Geoforum**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 11-20, Mar. 1990.

DRUMMOND, G. M. B. et al. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

EBERHARD, S. Cave fauna monitoring and management at Ida Bay, Tasmania. **Records of the Western Australian Museum**, Melbourne, v. 64, n. 1, p. 97-104, 2001.

FAGAN, W. F.; LUTSCHER, F.; SCHNEIDER, K. Population and community consequences of spatial subsidies derived from central-place foraging. **The American Naturalist**, Chicago, v. 170, n. 6, p. 902-915, Dec. 2007.

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.; MARTINS, R. P. Cavernas em risco de 'extinção'. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 29, p. 20-28, jul. 2001.

\_\_\_\_\_. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave, Bahia State, Brazil. **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 4, p. 235-241, July 1998.

\_\_\_\_\_. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 12, n. 2, p. 231-259, Dec. 1999.

FERREIRA, R. L.; POMPEU, P. S. Riqueza e diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 30-33, mar. 1997.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. Chichester: J. Wiley, 2007. 562 p.

FREITAS, C. R.; SCHMEKAL, A. Studies of condensation/evaporation processes in the Glowworm Cave, New Zealand. **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 35, n. 2, p. 75-81, July 2006.

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

GILLIESON, D. S. **Caves: processes, development and management**. Oxford: Blackwell, 1998. 324 p.

GNASPINI-NETO, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil: primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 183-192, jun. 1989.

GOMES, F. T. M. C.; FERREIRA, R. L.; JACOBI, C. M. Comunidade de artrópodes de uma caverna calcária em área de mineração: composição e estrutura. **Revista Brasileira de Zoociências**, Juíz de Fora, v. 1, n. 2, p. 77-96, set. 2000.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>>. Acesso em: 15 jan. 2012.



GUIMARÃES ROSA, J. **No Urubuquagua, no Pinhém**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001. 314 p.

GUNN, J.; HARDWICK, P.; WOOD, P. J. The invertebrate community of the Peak–Speedwell cave system, Derbyshire, England: pressures and considerations for conservation management. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, Chichester, v. 10, n. 5, p. 353-369, Sept./Oct. 2000.

HAMILTON-SMITH, E. Spatial planning and protection measures for karst areas. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v. 35, n. 2, p. 5-11, Oct. 2006.

HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology. **Brimleyana**, Edinburgh, v. 14, p. 1-162, Feb. 1988.

HOWARTH, F. G. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 28, p. 365-389, Jan. 1983.

HOYOS, M. et al. Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). **Environmental Geology**, Berlin, v. 33, p. 231-242, Mar. 1998.

LERUTH, R. **La biologie du domaine souterraine et la faune cavernicole de la Belgique**: mémoires du musée Royal d' Histoire Naturelle de Belgique. Bruxelles: Musée Royal D' Histoire Naturelle de Belgique, 1939. 586 p.

LOBO, H. A. S. Capacidade de Carga Real (CCR) da Caverna de Santana, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP, e indicações para o seu manejo turístico. **Geociências**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 368-385, dez. 2008.

LOBO, H. A. S. et al. Eventos musicais causam impactos no microclima de cavernas?: avaliação das alterações na atmosfera subterrânea da Gruta Morro Preto, Petar, Iporanga, SP. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p.1-10, abr. 2009.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853-858, Feb. 2000.

NOCE, C. M.; RENGER, F. E. A história ecológica da bacia hidrográfica. In: GOULART, E. M. A. (Org.). **Navegando o rio das Velhas das Minas Gerais**. Belo Horizonte: UFMG; Rio das Velhas: Instituto Guaiacuy-SOS, 2005. p. 241-263.

PEDROSA-SOARES, A. C. **Mapa geológico metalogenético e de ocorrências minerais do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1994. 1 mapa.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Cambridge, v. 165, n. 3897, p. 971-981, Sept. 1969.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: epigeal-hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology**, Carlton, v. 29, p. 374-382, Aug. 2004.

RICHTER, A. R. et al. Modified cave entrances: thermal effect on body mass and resulting decline of endangered Indiana (*Myotis sodalis*). **Conservation Biology**, Boston, v. 7, n. 2, p. 407-415, June 1993.

RUSSELL, M. J.; MACLEAN, V. L. Management issues in a Tasmanian tourist cave: potential microclimatic impacts of cave modifications. **Journal of Environmental Management**, London, v. 87, n. 3, p. 474-483, May 2008.

SOUZA-SILVA, M. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

\_\_\_\_\_. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira**. 2008. 224 p. Tese (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

TAYLOR, S. J.; KREJCA, J. K.; DENIGHT, M. L. Foraging range and habitat use of *Ceuthophilus secretus* (Orthoptera: Rhaphidophoridae), a key troglodite in central Texas cave communities. **American Midland Naturalist**, Chicago, v. 154, n. 1, p. 97-114, July 2005.

TRAVASSOS, L. E. P. **Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010. 102 p.

## **SEGUNDA PARTE**

## **ARTIGO 1**

### **DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS SUBTERRÂNEOS DE CORDISBURGO, MINAS GERAIS: SUBSÍDIOS PARA A DETERMINAÇÃO DE CAVERNAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO**

O artigo foi redigido conforme as normas da revista científica “*Natureza & Conservação*”, ISSN online 2178-3875, ISSN print 1679-0073 (versão preliminar)

## RESUMO

O carste da região de Cordisburgo apresenta grande importância científica no contexto nacional devido às descobertas relacionadas à paleontologia e à espeleologia. No entanto, pouco se conhece a respeito da biologia subterrânea desta região. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo estabelecer um diagnóstico ecológico das cavernas dessa região e detectar as principais ameaças incidentes, subsidiando propostas de ações para conservação. Foram inventariadas 15 cavernas no município de Cordisburgo obtendo-se dados de riqueza total, riqueza de troglóbios, diversidade e similaridade entre as cavernas. Foram encontradas 751 espécies, dentre as quais 39 são troglomórficas. Foi observada uma riqueza média de 80 ( $\pm 47.8$ ) espécies por cavidade, uma razão de 2,6 espécies troglomórficas por caverna e uma diversidade média de 2,52 ( $\pm 0.59$ ). As cavernas não apresentaram um agrupamento claro quanto à similaridade. A riqueza total de espécies foi maior em cavernas com presença de corpos d'água e a riqueza de troglóbios e a riqueza total das cavernas foram significativamente correlacionadas à largura das entradas, ao número de entradas e à projeção horizontal. As grutas da Morena e Maquiné foram classificadas como sendo de extremo grau de vulnerabilidade e, portanto, prioritárias para conservação na região de Cordisburgo. A Gruta de Maquiné encontra-se dentro de uma unidade de conservação e sofre sérios impactos decorrentes do turismo, sendo necessária a implantação de um plano de manejo biológico. Uma medida essencial para região seria a criação de outras unidades de conservação para preservação da Gruta da Morena e de outras cavidades com alta vulnerabilidade e extrema relevância biológica.

Palavras-chave: Caverna. Invertebrados. Troglomórfico. Conservação.

## 1 INTRODUÇÃO

As cavernas constituem um dos componentes presentes em relevos cársticos. Estes, por sua vez, constituem-se de terrenos com hidrologia distintiva e que apresentam uma série de formas características em função da presença de rochas de alta solubilidade e com porosidade secundária (fraturas) bem desenvolvida. Regiões cársticas constituídas por rochas carbonáticas cobrem de 10 a 15% das terras continentais não cobertas por gelo e aproximadamente 20 - 25% da população mundial depende de águas subterrâneas obtidas nestes relevos (Ford & Williams, 2007).

O ambiente cavernícola é caracterizado por uma elevada estabilidade ambiental e pela ausência permanente de luz (Poulson & White, 1969; Culver, 1982). A temperatura no interior de cavernas aproxima-se da média das temperaturas externas e a umidade é elevada, muitas vezes tendendo à saturação. Em cavernas extensas, a temperatura e a umidade quase não variam em locais distantes da entrada (Barr & Kuehne, 1971; Howarth, 1983) e de uma maneira geral, o ambiente físico das cavernas varia menos que o ambiente externo circundante.

A ausência permanente de luz restringe a produção primária em cavernas a organismos quimioautotróficos (Sarbu et al., 1996; Engel, 2005) e a raízes que crescem a partir de plantas epígeas (Howarth, 1983; Souza-Silva, 2003), sendo raros os casos onde estes são os principais fornecedores de energia na base da teia trófica. Desta forma, quase todos os nutrientes presentes nos ambientes cavernícolas são provenientes dos ambientes externos. A importação da matéria orgânica do ambiente externo para as cavernas pode ocorrer por agentes físicos ou biológicos (Culver, 1982; Ferreira & Martins, 1999; Howarth, 1983). Rios e enxurradas podem transportar grande quantidade de matéria

orgânica na forma de folhas, troncos e carcaças de animais (Souza-Silva, 2003; Souza-Silva et al., 2007). Já as águas de percolação podem conter uma série de compostos orgânicos dissolvidos enquanto infiltrava-se pelo solo (Gibert et al., 1994). Fezes e carcaças de animais que se abrigam em cavernas ou que entram acidentalmente são também importantes fontes de recursos, principalmente em cavernas onde não há a presença de água (Culver, 1982; Howarth, 1983; Ferreira & Martins, 1998; Ferreira & Martins, 1999).

Segundo Holsinger & Culver (1988) (modificado do sistema Schinner-Racovitza) os organismos cavernícolas são classificados como troglóxenos, troglófilos ou troglóbios, de acordo com seu grau de dependência em relação ao ambiente subterrâneo. Os organismos troglóxenos utilizam as cavernas como abrigo, mas precisam sair das mesmas regularmente em busca de alimento. Troglófilos são aqueles organismos capazes de completar seu ciclo de vida tanto no meio subterrâneo como no meio epígeo, onde geralmente se abrigam em locais úmidos e sombreados. Os troglóbios são aqueles organismos restritos ao ambiente cavernícola, podendo apresentar especializações morfológicas (anofthalmia, despigmentação, alongamento de apêndices e potencialização de estruturas sensoriais), fisiológicas ou comportamentais ligadas à evolução no ambiente subterrâneo.

Como muitos grupos de troglóbios incluem espécies com graus de modificações morfológicas que variam amplamente, Christiansen (1962) sugeriu o termo troglomórfico para indicar as formas altamente modificadas.

Além de ocupar um ambiente estável que pode ser sensível a variações bruscas, as populações de espécies troglóbias freqüentemente apresentam características de espécies refugiadas: raridade, endemismo e estratégia K. Todos estes critérios são indicadores de espécies que requerem proteção e



integridade de habitat (Sharratt et al., 2000). Espécies raras são consideradas mais vulneráveis à extinção que espécies comuns, principalmente pela sua alta susceptibilidade a mudanças ambientais estocásticas (Usher, 1986).

As interferências sobre o meio físico decorrente de fenômenos naturais ou da ação antrópica são refletidas diretamente sobre as cavernas. A desestruturação dos sistemas cavernícolas, por sua vez, pode causar várias modificações no sistema externo, acentuando ainda mais o estado de desequilíbrio de um dado ecossistema. Como exemplo, podem-se citar enchentes (Lisowski & Poulson, 1981; Lewis, 1982) ou mesmo a diminuição da água em drenagens hipógeas (Elliot, 1981) ocasionada por meio de atividades antrópicas. As principais ameaças à fauna subterrânea decorrentes de ações antrópicas são a mineração, desmatamento, agricultura, turismo, poluição e extração de água (Eberhard, 2001).

A identificação dos distúrbios e ameaças que afetam ou potencialmente afetam um determinado ecossistema é de extrema importância para o desenvolvimento de estratégias apropriadas para o monitoramento, manejo e avaliação deste ecossistema (Lynch, 2010).

Segundo Ferreira (2004), os estudos destinados à conservação e manejo de cavernas devem envolver o uso de metodologias que integrem aspectos físicos das cavernas e seu entorno com aspectos biológicos como diversidade, riqueza e distribuição das espécies.

Quanto ao uso de cavernas no Brasil, o decreto federal nº 99.556 de primeiro de outubro de 1990 (Portaria do IBAMA nº 887 de 15 de junho de 1990) consistia em um instrumento legal que previa a proteção de todas as cavidades naturais no território nacional. Apenas o uso turístico e científico era previsto para estes ambientes (Brasil, 1990). Em 2008, entretanto, foi criado o decreto nº 6.640 que dá uma nova leitura ao antigo decreto e regulamenta a

classificação das cavernas de acordo com seu grau de relevância, tornando-as passíveis de supressão por empreendimentos econômicos. Esta classificação é feita através de informações levantadas durante a realização do Estudo de Impacto Ambiental e é baseada em atributos culturais, históricos, cênicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, ecológicos, biológicos e socioeconômicos. Apenas as cavernas classificadas como tendo um grau de relevância máxima serão totalmente preservadas, não podendo sofrer danos ambientais irreversíveis. Em termos biológicos e ecológicos uma caverna será considerada de relevância máxima se apresentar interações ecológicas únicas ou se abrigar populações de espécies ameaçadas de extinção (constantes em listas oficiais), de troglóbios endêmicos, relictos ou raros (Brasil, 2008).

No Brasil, estima-se a existência de 200.000 Km<sup>2</sup> de áreas cársticas carbonáticas, com um potencial espeleológico superior a 100.000 cavernas (Auler et al., 2001). Dentre as áreas cársticas presentes no país, a região de Cordisburgo é um expressivo exemplo do carste intertropical brasileiro devido as suas características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e geográficas (Travassos, 2010). Além disso, apresenta grande importância científica devido às descobertas do naturalista dinamarquês Peter Wilhem Lund relacionadas à paleontologia e à espeleologia. No entanto, apesar da sua grande relevância no contexto nacional, poucos estudos sobre biologia subterrânea foram realizados nesta área (Soares, 1966; Pinto da Rocha, 1995; Brescovit & Rheims, 2004; Ferreira, 2004; Kury & Pérez-González, 2008; Trajano et al., 2009; Souza & Ferreira, 2010; Souza & Ferreira, no prelo). Dessa forma, faz-se necessária a realização de estudos sobre biologia subterrânea nesta área, com a finalidade de se obter informações capazes de auxiliar na preservação das cavernas presentes nesta região com reconhecido valor histórico e cultural.

## **2 OBJETIVOS**

Com o presente estudo objetivou-se estabelecer um diagnóstico ecológico das cavernas da região de Cordisburgo, Minas Gerais. A partir deste diagnóstico, detectar as principais ameaças potenciais e reais incidentes sobre as cavernas, subsidiando propostas de ações para a conservação e manejo destes ambientes. Dessa forma, os objetivos específicos foram os seguintes:

1. Identificar as espécies associadas a quinze cavernas localizadas na Área Cárstica de Cordisburgo (Circuito das Grutas);
2. Avaliar a riqueza, diversidades alfa e beta, e similaridade entre as comunidades de invertebrados associadas às diferentes cavernas;
4. Verificar se os parâmetros biológicos (riqueza total, diversidade, riqueza de troglóbios) estão relacionados com características físicas da caverna (desenvolvimento linear, presença de corpos d'água, largura e número de entradas);
5. Identificar as principais ameaças antrópicas impostas às comunidades cavernícolas da região, avaliando a extensão de seus impactos reais e potenciais;
6. Propor um zoneamento biológico das cavidades, que evidencie cavernas de maior relevância biológica ou vulnerabilidade frente aos diferentes impactos.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi realizada na região cárstica de Cordisburgo, que situa-se na área central de Minas Gerais, distando cerca de 130 Km de Belo Horizonte. Em termos geológicos, corresponde a uma área inserida na unidade geotectônica

do Cráton São Francisco, na plataforma carbonática neoproterozóica do Grupo Bambuí, mais especificamente na Formação Lagoa do Jacaré de calcários não dolomíticos e escuros, sobre os metapelitos da Formação Santa Helena (Uhlein et al., 1986).

O carste da região de Cordisburgo destaca-se no âmbito cultural e histórico brasileiro devido a importantes descobertas científicas, especialmente aquelas relacionadas à paleontologia e à espeleologia. Isto se deve principalmente às escavações e estudos realizados pelo naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund (Travassos, 2010).

No que diz respeito à conservação, a única Unidade de Conservação existente na região compreende o Monumento Natural Estadual Peter Lund. Tal Unidade, criada em 2005 pelo decreto 44.120, tem como objetivo proteger e conservar o sítio histórico-científico constituído pela Gruta do Maquiné, bem como sua flora e fauna de entorno. Dentro desta unidade de conservação encontram-se 26 cavernas e 6 abrigos (Alt, 2010). No entanto, existem outras cavernas com consideráveis extensões (e notável riqueza de espécies) no município que não se encontram em unidades de conservação.

É importante ressaltar também que a região de Cordisburgo (Circuito das Grutas) foi classificada como área de Importância Biológica Especial para a conservação de invertebrados no “Atlas para a conservação da biodiversidade de Minas Gerais” (Drummond, 2005). Isto só foi possível devido a estudos bioespeleológicos realizados por Ferreira (2004) em duas cavernas presentes em Cordisburgo (grutas de Maquiné e Salitre), revelando a presença de várias espécies troglóbias.

As quinze cavernas amostradas neste estudo (figura 1) estão inseridas em áreas remanescentes de cerrado, sendo este bioma considerado um importante “hotspot” para conservação da biodiversidade mundial. Esta

categorização inclui ambientes que apresentam uma excepcional perda de habitat, mas que ainda retém uma alta taxa de diversidade e endemismos (Myers, 2000). Dentre estas cavernas, apenas quatro (Maquiné, Salitre, Gruta 4 e Gruta 1) encontram-se dentro dos limites do Monumento Natural Estadual Peter Lund.

As cavernas apresentaram uma grande variação na extensão (20 metros na Gruta 1 até 4620 metros na Gruta da Morena) e o número de entradas variou de uma até 7 entradas (Gruta da Morena). Informações mais detalhadas de cada uma das cavernas como coordenadas, presença e tipo de corpos d'água, largura das entradas, número de entradas e extensão amostrada encontram-se disponíveis na tabela 1.

Tabela 1 Lista das cavernas amostradas no município de Cordisburgo e suas características físicas. LE (m): largura das entradas em metros; NE: número de entradas; EA (m): extensão amostrada em metros; S: seca; RP: riacho perene; RI: riacho intermitente.

<b>Gruta</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Corpo d'Água</b>	<b>LE (m)</b>	<b>NE</b>	<b>EA (m)</b>
Lapinha do Atamis	567749/7883332	S	10	1	120
Gruta do Tobogã	570187/7877203	RP	15	2	300
Gruta 4	568205/7885838	S	1	1	60
Lagoa da Pedra	567519/7890021	RI	12	1	141
Gruta da Mata	572226/7880011	S	2	2	224
Lapa da Onça	566775/7878452	S	4	2	144
Santo Amaro I	569237/7891614	S	30	1	273
Santo Amaro II	569237/7891614	S	12	2	560
Gruta da Morena	570272/7880312	RP	70	7	2800
G. da Represinha	567978/7884501	RP	1	1	80
Gruta 1	567824/7885012	S	3	1	20
Gruta 2	566459/7885017	RP	8	1	30
Gruta do Salitre	568206/7885556	RP	5	1	1098
Gruta do Meio	572403/7879996	RP	25	3	200
Gruta de Maquiné	568246/7885484	S	27	1	1312



Figura 1 Imagem Google Earth e a distribuição das cavernas amostradas no município de Cordisburgo, Minas Gerais.

Fonte: Adaptado de <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.htm>

### 3.1 Inventário de fauna

Foram realizadas buscas minuciosas por invertebrados em toda extensão de cada caverna, com especial atenção a depósitos orgânicos e micro-habitats. Alguns exemplares de cada espécie encontrada foram coletados com o auxílio de pinças e pincéis. Cada organismo observado teve sua posição registrada em um croqui da cavidade, de forma que, ao final de cada coleta, foram geradas informações concernentes à riqueza de espécies, às abundâncias relativas de cada população e à distribuição espacial de cada população presente, conforme metodologia proposta por Ferreira (2004). Os invertebrados aquáticos foram coletados por meio de pinças e redes em coleções de água parada (poças e travertinos) ou na superfície da água corrente (rios).

É importante ressaltar que o tempo de coleta não foi padronizado devido ao fato de que as cavernas amostradas diferiam em relação ao tamanho e à quantidade e tipo de recursos presentes. Dessa forma, apenas a equipe de coleta (composta por 5 pessoas) foi padronizada durante os trabalhos de campo, sendo que o tempo gasto para amostrar cada cavidade foi variável.

Todos os organismos coletados foram acondicionados dentro de vidros contendo álcool 70% e depositados na coleção de Invertebrados Subterrâneos do setor de Zoologia da Universidade Federal de Lavras. Em laboratório, os espécimes coletados foram identificados até o nível taxonômico possível e separados em morfo-espécies. Foram atribuídas morfo-espécies distintas entre organismos imaturos e adultos devido à inviabilidade, em muitos casos, de fazer uma associação correta entre as formas imaturas e adultas. Embora tal método possa incorrer em erros taxonômicos, ele pode ser válido do ponto de vista ecológico uma vez que os habitats ocupados, bem como as interações realizadas

por organismos imaturos são, muitas vezes, distintos daqueles observados em organismos adultos.

A caracterização dos recursos tróficos das cavernas foi realizada concomitantemente às coletas de invertebrados. Para tal, foram anotados todos os recursos orgânicos presentes e quando possível caracterizada as suas vias de acesso ao interior das cavidades. Os usos e alterações ambientais (impactos) nas cavernas e entorno foram avaliados com base nas fichas preenchidas durante as visitas.

### 3.2 Análises de dados

A riqueza de espécies foi obtida por meio do somatório do total de morfo-espécies encontradas em cada caverna. Os cálculos de diversidade foram feitos utilizando-se o índice de Shannon-Wiener, que se trata de um índice altamente sensível às espécies raras, através do software Past (Magurram, 2004). A  $\beta$ -diversidade (ou *turnover*) foi calculada através do índice de Harrison (1992), modificado de Whittaker (1960), para determinar a substituição de espécies.  $\beta_{\text{Harrison}} = \{[(S/\alpha) - 1]/(N - 1)\} \times 100$ ; onde S = riqueza total,  $\alpha$  = riqueza média e N = número de amostras. O valor resultante vai de 0 (nenhuma substituição) a 100 (cada amostra tem um conjunto único de espécies, havendo uma substituição total) (Koleff et al., 2003).

A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada através da identificação, nos espécimes, de características morfológicas denominadas “troglomorfismos”. Tais características, como redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares, alongamento de apêndices, dentre outras, são utilizadas frequentemente para a maioria dos grupos, uma vez que resultam de processos evolutivos ocorrentes após o



isolamento de populações em sistemas subterrâneos. As características a serem utilizadas para estes diagnósticos, no entanto, diferem no caso de organismos pertencentes à taxa distintos. Certos grupos, por exemplo, possuem espécies sempre despigmentadas e anoftálmicas, mesmo no ambiente epígeo (e.g. Palpigradi). Nestes casos, os troglomorfismos são mais específicos (alongamento dos flagelômeros, aumento no número de órgãos frontais e laterais, dentre outros). Desta forma, é necessário se conhecer a biologia de cada grupo no intuito de se diagnosticar efetivamente a existência ou não de troglomorfismos.

A similaridade da fauna de invertebrados encontrada nas diferentes cavernas foi comparada utilizando o modelo de escalonamento multidimensional não métrico (*Non-metric Multidimensional Scaling – NMDS*), realizado no software Past. O NMDS é uma análise exploratória que transforma as distâncias entre pares de objetos encaixando-os em conjuntos bidimensionais de acordo com os valores de similaridade. O NMDS foi construído com base na composição quantitativa da fauna de invertebrados utilizando o índice de Bray-Curtis. Além disso, para obter uma visão geral da relação de similaridade da fauna entre as cavernas, foi construído um dendrograma de similaridade também através do índice de Bray-Curtis (Magurran, 2004). A comparação entre as variáveis riqueza de espécies e presença de corpos d'água foi realizada através do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e representado graficamente por *box plots*.

As possíveis correlações entre os parâmetros não-bióticos (projeção horizontal, número de entradas largura de entradas e vulnerabilidade) e bióticos (riqueza total, riqueza de troglóbios e diversidade) foram testadas através de Análise de Correlação Canônica (CCA), realizada no software *Statistica*.

### 3.3 Ferramentas de valoração das cavernas

A valoração das cavernas foi feita através da avaliação dos impactos e da estrutura das comunidades biológicas utilizando-se de ferramentas distintas: a primeira refere-se à riqueza de espécies troglomórficas, a segunda refere-se à riqueza total de espécies de invertebrados; a terceira refere-se à riqueza relativa das espécies (riqueza total/extensão amostrada da caverna/largura da entrada) e a quarta refere-se ao grau de impacto observado em cada caverna, de acordo com a metodologia proposta por Souza-Silva (2008). As populações de espécies troglóbias são consideradas relevantes em função do “status evolutivo”, insuficiência de conhecimento, distribuição restrita e fragilidade frente a eventos casuais de alteração de seus habitats. A riqueza total é um fator relevante porque pode possibilitar processos e interações ecológicas complexas. A riqueza relativa categoriza o número de espécies por metro quadrado de cavernas e, além disso, busca reduzir a contribuição excessiva de comunidades para-epígeas ao considerar nesta análise a extensão da entrada. Espera-se que em cavernas com entradas extensas exista uma grande contribuição das comunidades para-epígeas em função do maior contato com o ambiente externo.

Primeiramente as cavernas foram categorizadas de acordo com a riqueza de espécies troglomórficas que apresentaram. A maior riqueza encontrada (16 espécies) foi dividida por quatro criando-se intervalos para classificação das cavernas em categorias de baixa (0 - 4 spp), média (5 – 8 spp), alta (9 – 12 spp) e extrema (13 – 16 spp) riqueza de espécies troglomórficas. As cavernas classificadas como sendo de baixa riqueza de espécies troglomórficas receberam peso 1, as de média receberam peso 2, as de alta receberam peso 3 e as de extrema receberam peso 4.

Posteriormente, foram criadas categorias de relevância biológica final, que corresponde à soma dos pesos da riqueza total e da riqueza relativa de cada caverna.

A maior riqueza total (RT) encontrada (213 spp) foi dividida por quatro e serviu de base para a inclusão das cavernas nas categorias de riqueza total baixa (0 – 53 spp), média (54 – 106 spp), alta (107 – 159 spp) e extrema (160 – 213 spp). Cavernas com riqueza total baixa receberam peso 2, riqueza total média peso 4, riqueza total alta peso 6 e riqueza total extrema peso 8.

A riqueza relativa (RR) de espécies em cada caverna foi avaliada através da razão entre a riqueza total, a extensão amostrada da caverna (em metros) e extensão da entrada (em metros). Quando a caverna apresentava mais de uma entrada, foi utilizada a soma das larguras de todas as entradas. Da mesma forma, o maior valor de RR encontrado (0,9) foi dividido por quatro criando-se categorias de baixa (0-0.225), média (0.226 – 0.45), alta (0.46 – 0.675) e extrema (0.676 – 0.9) riqueza relativa. Cavernas com riqueza relativa baixa receberam peso 1, riqueza relativa média peso 2, riqueza relativa alta peso 3 e riqueza relativa extrema peso 4.

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 função da sua reduzida extensão), em detrimento de cavernas extensas e com elevada riqueza absoluta. A relevância biológica final (RBF) para cada caverna foi determinada através da somatória dos pesos da riqueza total e da riqueza relativa.

Novamente, a maior relevância biológica final (9) serviu de base para a inclusão das cavernas nas categorias de baixa (0 – 2,25), média (2,26 – 4,5), alta (4,51 – 6,75) e extrema (6,76 – 9) relevância biológica final.

Impactos ambientais foram definidos para cada caverna em função da presença ou ausência de alterações no ambiente interno e externo das mesmas, segundo as fichas preenchidas em campo.

O impacto se refere ao nível em que determinada pressão poder afetar, direta ou indiretamente, a estrutura das comunidades de invertebrados presentes em cada caverna. Deste modo, as alterações levantadas foram categorizadas em relação a *usos e impactos*. Atividades turísticas e religiosas foram consideradas usos, sendo impactos o pisoteio, iluminação, mineração e as alterações conseqüentes destas atividades.

A partir da identificação dos impactos nas cavernas procedeu-se a uma segunda análise concernente à magnitude visual ou biológica destes impactos. Na categoria de impactos visuais foram consideradas aquelas alterações pontuais que afetam mais a parte física da caverna do que as comunidades biológicas (*e.g.* depredação de espeleotemas ou pichações). Estes impactos visuais podem trazer alterações mínimas para a fauna de invertebrados cavernícolas quando comparados a impactos biológicos como as alterações tróficas.

Na definição dos impactos biológicos foram consideradas modificações que podem levar à depleção, enriquecimento ou alteração na caverna, nos recursos orgânicos e/ou na fauna. Entende-se por depleção a redução de recursos tróficos ou da fauna em função das atividades antrópicas. Impactos de enriquecimento são atividades antrópicas que promovem o aumento na disponibilidade de recursos orgânicos para a fauna. Este tipo de alteração pode ser positivo se realizado de forma tênue (*e.g.* os recursos tróficos adicionais podem manter as comunidades de invertebrados de cavernas mais ricas e mais

abundantes). Impactos do tipo alteração são aqueles que modificam, no espaço e no tempo, a estrutura física de habitats ou microhabitats nas cavernas. Cada um destes três tipos de impactos biológicos foi classificado em intenso (potencialmente causador de alterações intensas sobre a fauna - peso 2) ou tênue (potencialmente causador de alterações reduzidas sobre a fauna - peso 1). Uma segunda classificação adicionada à análise dos impactos biológicos diz respeito à permanência dos mesmos. A permanência refere-se ao período de tempo de persistência do impacto na caverna. Desta forma, os impactos foram considerados de curta duração (peso 1) ou contínuos (peso 3). Impactos antrópicos tênues de curta duração e baixa frequência podem permitir a recuperação rápida da fauna depois de cessada a intervenção antrópica.

A terceira e última classificação de impactos refere-se à abrangência do impacto na caverna. Impactos pontuais ou restritos à entrada recebem peso 1, enquanto aqueles que ocorrem em uma grande extensão da caverna receberam peso 2. Na tabela 2 encontra-se um exemplo de classificação e pontuação dos impactos observados em cada caverna.

Tabela 2 Exemplo de classificação e pontuação (peso) de impactos biológicos das cavernas amostradas no município de Cordisburgo. O número representado entre parênteses corresponde ao peso atribuído a cada uma das classificações.  
Fonte: Adaptado de Souza-Silva (2008)

Impacto	Tipo	Grau	Permanência	Abrangência	Peso final
Desmatamento	Depleção	Tênue (1)	Curta (1)	Ampla (2)	4
Pisoteamento	Alteração	Intenso (2)	Contínua (3)	Ampla (2)	7
Lixo inorgânico	Alteração	Intenso (2)	Contínua (3)	Ampla (2)	7

A categorização das cavernas quanto ao grau de impacto foi feita a partir da soma dos pontos obtidos em cada caverna. A maior somatória de impactos (35) serviu de base para a separação das cavernas quanto ao grau de impactos em baixo (0 – 8,75), médio (8,76 – 17,5), alto (17,6 – 26,25) e extremo (26,26 – 35). As cavidades com baixo grau de impacto receberam peso 1, as com médio peso 2, as com alto peso 3 e as com extremo peso 4.

O grau de vulnerabilidade das comunidades de invertebrados de cada caverna foi obtido a partir da soma dos pesos da riqueza de espécie troglomórficas, da relevância biológica final (RBF) e dos impactos presentes em cada caverna.

O maior valor de vulnerabilidade foi utilizado para a inclusão das cavernas nas categorias de vulnerabilidade baixa, média, alta e extrema. Utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente, foram criadas quatro categorias de valores de vulnerabilidade baseadas no maior valor encontrado (correspondente a 11). Tais classes compreenderam os intervalos de 0-2,75 (baixa vulnerabilidade); 2,76–5,5 (média vulnerabilidade) e 5,6-8,25 (alta vulnerabilidade) e 8,26-11 (extrema vulnerabilidade).

#### **4 RESULTADOS**

Foram encontrados 34.901 invertebrados distribuídos em 751 espécies, pertencentes a 48 ordens e pelo menos 167 famílias (APÊNDICE A). As ordens mais ricas foram Coleoptera (8,4% do total de espécies encontrado), Diptera (6,3%) e Araneae (2,4%). As ordens de invertebrados encontradas e as famílias mais ricas em cada uma delas estão representadas na figura 2.

A riqueza média observada para a região de Cordisburgo foi de 80 ( $\pm 47.8$ ) espécies por cavidade. A Gruta da Morena, com 213 espécies, foi a cavidade com maior riqueza e maior desenvolvimento linear (4,620 Km).

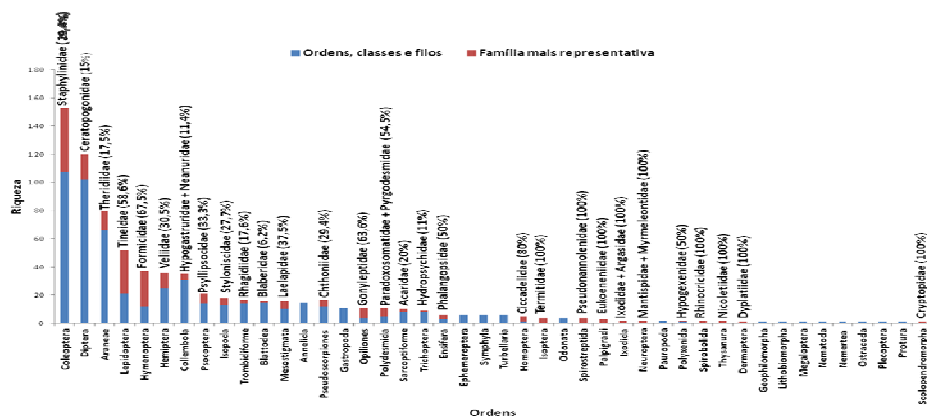


Figura 2 Ordens (classes e filos) de invertebrados encontradas nas cavernas amostradas e famílias mais representativas em cada uma delas.

Collembola foi a ordem mais abundante nas cavernas amostradas (11.811 indivíduos), seguida das ordens Araneae (3.773 indivíduos), Hymenoptera (3.707 indivíduos), Ensifera (3.067 indivíduos), Isoptera (3.001 indivíduos) e Diptera (2.629 indivíduos). As espécies que apresentaram as mais amplas distribuições em cavernas da região foram *Spelaeochernes* sp.1 (Pseudoscorpiones: Chernetidae – presente em 86,6% das cavernas), *Isoctenus* sp1 (Araneae: Ctenidae – presente em 80% das cavernas), *Plato* sp1 (Araneae: Theridiosomatidae – presente em 66,6% das cavernas), *Endecous* sp.1 (Ensifera: Phalangopsidae – presente em 66,6% das cavernas) e *Psyllipsocus* sp.1 (Psocoptera: Psyllipsocidae – presente em 66,6% das cavernas).

Uma única amostragem realizada em cada uma das quinze cavernas do presente estudo não foi suficiente para se atingir a assíntota na curva de rarefação (figura 3).

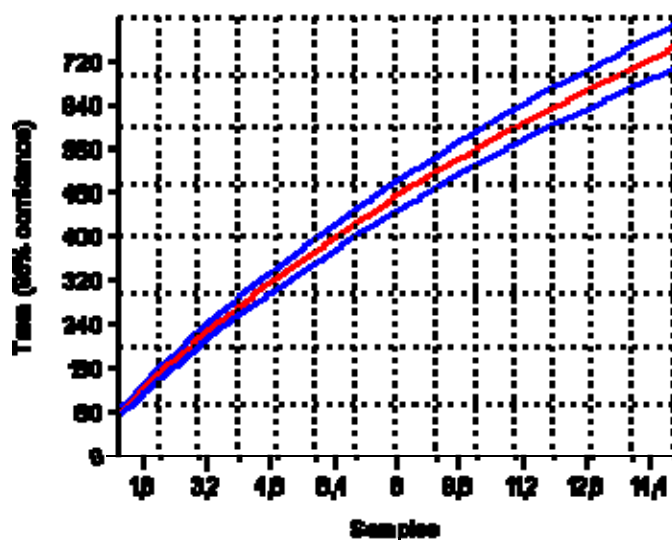


Figura 3 Curva de rarefação das 15 cavernas inventariadas na região de Cordisburgo (MG).

Dentre as quinze cavernas amostradas, treze (86,6%) apresentaram ocorrência de organismos troglomórficos. Em relação à riqueza, a Gruta da Morena, com dezesseis espécies, e a Gruta de Maquiné, com dez espécies, merecem destaque por apresentarem as maiores concentrações de espécies troglomórficas da região. A Gruta do Salitre também apresenta uma notável quantidade de espécies troglóbias (oito espécies). A Gruta da Represinha apresentou cinco espécies, quatro cavernas apresentaram três espécies (Gruta da



Mata, Lapa da Onça, Santo Amaro II e Gruta 2), a Gruta 1 apresentou duas espécies e quatro cavernas apresentaram uma única espécie troglomórfica (Tobogã, Lagoa da Pedra, Santo Amaro I e Gruta do Meio).

No total foram encontradas 39 espécies troglomórficas, que corresponde a uma razão de 2.6 espécies troglomórficas por caverna. Estas espécies estão distribuídas nas ordens Palpigradi (Eukoeneriidae) (figura 4A), Isopoda (Styloniscidae e Plathyarthridae) (figuras 4 B-D), Araeneae (Ochyroceratidae, Oonopidae, Prodidomidae) (figura 4E), Coleoptera (Carabidae e Pselaphidae) (figura 4F), Opiliones (Escadabiidae e Gonyleptidae) (figura 4G), Polydesmida (Oniscodesmidae, Pyrgodesmidae e Paradoxosomatidae) (figura 4H), Pseudoscorpiones (Chthoniidae) (figura 4I), Polyxenida (Hypogexenidae), Mesostigmata (Podocinidae) e Collembola (Cyphoderidae e Arrhopalitidae). Além disso, foram encontradas espécies troglomórficas pertencentes ao filo Nemertea e às classes Hirudinea e Pauropoda. A ordem Isopoda foi a mais rica com 8 espécies, sendo que a família Styloniscidae destacou-se com 5 espécies.

Os aracnídeos também foram bastante representativos em termos de troglomorfismos. Aranhas das famílias Ochyroceratidae, Prodidomidae e Oonopidae apresentaram espécies troglomórficas e podem ser consideradas raras na região estando restritas a uma única caverna. Os pseudoscorpídeos são representados por quatro espécies da família Chthoniidae e a Ordem Opiliones é representada pelas espécies *Spinopilar moria*, *Spaeleoleptes spaeleus* e *Spaeleoleptes* sp1. As duas espécies de Palpigradi troglóbias encontradas, *Eukoeneria maquinensis* e *E. sagarana*, são consideradas “troglóbios avançados” apresentando troglomorfismos comparáveis (ou mesmo mais intensos) aos das espécies encontradas em regiões temperadas (Souza & Ferreira, 2010). A espécie de Nemertea encontrada na Gruta da Morena corresponde ao primeiro registro deste filo em cavernas da América do Sul. O

único troglomorfismo observado no espécime encontrado compreendeu a despigmentação tegumentar.

A espécie troglomórfica de mais ampla distribuição foi *Cyphoderidae* sp1 (Collembola), apresentando 4.323 indivíduos distribuídos em 60% das cavernas inventariadas.

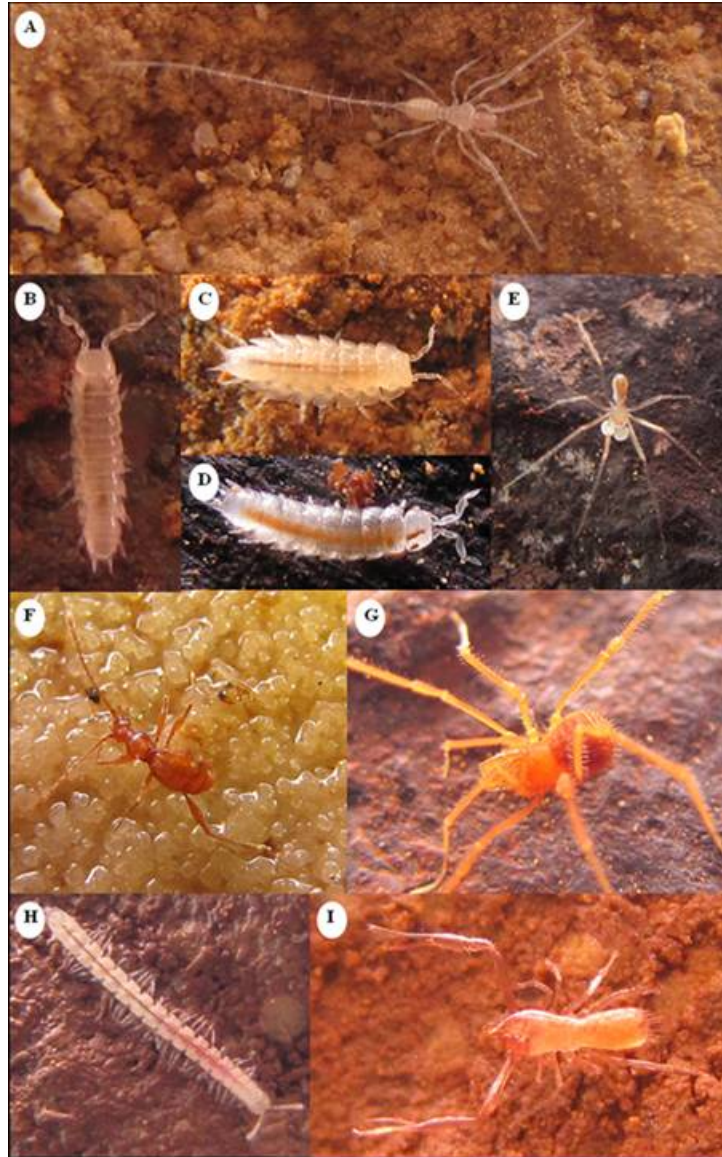


Figura 4 Algumas espécies troglomórficas encontradas nas cavernas de Cordisburgo: A) *Eukoenenia maquinensis* (Palpigradi), Gruta de Maquiné; B) *Pectenoniscus* sp1 (Styloniscidae), Gruta da Mata; C e D) Duas espécies diferentes de Styloniscidae, Gruta Salitre; E) Ochyroceratidae, Gruta da Represinha; F) Pselaphidae, Gruta do Salitre; G) *Spaeoleptes spaeus*, Gruta do Salitre; H) Polydesmida, Gruta do Salitre; I) Chthoniidae, Gruta do Salitre.

#### 4.1 Análise dos dados

A diversidade média das cavernas amostradas foi 2,52 ( $\pm 0.59$ ). As cavernas Salitre ( $H' = 3,3$ ), Morena ( $H' = 3,13$ ) e Santo Amaro I ( $H' = 3,0$ ) foram aquelas que apresentaram os maiores valores de diversidade. O valor de  $\beta$ -diversidade foi 59,6. As informações relacionadas à riqueza total, riqueza relativa, riqueza de troglóbios, somatório final dos pesos dos impactos observados e diversidade de cada caverna encontram-se disponíveis na tabela 3.

Tabela 3 Riqueza total (RT), riqueza relativa (RR), riqueza de espécies troglóbias (RET), peso final dos impactos (PFI) e diversidade (D) de invertebrados das cavernas amostrada no município de Cordisburgo.

<b>Gruta</b>	<b>RT</b>	<b>RR</b>	<b>RET</b>	<b>PFI</b>	<b>D</b>
Lapinha do Atamis	55	0,046	0	4	2.902
Gruta do Tobogã	101	0,022	1	9	0.9693
Gruta 4	31	0,516	0	0	2.954
Lagoa da Pedra	48	0,028	1	13	2.423
Gruta da Mata	79	0,176	3	10	2.772
Lapa da Onça	52	0,090	3	4	2.154
Santo Amaro I	41	0,005	1	4	3.015
Santo Amaro II	55	0,008	3	7	2.391
Gruta da Morena	213	0,001	16	10	3.133
G. da Represinha	52	0,65	5	4	2.071
Gruta 1	54	0,9	2	0	2.103
Gruta 2	100	0,416	3	17	2.746
Gruta do Salitre	144	0,026	8	3	3.302
Gruta do Meio	110	0,022	1	0	2.818
Gruta de Maquiné	70	0,002	10	35	2.134

A análise de nMDS não demonstrou a formação de agrupamentos ou descontinuidades entre as quinze cavernas, comparando-se o padrão encontrado na análise com a distribuição espacial das cavernas (figura 5). O mesmo resultado foi obtido para a realização desta análise após a exclusão das espécies acidentais. O dendrograma de similaridade (Bray Curtis) mostrou que a Gruta 1 mostra-se distinta das demais cavernas amostradas e que as cavernas Gruta da Mata e Santo Amaro II apresentam os maiores valores de similaridade (figura 6).

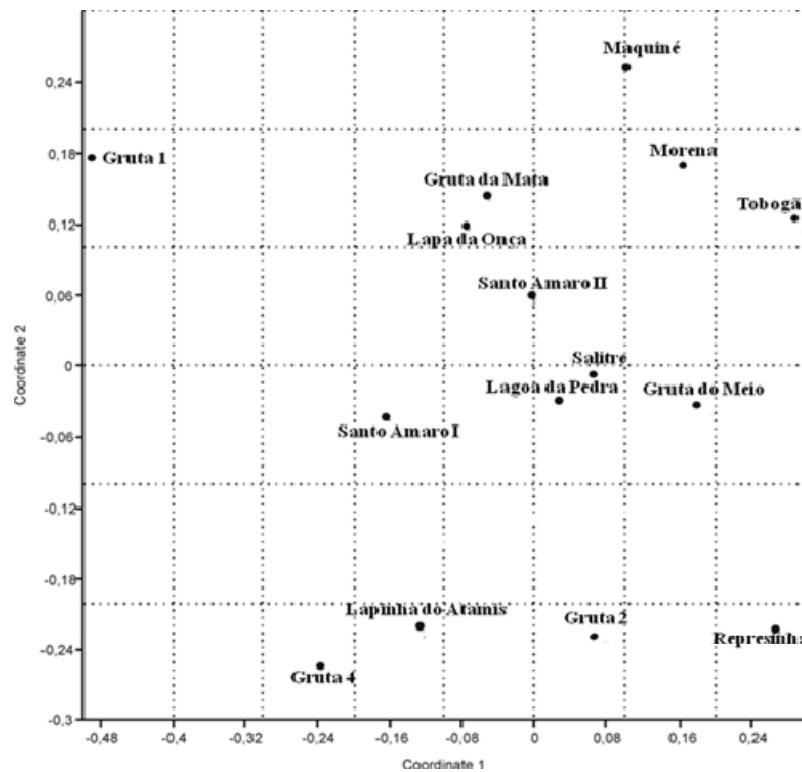


Figura 5 Análise de nMDS ( $Stress = 0,1968$ ) realizada com 15 cavernas da região de Cordisburgo (MG).

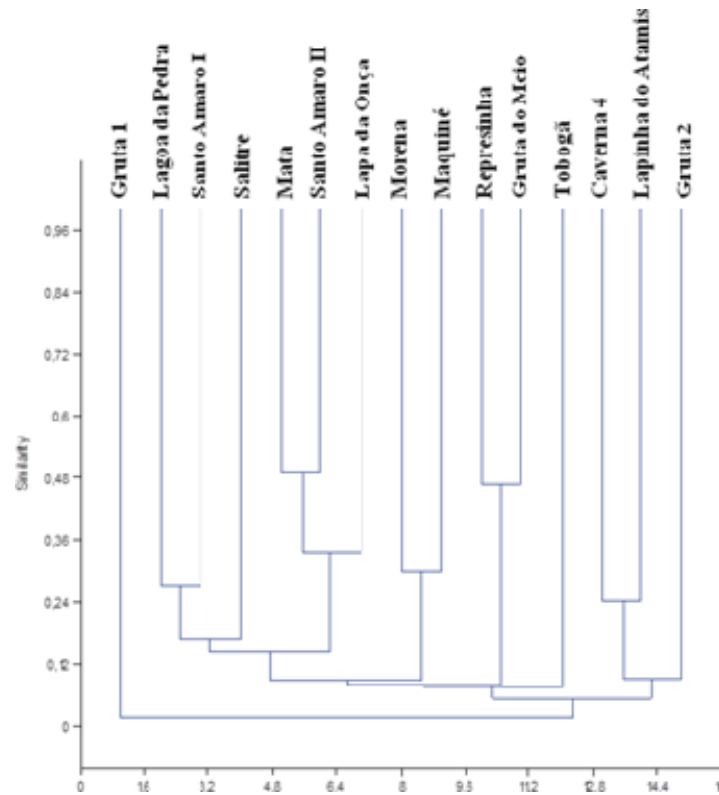


Figura 6 Dendrograma de similaridade entre as 15 cavernas amostradas.

Através do teste de Kruskal-Wallis ( $KW - H(1:15) = 6,4313; p = 0,0112; F(1:13) = 13,1361; p = 0,0031$ ) foi possível observar que existe uma maior riqueza de espécies em cavernas com corpos d'água (figura 7).

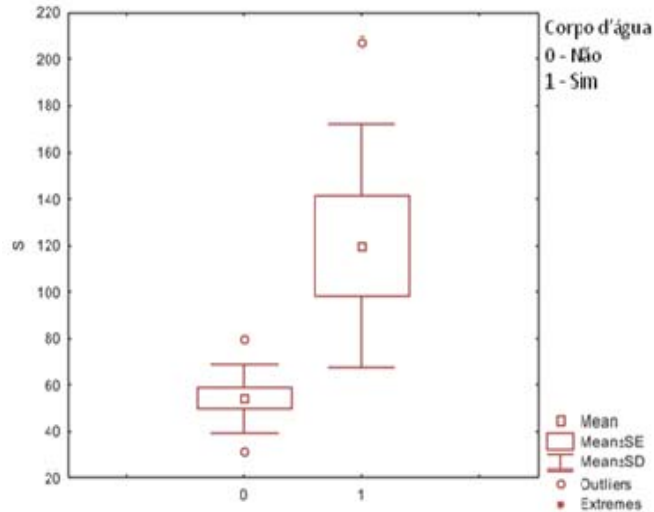


Figura7 *Box-plot* da riqueza total de espécies das cavernas amostradas em função da presença ou ausência de corpos d'água.

A Análise de Correlação Canônica (CCA) revelou que a riqueza de troglóbios e a riqueza total das cavernas da região estão significativamente e positivamente correlacionadas ao número de entradas e à projeção horizontal das cavernas e negativamente correlacionadas à largura das entradas (tabela 4). O R Canônico para a primeira raiz foi 0,96 ( $\text{Chi}^2 = 31,05$ ;  $p = 0,00002$ ). A largura das entradas (0,26) foi a variável mais importante correlacionada a estes parâmetros biológicos, seguida da projeção horizontal das cavernas (-1,16) e do número de entradas (-0,09). Todas as demais combinações de variáveis testadas não foram estatisticamente significativas.

Tabela 4 Raízes canônicas extraídas a partir da Análise de Correlação Canônica

Parâmetros	Raiz 1
Riqueza total	-0,32
Riqueza de troglóbios	-0,76
Largura de entradas	0,26
Número de entradas	-0,09
Projeção horizontal	-1,16
R Canônico	0,96
Chi <sup>2</sup>	31,05
P	0,00002

#### 4.2 Usos e alterações

Na figura 8 é possível observar os impactos resultantes dos usos atuais e passados observados nas cavernas da região. O uso mais comumente identificado no entorno das cavernas da região de Cordisburgo foi o desmatamento da vegetação original para a criação de pastagens.

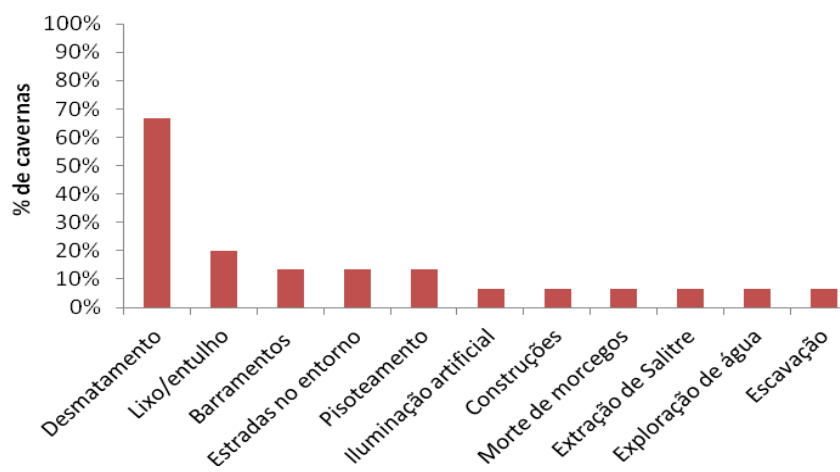


Figura 8 Impactos observados nas 15 cavernas amostradas na região de Cordisburgo



O uso turístico foi observado apenas na Gruta de Maquiné, que é utilizada para este propósito desde 1908. Em 1967 foi criada a infraestrutura turística da cavidade que incluía, além de escadas e alterações na topografia do piso da caverna para facilitar o acesso dos turistas, a iluminação elétrica. Os impactos atualmente observados no interior da cavidade foram o pisoteamento, construções e presença de lixo inorgânico em vários pontos da cavidade. Este lixo compreende principalmente lâmpadas (intactas e quebradas) e restos de fios e de construções de alvenaria deixados durante a troca do sistema de iluminação (substituição de lâmpadas incandescentes por *leds*) que ocorreu recentemente (figura 9A).

Outro uso que deve ser mencionado é a construção de barramentos artificiais nas entradas, observado em duas cavidades. Na Gruta 2, foi construída uma barragem para represar o riacho presente no interior da caverna, transformando o corpo d'água lótico em lântico (figura 9B). Na gruta Lagoa da Pedra, foi construído um muro de cimento em uma parte da entrada pra impedir que a água da lagoa localizada em frente à caverna entre em seu interior na estação chuvosa (figura 9C).



Figura 9 Impactos e alterações observados em cavernas da região de Cordisburgo: A) construções de alvenaria, holofotes desativados e lâmpadas sobre um espeleotema na Gruta de Maquiné; B) Construção de barragem e formação de um reservatório na Gruta 2; C) Barramento construído na entrada da Gruta Lagoa da Pedra.

Até a década de 90, algumas cavernas de grande desenvolvimento linear da região, como a Gruta do Salitre, a Gruta da Morena, a Gruta do Tobogã e a Gruta de Maquiné, recebiam frequentes visitas de grupos de espeleólogos. No entanto, atualmente, além da Gruta de Maquiné, apenas a Gruta da Morena continua recebendo visitas espeleológicas com uma frequência capaz de trazer impactos à cavidade, como pisoteamento, avarias à espeleotemas e deposição de lixo.

### 4.3 Valoração das cavernas

As grutas de Maquiné e Morena apresentaram uma extrema riqueza de espécie troglóbias e as Grutas do Salitre e da Represinha apresentaram uma riqueza média destas espécies. As demais cavernas foram enquadradas na categoria de baixa riqueza de troglóbios (figura 10).



Figura 10 Categorização das cavernas amostradas em relação à riqueza de espécies troglóbias.

Fonte: Adaptado de <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>)

Em relação à relevância biológica final (dada pelo somatório dos pesos das categorias de riqueza total e riqueza relativa), 26,6% das cavernas foram enquadradas na categoria de extrema relevância, 46,6% na categoria de alta relevância e 26,8% foram enquadradas na categoria de média relevância (figura 11).

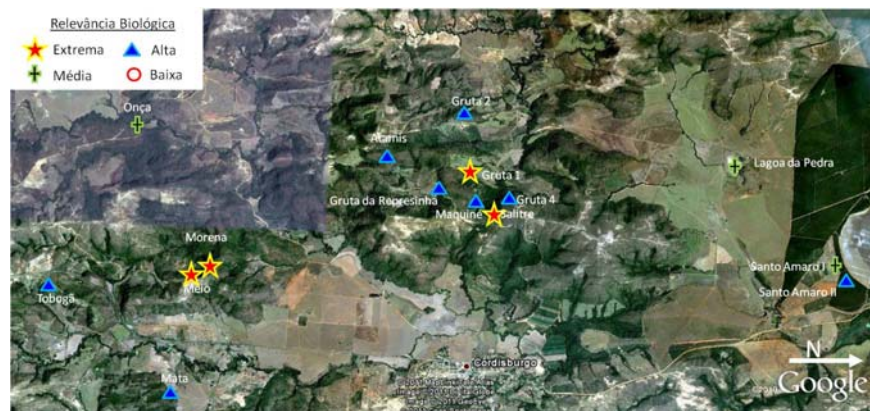


Figura 11 Categorização das cavernas amostradas em relação à relevância biológica final.

Fonte: Adaptado de <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>)

Apenas a Gruta de Maquiné (6,6% do total) foi incluída na categoria de impacto extremo, sendo que 33,4% das cavidades apresentaram médio grau de impacto e 60% apresentaram baixo grau (figura 12).

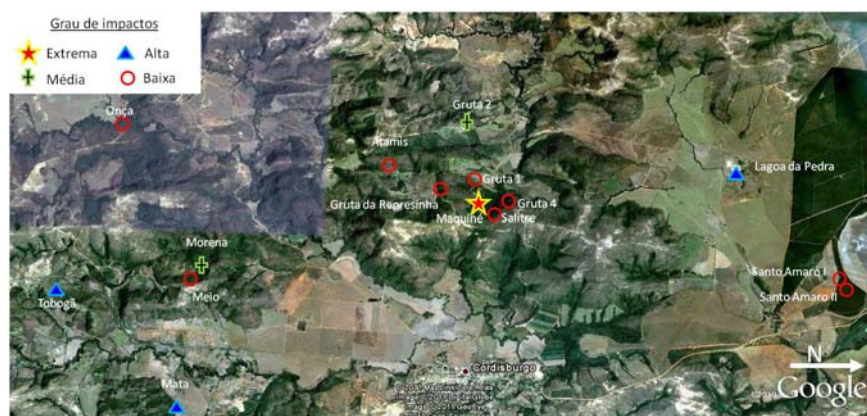


Figura 12 Categorização das cavernas amostradas em relação ao grau de impacto.

Fonte: Adaptado de <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>)



As grutas de Maquiné e Morena (13,3% do total) foram classificadas como sendo de extrema vulnerabilidade; 40% das cavernas apresentaram alta vulnerabilidade e 46,7% apresentaram média vulnerabilidade (figura 13).

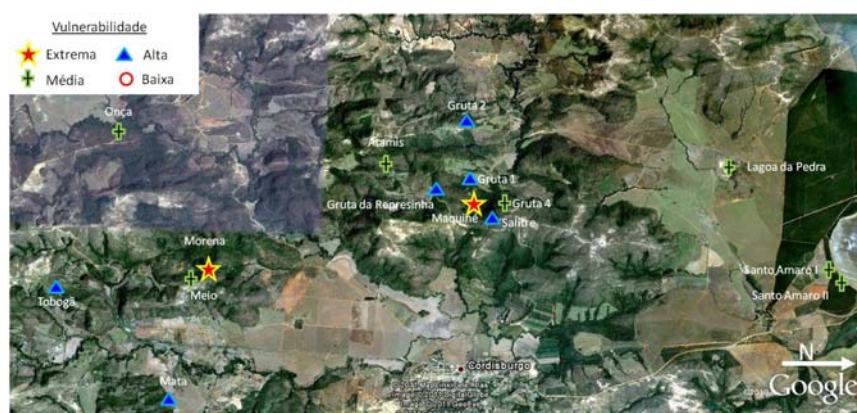


Figura 13 Categorização das cavernas amostradas em relação à vulnerabilidade.  
Fonte: Adaptado de <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>

## 5 DISCUSSÃO

Na América do Norte e Europa existem boas estimativas da diversidade subterrânea, além de certo destas regiões (Sket, 1999; Culver et al., 2003). No entanto, para algumas regiões do mundo (como a região tropical), as amostragens de fauna cavernícola são frequentemente restritas a curtas visitas de pesquisadores às cavernas. Estas visitas servem apenas para mostrar o grande potencial da diversidade cavernícola presente nestas regiões (Gillieson, 1998).

No Brasil, este cenário não é diferente. A intensificação dos estudos sobre a fauna cavernícola do país ocorreu somente a partir da década de 80.

Durante um tempo, poucos estudos ecológicos foram realizados, sendo a maioria estudos zoológicos e simples levantamentos faunísticos (Dessen et al., 1980; Chaimowicz, 1986; Gnaspini-Neto & Trajano, 1994; Pinto-da-Rocha, 1995; Trajano, 2000; Zeppelini-Filho et al., 2003). A partir da década de 90, no entanto, felizmente este cenário começou a ser mudado. Vários trabalhos sobre ecologia de comunidades de invertebrados subterrâneos foram realizados no Brasil, buscando relacionar os dados biológicos aos parâmetros físicos das cavidades e mostrando o quão rico e diverso são esses ambientes (Souza-Silva, 2003; Ferreira & Martins, 1998, 1999; Ferreira, 2004; Prous et al., 2004; Souza-Silva, 2008; Zampaulo, 2010; Bento, 2011; Pellegrini, 2011; Souza-Silva et al., 2011a).

### **5.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados**

Os primeiros relatos a respeito das comunidades de invertebrados associadas a algumas cavernas da região de Cordisburgo encontram-se no trabalho de Pinto-da-Rocha (1995). Em sua compilação sobre a fauna cavernícola do país, este autor relatou a ocorrência de vinte espécies de invertebrados na Gruta da Morena, cinco na Gruta do Tobogã, quatro na Gruta do Salitre e apenas duas na gruta de Maquiné. No presente trabalho a riqueza de espécies encontradas nestas cavernas foi de 213, 101, 144 e 70, respectivamente. Além disso, foram encontradas 31 espécies troglomórficas nestas quatro cavernas durante as amostragens contrastando com apenas duas citadas por Pinto da Rocha (1995) (o opilião *Spaeleoleptes spaeleus* e um colêmbolo da família Isotomidae).

Esta grande disparidade dos dados de riqueza de espécies observada no presente estudo e o trabalho de Pinto-da-Rocha (1995) se deve aos diferentes

métodos de coleta utilizados. As listas de espécies apresentadas por este autor provavelmente são provenientes de curtas visitas ou observações preliminares realizadas por pesquisadores, gerando uma riqueza sub-estimada para as cavernas da região. Dessa forma, ressalta-se a importância da utilização de buscas minuciosas no interior de cavernas para que a fauna de invertebrados seja amostrada de forma mais confiável possível quando se pretende estudar a fauna de uma região, como indicado por Ferreira (2004).

Posteriormente, Trajano & colaboradores (2009) realizaram amostragens de peixes na área cárstica de Cordisburgo e encontraram um total de quatro espécies na Gruta do Salitre e na Gruta da Morena, contribuindo para o conhecimento da fauna subterrânea da região.

O estudo mais completo sobre fauna de invertebrados cavernícolas da região de Cordisburgo corresponde aos estudos ecológicos de Ferreira (2004) realizados nas grutas Maquiné e Salitre. Este autor encontrou um total de 130 espécies em duas coletas realizadas na Gruta do Salitre e um total de 177 espécies em quatro coletas realizadas na Gruta de Maquiné.

As descrições de espécies troglóbias encontradas na área de estudo também devem ser mencionadas (Soares, 1966; Brescovit & Rheims, 2004; Kury & Pérez-González, 2008; Souza & Ferreira, 2010; Souza & Ferreira, no prelo). Estes trabalhos são extremamente importantes devido ao seu valor como instrumentos para conservação destas espécies e de seus habitats, uma vez que elas precisam estar formalmente descritas para constarem nas listas de espécies ameaçadas.

Assim como outras regiões do país, os grupos mais bem distribuídos nas cavernas de Cordisburgo são representados por organismos detritívoros capazes de encontrar alimento em ambientes onde o recurso é escasso (Zeppelini Filho et al., 2003; Trajano, 2000; Zampaulo, 2010; Bento, 2011). Na região de estudo,

estes grupos foram representados por grilos (*Endecous sp.*) e psocópteros (*Psyllipsocus sp.*), entre os detritívoros, e pelos pseudoescorpiões (*Spelaeocharnes sp.*) e aranhas (*Isoctenus sp1* e *Plato sp1*), entre os predadores.

É importante ressaltar que na maioria dos estudos existentes envolvendo comunidades cavernícolas foram empregados diferentes tipos de metodologia, o que dificulta extremamente a comparação entre os resultados obtidos. A metodologia utilizada neste estudo foi a mesma já empregada em outros estudos realizados em diferentes regiões do país. Estes constituem o trabalho de Ferreira (2004) envolvendo cavernas do Cerrado, de Zampaulo (2010) com cavernas da região de Arcos, Pains e Doresópolis, de Bento (2011) com cavernas calcárias do Rio Grande do Norte e os trabalhos de Souza-Silva (2008) e Souza-Silva e colaboradores (2011a) que contemplaram mais de 100 cavernas da Mata Atlântica. Dessa forma, é possível a comparação entre características das comunidades cavernícolas obtidas neste estudo com as de algumas áreas do território brasileiro.

Zampaulo (2010) encontrou uma riqueza média de 35 espécies por caverna e uma diversidade média igual a 2.46 para cavernas da região de Arcos, Pains e Doresópolis. Souza-Silva e colaboradores (2011a) obtiveram uma riqueza média de 53 espécies por caverna e uma diversidade média igual a 2.24 em cavernas calcárias da Mata Atlântica. Bento (2011) encontrou uma média de 38.2 espécies por caverna e uma diversidade média de 2.35 no Rio Grande do Norte. Dessa forma, pode-se constatar que a região de Cordisburgo apresenta uma riqueza média bastante superior à encontrada em outras regiões do país que foram amostradas utilizando-se a mesma metodologia, bem como um valor maior de diversidade média ( $S=80$ ,  $H'= 2.52$ ). Embora o valor médio de diversidade não tenha sido muito maior do que o observado em outras regiões pode-se notar que a riqueza média de espécies por cavernas foi



consideravelmente mais elevada. Uma hipótese para explicar esse fato é a presença de grandes cavernas com considerável quantidade de matéria orgânica na região que apresentam elevados valores de riqueza. Além disso, embora o desmatamento seja um impacto frequente na região, ainda existe um número considerável de fragmentos de mata secundária relativamente bem preservados. Este fato pode contribuir para uma grande diversidade do ambiente externo, e conseqüentemente, do ambiente subterrâneo. No entanto, estas explicações são totalmente especulativas. Mas independentemente do motivo pelo qual a riqueza média de espécies foi maior do que em outras regiões do país, este é um resultado bastante expressivo, pois corrobora com os dados obtidos por Ferreira (2004), mostrando que a região de Cordisburgo realmente apresenta importância biológica especial para conservação de invertebrados em Minas Gerais.

A Gruta da Morena merece destaque por ser a caverna mais extensa, e com maior riqueza de espécies (213 espécies) e de troglóbios (16 espécies). Esta riqueza é superior à encontrada na Lapa Nova (Vazante-MG), que constitui uma caverna de dimensões similares, na qual foram encontradas 187 espécies em dois episódios de coleta (Pellegrini, 2011). A elevada riqueza observada pode ser explicada não somente pela grande extensão da Gruta da Morena (4620 m), mas também pela sua grande heterogeneidade em termos de habitats e recursos alimentares. A porção leste desta cavidade apresenta galerias mais amplas enquanto a porção oeste apresenta salões parcialmente obstruídos por blocos abatidos e porções de teto baixo. O córrego Cantagalo e seus afluentes se encontram em muitos trechos da caverna e as inundações sazonais são responsáveis pela deposição de grandes manchas de recursos de origem vegetal em alguns condutos ao longo das margens do curso d'água (Auler et al., 2001). Além disso, existem vários depósitos de guano distribuídos pela cavidade. Esta grande disponibilidade de habitats e de recursos certamente é responsável pela

grande riqueza encontrada neste ambiente, como já observado para várias outras cavernas (Humphreys, 1991; Christman & Culver, 2001; Ferreira, 2004).

A não estabilização da curva de rarefação indica o quanto uma amostragem deve ser ampla em termos espaciais e temporais para que a biodiversidade de invertebrados cavernícolas seja acessada de forma satisfatória. É muito difícil avaliar o quão completa é uma amostragem, sendo necessárias repetidas visitas para que seja possível enumerar as espécies conhecidas em uma caverna (Culver et al., 2004; Schneider & Culver, 2004). Culver e colaboradores (2004) citam como exemplo o sistema Postojna-Planina Cave (Eslovênia), que corresponde a um dos ambientes subterrâneos mais bem estudados do mundo. Mesmo após centenas de visitas realizadas neste sistema por biólogos, uma nova espécie, pertencente a um novo gênero - *Niphargobates orophobata* (Amphipoda) – foi encontrada em 1981. Schneider & Culver (2004) amostraram 65 dentre as 148 cavernas registradas no oeste do estado da Virgínia (Estados Unidos) e as curvas de acumulação de espécies obtidas por estes autores também não atingiram uma assíntota, indicando que nem todas as espécies da região foram coletadas. Eles argumentaram que isto é um reflexo da heterogeneidade das amostras, uma vez que poucas cavernas concentram a maioria das espécies troglóbias e muitas cavernas apresentam pouca ou nenhuma espécie troglóbia. Aumentando-se o tamanho da amostra, aumenta-se a chance de detectar a presença de espécies raras (Schneider & Culver, 2004).

Quanto à  $\beta$ -diversidade, o valor encontrado (59.5) foi muito similar ao obtido por Souza-Silva e colaboradores (2011a) para cavernas calcárias da Mata Atlântica (60.19). No entanto, era de se esperar uma substituição menor na região de estudo devido à grande proximidade das cavernas amostradas. No trabalho de Souza-Silva e colaboradores (2011a) as cavernas amostradas estão distribuídas ao longo de um gradiente latitudinal considerável, ocorrendo em

diferentes áreas remanescentes de Mata Atlântica no Brasil. No entanto, Souza-Silva e colaboradores (2011b) encontraram um valor ainda maior para três cavernas quartzíticas amostradas no município de Luminárias (Minas Gerais). Estas cavernas, embora muito próximas, apresentaram um valor de  $\beta$ -diversidade igual a 77.11. Estes autores ressaltam que cavernas próximas não necessariamente apresentarão comunidades semelhantes e que variações nas características físicas e no tipo de recurso presente podem determinar diferenças na comunidade de invertebrados.

## **5.2 Composição, riqueza e distribuição de espécies troglomórficas**

Ao comparar estes dados com estudos realizados em outras regiões do país, pode-se observar que o valor da razão entre o número de espécies troglomórficas e o número de cavernas amostradas (2.6 espécies por caverna) para a região de Cordisburgo foi consideravelmente maior. Souza-Silva (2008) encontrou 180 espécies troglomórficas em 290 cavernas inventariadas na Mata Atlântica (0.5 espécies por caverna), mas este estudo foi realizado em uma área geográfica mais ampla e abrangeu cavernas de várias litologias. Bento (2011) encontrou um total de 61 espécies troglóbias em 47 cavernas amostradas no Rio Grande do Norte (1.3 espécies por caverna). Zampaulo (2010) utilizou os dados de amostragem de 296 cavernas localizadas na província cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis e encontrou 79 espécies troglomórficas (0.27 espécies por caverna). Este valor consideravelmente menor do que o obtido no presente estudo pode ser atribuído ao grande número de cavernas de pequena dimensão amostradas por este autor. Talvez a realização da amostragem em um maior número de cavernas na região de Cordisburgo, principalmente em caverna de dimensões reduzidas com grande influência do ambiente externo, diminuísse o

valor da razão encontrada. No entanto, mesmo a partir destas observações, a região de Cordisburgo deve ser considerada como uma importante área de ocorrência de espécies troglomórficas no país.

No contexto mundial, pode-se afirmar que a região de Cordisburgo apresenta uma razão de troglóbios por caverna semelhante à encontrada em algumas regiões temperadas, conhecidas por apresentarem maior riqueza de espécies troglóbias em relação aos trópicos. Como exemplos, Peck (1992) relatou a presença de 250 espécies em 54 cavernas do Alabama, EUA (4.6 spp/caverna) e Sharratt e colaboradores (2000) relataram a ocorrência de 85 espécies troglóbias em 80 cavernas quartzíticas localizadas no sul da África (1.06 spp/caverna). Na França, Juberthie & Ginet (1994) relatam 639 espécies troglóbias em 911 cavernas (0.7 spp/caverna). Culver e colaboradores (2003) compararam a fauna de troglóbios em nove regiões cársticas dos Estados Unidos e encontraram que o número de espécies variou de zero (Florida Lime Sinks) até 256 (Interior Low Plateau).

A Gruta da Morena destacou-se também quanto ao número de espécies troglomórficas. Esta caverna compreende um sistema bastante extenso, apresentando regiões bastante isoladas das entradas. Estas regiões correspondem a ambientes bastantes estáveis e favoráveis à ocorrência de troglóbios. Além disso, estes são os habitantes mais restritos do sistema cavernícola e ao contrário dos troglófilos, não são capazes de se dispersarem livremente no ambiente externo em busca de alimento. Dessa forma, o recurso alimentar alóctone, extremamente abundante nesta caverna, é de extrema importância para estes organismos (Humphreys, 1991; Culver & Sket, 2000; Schneider et al., 2011).

Até o momento, o único sistema brasileiro que apresenta maior concentração de espécies troglóbias em relação à Gruta da Morena é o Sistema Areias (Vale do Ribeira – São Paulo) (Prates & Drumond, 2007). Este sistema

apresenta 20 espécies troglóbias e constitui o *hotspot* brasileiro de acordo com as considerações feitas por Culver & Sket (2000) sobre os *hotspots* mundiais de biodiversidade subterrânea. É importante ressaltar, no entanto, que o Sistema Areias tem sido intensivamente amostrado ao longo de vários anos (Prates & Drumond, 2007), e que é formado por três cavernas. Considerando cada caverna, independentemente, a que apresenta maior riqueza é areias de cima, com 15 espécies. A Gruta da Morena, portanto, pode ser considerada a caverna com o maior número de espécies troglóbias no país.

O estudo de Ferreira (2004) revelou a presença de três espécies troglomórficas na Gruta do Salitre e seis na Gruta de Maquiné. As três espécies anteriormente encontradas em Salitre foram observadas no presente estudo, além de cinco outras espécies adicionais. Na Gruta de Maquiné, dentre as seis espécies coletadas por Ferreira (2004), apenas duas não foram observadas no presente estudo. Estas correspondem ao colêmbolo *Arrhopalites* sp. (Collembola: Arrhopalitidae) e a uma espécie de traça (*Zygentoma*) não identificada. Além das espécies citadas, deve-se contabilizar também a aranha troglóbia *Lygromma ybyguara* (pertencente à família Prodidomidae) e a carcaça de um besouro troglóbio pertencente ao gênero *Coarazuphium* (Coleoptera: Carabidae: Zuphini). Tal espécie, certamente nova para a ciência, deve ser contabilizada embora nunca tenha sido encontrada viva na caverna (Ferreira, 2004). Considerando-se todos os registros, a Gruta de Maquiné apresenta um total de 14 espécies troglomórficas, que corresponde a um número extremamente significativo tendo em vista o histórico de exploração desta cavidade. Essa expressiva riqueza de troglóbios, aliada a uma elevada riqueza média de espécies por caverna, confirma que essa região deve ser alvo de ações de conservação e intensificação de estudos bioespeleológicos.

Apenas cinco dentre as 39 espécies de invertebrados troglóbios encontrados na região de Cordisburgo estão formalmente descritas até o momento (*Spinopilar moria*, *Spaeleoleptes spaeleus*, *Eukoenenia maquinensis*, *Eukoenenia sagarana* e *Lygromma ybyguara*). As demais espécies muito provavelmente pertencem à taxa não descritos. Este fato evidencia a existência de grandes lacunas de conhecimento a respeito dos troglomorismos apresentados pelas espécies da região e a escassez de taxonomistas especializados, não só em espécies troglóbias, mas em invertebrados cavernícolas no Brasil. Essa falta de conhecimento das espécies cavernícolas também pode ser observada em outras regiões cársticas do mundo. Eberhard (2001) ressalta que apenas 59% dos 97 taxa encontrados em cavernas de Ida Bay, Tasmânia, estão formalmente descritos, existindo pelo menos doze novas espécies troglóbias que permanecem não descritas.

### **5.3 Similaridade entre as cavernas e relações entre parâmetros físicos e biológicos**

A ausência da formação “clara” de agrupamentos na análise de nMDS e o baixo valor de similaridade (inferior a 50%) indica que a região de Cordisburgo pode ser considerada heterogênea em termos de composição de espécies.

A Gruta 1 apresenta um menor valor de similaridade com as demais cavernas provavelmente devido ao seu pequeno desenvolvimento linear (20 metros), correspondendo à menor caverna amostrada. Dessa forma, a comunidade de invertebrados desta cavidade pode ser fortemente influenciada pela presença de espécies epígeas. As cavernas mais similares entre si foram Gruta da Mata e Santo Amaro II e Gruta do Meio e Represinha. De acordo com

a proximidade geográfica entre as cavernas, era de se esperar que a Gruta Santo Amaro II apresentasse maior similaridade com a Gruta Santo Amaro I e a Gruta do Meio fosse mais similar à Gruta da Morena. Portanto, é possível perceber que na região de Cordisburgo, a distância entre as cavernas não é um fator que determina maior similaridade da fauna, fato também observado por Zampaulo (2010) para as cavernas da região de Pains. Outras características como os tipos de recursos presentes nestes ambientes talvez sejam mais importantes como determinantes da composição das comunidades cavernícolas (Schneider et al., 2011).

A maior riqueza de espécies observada em cavernas com corpos d'água deve-se provavelmente à presença de grandes depósitos de matéria orgânica nestas cavidades. A água constitui um importante agente físico de transporte de matéria orgânica para o meio subterrâneo, reduzindo consideravelmente a condição de oligotrofia destes ambientes. Além disso, geralmente estas cavernas são mais heterogêneas em termos de habitat uma vez que existe uma variedade de ambientes aquáticos e terrestres que podem ser colonizados por várias espécies. Esta maior disponibilidade de recursos e de habitat pode ser determinante para a riqueza de ambientes subterrâneos (Humphreys, 1991; Christman & Culver, 2001; Ferreira, 2004).

A correlação negativa entre a riqueza total e à largura das entradas pode ser explicada pela existência, na região de Cordisburgo, de algumas cavernas que apresentam entradas relativamente largas associadas aos ambientes bastante degradados. Como exemplos, pode-se citar a Gruta Lagoa de Pedra, cuja entrada está associada a um ambiente desmatado, e a Gruta de Maquiné, cujo entorno encontra-se todo modificado e pavimentado devido a sua utilização turística. Já a correlação positiva entre a riqueza total de invertebrados e o número de entradas, embora pareça contraditória em relação ao resultado anterior, pode ser explicada

pelo fato de que quanto maior o número de entradas, maior a possibilidade de que estas entradas estejam associadas a ambientes relativamente preservados. Como exemplo, pode-se citar a Gruta da Morena que apresenta sete entradas, algumas delas próximas a áreas desmatadas e outras associadas a fragmentos de vegetação. Entradas de cavernas localizadas em fragmentos de matas oferecem condições de sombreamento e umidade mais favoráveis ao estabelecimento de comunidades para-epígeas. Estas comunidades são formadas por espécies que se associam preferencialmente a regiões de entrada (Ferreira & Martins, 2001) e podem ser compostas por espécies epígeas e hipógeas, havendo também espécies exclusivas deste ambiente transicional (Prous et al., 2004). Estas comunidades, historicamente excluídas de inventários bioespeleológicos, apresentam importantes funções ecológicas e contribuem de forma considerável para a riqueza de ambientes subterrâneos (Ferreira, 2004).

Uma correlação significativa e positiva entre a projeção horizontal e o número de espécies também foi observada por Zampaulo (2010) em cavernas da região de Pains. Segundo Culver & Sket (2000), a riqueza de uma caverna é em geral positivamente correlacionada ao seu comprimento uma vez que cavernas mais extensas apresentam maior número de diferentes habitats. Quanto aos troglóbios, cavernas com grande desenvolvimento podem apresentar regiões mais profundas e isoladas em relação ao ambiente externo, com condições ambientais mais estáveis e favoráveis à ocorrência destas espécies.

A correlação entre as espécies troglóbias e os parâmetros físicos das cavernas pode ser atribuída ao efeito da Gruta da Morena, que corresponde à cavidade mais rica em troglóbios e com maior projeção horizontal e número de entradas.



#### 5.4 Usos e alterações

A atividade rural na região de Cordisburgo é dominada pela pecuária e em menor escala pelo cultivo agrícola e pelo plantio de eucalipto para produção de carvão vegetal. O estabelecimento de grandes florestas de eucalipto pode alterar drasticamente o regime hídrico da região (Travassos, 2010). Segundo este mesmo autor, a agropecuária e o desmatamento constituem a maior ameaça para as águas subterrâneas em Cordisburgo. Além disso, esta substituição acarreta um impacto de depleção e alteração dos recursos orgânicos carreados para o interior da caverna.

O desmatamento do entorno também foi um impacto freqüente em cavernas calcárias da Mata Atlântica (Souza-Silva, 2008) e da região de Arcos, Pains e Doresópolis, Minas Gerais (Zampaulo, 2010). Mudanças na estrutura da vegetação ao redor das cavernas podem ter efeitos dramáticos sobre populações de espécies troglóxenas (como grilos e morcegos, por exemplo), que deixam as cavernas de forma rotineira em busca de alimento (Taylor et al., 2005; Fagan et al., 2007). Além disso, como o recurso alimentar vem do ambiente epígeo, o desmatamento pode vir a intensificar a condição de oligotrofia das cavernas, o que pode alterar a riqueza e composição das comunidades presentes. A substituição da vegetação original presente no entorno das entradas de cavernas pode tornar o habitat menos adequado para o estabelecimento de espécies para-epigéias (Richter et al., 1993; Prous et al., 2004). Embora estas alterações não tenham sido avaliadas no presente estudo, é plausível assumir que estas modificações estejam afetando as comunidades cavernícolas.

Quanto aos impactos decorrentes do uso turístico na Gruta de Maquiné, considera-se extremamente emergencial a retirada de todo lixo inorgânico resultante da troca do sistema de iluminação da cavidade. Os efeitos da presença

deste tipo de material sobre a comunidade associada a esta caverna ainda são desconhecidos. No entanto, não se pode descartar a eventual contaminação de diversos substratos da caverna por metais ou outros elementos, potencialmente danosos não somente à saúde humana como também à fauna residente. Holsinger (1966) afirma que a poluição por metais pesados pode causar sérios problemas à fauna cavernícola.

Um impacto também bastante evidente no interior da Gruta de Maquiné é a compactação do sedimento gerada pelo grande número de visitantes que esta cavidade recebe. O pisoteio intensivo pode causar a compactação do sedimento, tornando-o um habitat menos apropriado para muitas espécies de invertebrados (Gillieson, 1998). Os espécimes e os recursos orgânicos também podem ser diretamente pisoteados, havendo a redução do número de indivíduos de espécies subterrâneas (Gillieson, 1998; Ferreira & Horta, 2001; Eberhard, 2001).

Em relação aos impactos externos, todo o entorno próximo à entrada da Gruta de Maquiné foi alterado para a implantação de acessos, jardins, estacionamentos e edificações. Estes elementos de infraestrutura podem ter alterado significativamente a drenagem e fluxo superficial de água. A impermeabilização do solo com cimento e asfalto na construção de rotas de caminhada, estruturas na entrada, estacionamentos e banheiros contrasta com a grande permeabilidade dos sistemas cársticos, modificando a hidrologia das cavernas (Williams, 1993; Gillieson, 1998).

Alguns tipos de manipulação das entradas, como observado nas grutas Lagoa da Pedra e Gruta 2, podem alterar o fluxo de energia para o ambiente cavernícola (Elliot, 2000). Embora não seja possível avaliar os efeitos destes impactos sobre as comunidades associadas a estas cavernas devido à ausência de estudos anteriores, existem relatos de problemas causados à biota cavernícola decorrentes de modificações hidrológicas. Alterações no regime de inundação

decorrentes de barramentos de cursos d'água que drenam o sistema Mammoth Cave (Kentucky, Estados Unidos) causaram a morte de um grande número de morcegos e a redução populacional de algumas espécies de peixes e crustáceos (Elliot, 2000).

### **5.5 Valoração das cavernas**

Travassos (2010) também sugere a criação de outras áreas de proteção ambiental, além do Monumento Natural Estadual Peter Lund, na região de Cordisburgo. Este autor ressalta, ainda, a necessidade de parcerias público-privadas para o incentivo de estratégias de conservação e uso sustentável do carste.

Alt (2010) também sugeriu uma revisão dos limites da área do Monumento Natural Estadual Peter Lund devido à existência de cavernas importantes sob o ponto de vista ambiental e científico que estão muito próximas, porém fora de seus limites. Dentre estas, está a Gruta da Represinha que se destaca pela sua dimensão e dinâmica hídrica. No presente trabalho, esta caverna foi classificada como sendo de alta vulnerabilidade principalmente devido à presença de cinco espécies troglomórficas e pelo impacto decorrente do desmatamento observado no entorno. Estes resultados reforçam a necessidade de expansão dos limites do Monumento Natural para que cavernas expressivas sob o ponto de vista biológico e físico sejam preservadas, bem como suas áreas de entorno.

O IEF-MG realizou um estudo técnico visando à criação de uma Área de Proteção Ambiental - APA, no entorno do Monumento Natural Estadual Peter Lund. Em junho de 2008 foi publicado um memorial descritivo do perímetro desta unidade de conservação, denominada APA Estadual Serra do Maquiné.

Entretanto, esta APA não foi oficialmente criada (Alt, 2010). Segundo esta autora, o perímetro proposto pelo IEF-MG para esta APA abrangeria algumas cavernas amostradas no presente estudo como a Gruta da Morena e provavelmente as Grutas Santo Amaro I e II e Lagoa da Pedra.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As cavernas prioritárias para conservação na região de Cordisburgo seriam a Gruta da Morena e a Gruta de Maquiné. A primeira localiza-se em uma propriedade particular e seria interessante a criação de uma Unidade de Conservação no seu entorno, abrangendo também a Gruta do Meio que apresenta uma relevância biológica extrema. A preservação destas duas cavernas, que compreendem um único sistema, garantiria a preservação de uma parte representativa dos invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, incluindo dezesseis espécies troglóbias. A Gruta de Maquiné, por sua vez, encontra-se em área de Unidade de Conservação que corresponde ao Monumento Natural Estadual Peter Lund. Mesmo assim, compreende a caverna que apresentou o maior grau de impacto decorrente do uso turístico intensivo. Dessa forma, o que se sugere para a Gruta de Maquiné é a implantação de um plano de manejo biológico efetivo para que o turismo ocorra de forma a impactar o mínimo possível a comunidade de invertebrados associada a esta cavidade, como já havia sido sugerido por Ferreira (2004). As cavernas Gruta do Salitre e Gruta 1, ambas de extrema relevância biológica, e a Gruta 4, que apresenta alta relevância biológica, também estão inseridas na área do Monumento Natural Estadual Peter Lund.

As cavernas Gruta 2 e Gruta da Represinha, ambas localizadas nas adjacências do Monumento Natural, apresentaram alta relevância biológica e alto grau de vulnerabilidade. É importante ressaltar também que estas cavidades apresentaram três e cinco espécies troglomórficas, respectivamente. Dessa forma, uma revisão nos limites da área dessa unidade de conservação seria, sem dúvida, uma medida bastante interessante para a preservação destas cavernas.

Como o desmatamento foi o principal impacto observado na região, a revegetação do entorno seria uma medida interessante para as demais cavernas que apresentaram alta e média vulnerabilidade. Além disso, por se tratar de uma área que apresenta endemismos, seria extremamente importante a criação de outras unidades de conservação, bem como uma intensificação dos estudos bioespeleológicos

Embora a presença de pastagens seja um impacto comum na região de Cordisburgo, pode-se afirmar que houve uma revegetação da área nos últimos anos. A figura 14 ilustra este fato através da comparação de uma imagem aérea obtida na década de 50 e disponibilizada no trabalho de Dolabela (1958) e a imagem do ano de 2003 disponibilizada no Google Earth. Pode-se observar que áreas que anteriormente eram desmatadas, atualmente apresentam um restabelecimento da vegetação.

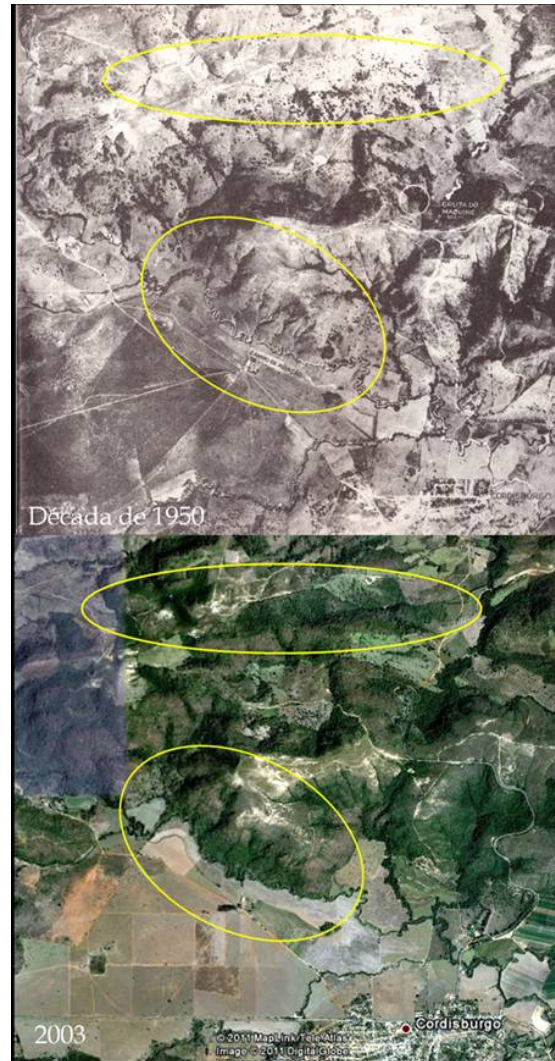


Figura 14 Comparação entre uma imagem aérea obtida na década de 50, retirada de Dolabela (1958), e uma a imagem do ano de 2003 (adaptado de <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>). Os círculos amarelos destacam áreas nas quais pode ser observado o restabelecimento da vegetação.

Os resultados obtidos no presente trabalho contribuem para o conhecimento, ainda extremamente incipiente, acerca da fauna associada aos

ambientes subterrâneos na região de Cordisburgo. Os estudos pré-existentes que sugeriam a criação de Áreas de Proteção Ambiental ou ampliação dos limites da unidade de conservação eram baseados apenas na importância histórica, arqueológica, paleontológica e geológica do carste. Dessa forma, estudos como este, que utilizam uma abordagem abrangente sobre a fauna subterrânea associada às fragilidades decorrentes do uso antrópico das cavernas e seus entornos, podem ser decisivos na proposição de ações específicas de conservação na região.

## **7 AGRADECIMENTOS**

Aos pesquisadores e amigos Rodrigo Lopes Ferreira e Marconi Souza Silva, pela participação em todo o processo de realização do estudo e todos os amigos do laboratório de Ecologia Subterrânea da UFLA, pelo auxílio nas coletas e triagem de material biológico.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG CRA-APQ-03526-09), pelo suporte financeiro e aos funcionários da Maquinetur, principalmente a Gilson, e ao Mário e à Raquel do IEF, pelo suporte logístico durante a realização dos trabalhos de campo na região de Cordisburgo.

## **8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alt, L. R. 2010. *Plano de manejo do Monumento Natural Estadual Peter Lund*. Ambiente Brasil Centro de Estudos. Cordisburgo, MG. Brasil.

Auler, A.; Rubbioli, E.; Brandi, R. 2001. *As grandes cavernas do Brasil*. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. Belo Horizonte, MG. Brasil.

- Barr, T. C.; Kuehne, R. A. 1971. Ecological studies in the Mammoth Cave ecosystems of Kentucky. II. The ecosystem. *Annales de Spéléologie* 26: 47-96.
- Bento, D. M. 2011. Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação. Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN. Brasil.
- Brasil. Decreto-lei nº 99.556 de primeiro de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. Diário Oficial da República do Brasil, Brasília, DF, 2 out. 1990. Seção 1.
- Brasil. Decreto nº 6.640 de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos artigos 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5A e 5B ao Decreto nº 99.556 de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. Diário Oficial da República do Brasil, Brasília, DF, 10 nov. 2008. Seção 1.
- Chaimowicz, F. 1986. Observações preliminares sobre o ecossistema da Gruta Olhos d'Água, Itacarambi, MG. *Espeleo-tema* 15: 65-77.
- Christiansen, K. A. 1962. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca* 2: 76-78.
- Christman, M. C.; Culver, D. C. 2001. The relationship between cave biodiversity and available habitat. *Journal of Biogeography* 3(28): 367-380.
- Culver, D. C. 1982. *Cave Life: Evolution and Ecology*. Harvard University Press, Cambridge.



- Culver, D. C.; Sket, B. 2000. Hotspots of Subterranean Biodiversity in Caves and Wells. *Journal of Cave and Karst Studies* 62(1): 11-17.
- Culver, D. C.; Christman, M. C.; Welliott, W. R.; Hobbs, H. H.; Reddell, J. R. 2003. The North American obligate cave fauna: regional patterns. *Biodiversity and Conservation* 12: 441-468.
- Culver, D. C.; Christman, M. C.; Sket, B.; Trontelj, P. 2004. Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. *Biodiversity and Conservation* 13: 1209-1229.
- Dessen, E. M. B.; Eston, V. R.; Silva, M. S.; Temperini-Beck, M. T.; Trajano, E. 1980. Levantamento preliminar da fauna de caveas de algumas regiões do Brasil. *Ciência e Cultura* 32(6): 714-725.
- Dolabela, E. 1958. Estudo das regiões carsicas. Tese de concurso para provimento do cargo de catedrático de Geografia Física da Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Brasil.
- Drummond, G. M. B.; Martins, C. S.; Machado, A. B. M.; Sebaio, F. A.; Antonini, Y. 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. 2ª ed. Fundação Biodiversitas. Belo Horizonte, MG. Brasil.
- Eberhard, S. 2001. Cave fauna monitoring and management at Ida Bay, Tasmania. *Records of the Western Australian Museum* 64: 97-104.
- Elliot, W. R. 1981. Damming up the caves. *Caving International* 10: 38-41.
- Elliott, W. R. 2000. Conservation of the North American cave and karst biota. *In: Wilkens, H.; Culver, D. C.; Humphreys, W. F. (eds.). Subterranean Ecosystems. Ecosystems of the World*. Pp. 665- 689. Elsevier, Amsterdam.

- Engel, A. S. 2005. Chemoautotrophy. *In*: Culver, D. C.; White, W. B. (eds.). *Encyclopedia of caves*. Pp. 90-102. Elsevier Academic Press, California.
- Fagan, W. F.; Lutscher, F.; Schneider, K. 2007. Population and community consequences of spatial subsidies derived from central-place foraging. *The American Naturalist* 170: 902-915.
- Ferreira, R. L.; Horta, L. C. S. 2001. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves. *Revista Brasileira de Biologia* 61(1): 7-17.
- Ferreira, R. L.; Martins, R. P. 1998. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil). *Biodiversity & Distribution* 4: 235-241.
- Ferreira, R. L.; Martins, R. P. 1999. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. *Tropical Zoology* 12: 231-259.
- Ferreira, R. L.; Martins, R. P. 2001. Cavernas em risco de 'extinção'. *Ciência hoje* 29: 20-28.
- Ferreira, R. L. 2004. A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. Tese de doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Brasil.
- Ford, D.; Williams, P. 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. British Library Cataloguing in Publication Data. Blackwell Publishers, Oxford.
- Gibert, J.; Danielopol, D. L.; Tanford, J. A. 1994. *Groundwater Ecology*. Academic Press, New York.

- Gillieson, D. S. 1998. *Caves: processes, development and management*. Library of Congress Cataloging-in- Publication Data. Blackwell Publishers, Oxford.
- Gnaspini-Neto, P.; Trajano, E. 1994. Brazilian cave invertebrates with a checklist of troglomorphic taxa. *Revista Brasileira de Entomologia* 38: 549-584.
- Harrison, S.; Ross, S. J.; Lawton, J. H. 1992. Beta diversity on geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology* 61: 151-158.
- Holsinger, J. R. 1966. A preliminary study on the effects of organic pollution on Banners Corner Cave, Virginia. *Internation Journal of Speleology* 2: 75-89.
- Holsinger, J. R.; Culver, D. C. 1988. The Invertebrate Cave Fauna of Virginia and Part of Eastern Tennessee: Zoogeography and Ecology. *Brimleyana* 14: 1-162.
- Howarth, F. G. 1983. Ecology of cave arthropods. *Annual Review of Entomology* 28: 365-389.
- Humphreys, W. F. 1991. Experimental re-establishment of pulse-driven populations in a terrestrial troglobite community. *The Journal of Animal Ecology* 60: 609-623.
- Juberthie, C.; Ginet, R. 1994. France. In: Juberthie, C.; Decu, V. (eds.) *Encyclopaedia biospeologica*. Saint-Girons, Fabbro, Pp. 665–692. Moulis & Bucarest.
- Koleff, P.; Gaston, K. J.; Lennon, J. J. 2003. Measuring beta diversity for presence–absence data. *Journal of Animal Ecology* 72: 367-382.

- Kury, A. B.; Pérez-González, A. 2008. The first cave-dwelling *Spinopilar* Mello-Leitão 1940 (Opiliones Gonyleptidae Tricommatinae), described from a Brazilian cave. *Tropical Zoology* 21: 259-267.
- Lewis, J. J. 1982. Aquatic ecosystems and management problems in the Mammoth cave area. In: Wilson, R. C.; Lewis, J. J. (eds.) *National Cave Management Symposia Proceedings*, Carlsbad, New Mexico 1978 and Mammoth Cave, Kentucky 1980. Pygmy Dwarf Press. Pp. 73-76. Oregon.
- Lisowski, E. A.; Poulson, T. L. 1981. Impacts of lock and Dam Six on baselevel ecosystem in Mammoth Cave. In: Poulson, T. (ed.) *Cave Research Foudation 1979 Annual Report*. Pp. 48-54. Adobe Press, Albuquerque, New Mexico.
- Lynch, A. J. J. 2010. The Usefulness of a Threat and Disturbance Categorization Developed for Queensland Wetlands to Environmental Management, Monitoring, and Evaluation. *Environmental Management* 47(1): 40-55.
- Magurram, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. USA: Blackwell Science Ltd.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Fonseca, G. A. B.; Kent, J. 2000. Biodiversity hot spots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Peck, S. B. 1992. A synopsis of the cave fauna of Jamaica. *Bull. Natl. Speleol. Soc.* 54: 37-60.
- Pellegrini, T. G. 2011. Variações na diversidade de invertebrados na Lapa Nova, Vazante, Minas Gerais: implicações para o plano de manejo da cavidade. Dissertação de mestrado em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. Brasil.

- Pinto-da-Rocha, R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos de Zoologia* 39(6): 61-173.
- Poulson, T. L.; White, W. B. 1969. The cave environment. *Science* 165: 971-981.
- Prates, I.; Drumond, L. 2007. *Sistema Areias: 100 anos de estudos*. Org. Eleonora Trajano, São Paulo: Redespeleo Brasil.
- Prous, X.; Ferreira, R. L.; Martins, R. P. 2004. Ecotone delimitation: epigean-hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology* 29: 374-382.
- Richter, A. R.; Humphrey, S. R.; Cope, J. B.; Brack Jr, V. 1993. Modified cave entrances: thermal effect on body mass and resulting decline of endangered Indiana (*Myotis sodalis*). *Conservation Biology* 7(2): 407-415.
- Sarbu, S. M.; Kane, T. C.; Kinkle, B. K. 1996. A chemoautotrophically based cave ecosystem. *Science* 272: 1953-1955.
- Sharratt, N. J.; Picker, M.; Samways, M. 2000. The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. *Biodiversity and Conservation* 9: 107-143.
- Schneider, K.; Christman, M. C.; Fagan, W. F. 2011. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. *Ecology* 92:765-776.
- Schneider, K.; Culver, D. C. 2004. Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in West Virginia. *Journal of Cave and Karst Studies* 66(2): 39-45.

- Sket, B. 1999. High biodiversity in hypogean waters and its endangerment – the situation in Slovenia, Dinaric Karst, and Europe. *Crustaceana* 72: 767-780.
- Soares, H. E. M. 1966. Novos opiliões da coleção “Otto Schubart” (Opiliones: Cosmetidae, Gonyleptidae, Phalangodidae). *Papéis avulsos do Departamento de Zoologia* 18(11): 103-11.
- Souza-Silva, M. 2003. Influência da disponibilidade e consumo de detritos na composição e estrutura de mesofauna cavernícola. Dissertação de mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Brasil.
- Souza-Silva, M. 2008. Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira. Tese de doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Brasil.
- Souza-Silva, M.; Ferreira, R. L.; Bernardi, L. F. O.; Martins, R. P. 2007. Importação e processamento de detritos orgânicos em uma caverna calcária. *Espeleo-tema* 19: 31-46.
- (a) Souza-Silva, M.; Martins, R. P.; Ferreira, R.L. 2011. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity Conservation* 20: 1713-1729.
- (b) Souza-Silva, M.; Nicolau, J. C.; Ferreira, R. 2011. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. *Espeleo-tema* 22: 79-81.
- Souza, M. F. V. R.; Ferreira, R. L. 2010. *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) in Brazilian caves with the first troglobiont palpigrade from South America. *Journal of Arachnology* 38: 415-424.

- Souza, M. F. V. R.; Ferreira, R. L. no prelo. A new remarkable troglobiotic *Eukoenia* (Palpigradi: Eukoeniidae) from Brazil. *Journal of Arachnology*.
- Taylor, S. J.; Krejca, J. K.; Denight, M. L. 2005. Foraging range and habitat use of *Ceuthophilus secretus* (Orthoptera: Rhabdophoridae), a key troglone in central Texas cave communities. *American Midland Naturalist* 154: 97-114.
- Trajano, E. 2000. Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. *Biotropica* 32: 882-893.
- Trajano, E.; Secutti, S.; Mattox, G. M. T. 2009. Epigeal and subterranean ichthyofauna in Cordisburgo karst area, eastern Brazil. *Biota Neotropica* 9(3): 277-281.
- Travassos, L. E. P. 2010. *Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil*. Tradição Planalto. Belo Horizonte, MG. Brasil.
- Uhlein, A.; Dossin, I. A.; Chaves, M. L. S. C. 1986. Contribuição à geologia, estratigrafia e tectônica das rochas arqueanas e proterozóicas da Serra do Espinhaço Meridional, MG. *An. 34º Cong Bras Geol.* 3: 1191-1202.
- Usher, M. B. 1986. Wildlife conservation evaluation: attributes, criteria and values. In: Usher, M. B. (ed.) *Wildlife Conservation Evaluation*. Pp. 3-44. Chapman & Hall, London.
- Williams, P. W. 1993. Environmental change and human impact on karst terrains: an introduction. In: Williams, P. W. (ed.) *Karst Terrains: Environmental Changes and Human Impact*. Pp. 1-20. Catena Supplement 25.

Zeppelini-Filho, D.; Ribeiro, A. C.; Ribeiro, G. C.; Fracasso, M. P. A.; Pavani, M. M.; Oliveira, O. M. P.; Oliveira, A. S.; Marques, A. C. 2003. Faunistic survey of sandstone caves from altinópolis region, São Paulo state, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia* 43(5): 93-99.

Zampaulo, R. A. 2010. Diversidade de invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação. Dissertação de mestrado em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. Brasil.



APÊNDICE A Lista dos taxa encontrados nas quinze cavernas amostradas na região de Cordisburgo. Os números entre parênteses representam a riqueza de cada família encontrada. Indet.: indeterminada.

	Taxa	Famílias, gêneros e espécies	Total
Outros	Nematoda	Indet. (1)	1
	Nemertea	Indet. (1)	1
	Oligochaeta	Indet. (14)	14
	Hirudinea	Indet. (1)	1
	Gastropoda	Indet. (11)	11
	Turbellaria	Indet. (6)	6
Arachnida	Araneae	Indet. (6), Clubionidae(1), Dipluridae(1), Theraphosidae (1)( <i>Lasiadora</i> ), Pisauridae (1) ( <i>Ancylometes</i> ), Nemesidae (1), Trechaleidae (1), Sicariidae (1) ( <i>Loxosceles</i> ), Scytodidae (1), Ochyroceratidae (2), Theridiosomatidae (3) ( <i>Plato</i> ), Araneidae (3) ( <i>Alpaida</i> ), Uloboridae (3), Ctenidae (4) ( <i>Enoploctenus</i> , <i>Isoctenus</i> ), Linyphiidae (6), Oonopidae (9), Pholcidae (8) ( <i>Mesabolivar</i> ), Prodidomidae (2), Salticidae (6), Symphytognathidae (4) ( <i>Anapistula</i> , <i>Symphytognatha carstica</i> ), Theridiidae (14) ( <i>Theridion</i> )	78
	Opiliones	Indet. (1), Zalmoxidae (1), Escadabiidae (2) ( <i>Spaeleoleptes</i> sp., <i>Spaeleoleptes spaeleus</i> ), Gonyleptidae (7) ( <i>Eusarcus</i> spp., <i>Spinopilar</i> spp., <i>Spinopilar moria</i> )	11
	Pseudoscorpiones	Indet. (2), Cheiridiidae (1), Olpiidae (2), Chernetidae (3), Chthoniidae (6) ( <i>Pseudochthonius</i> )	14
	Palpigradi	Eukoeneriidae (3) ( <i>Eukoeneria sagarana</i> , <i>Eukoeneria maquinensis</i> , <i>Eukoeneria florenciae</i> )	3
	Trombidiforme	Indet. (5), Thryophytidaidae (1), Cheyletidae (1), Ereyneidae (1), Bdellidae (1), Tydeidae (1), Rhagidiidae (3), Cunaxidae (1), Anystidae (1) ( <i>Erythracarus</i> ), Tenerifidae (1) ( <i>Neotenerifiola</i> )	16
	Sarcoptiforme	Indet. (7), Acaridae (2) ( <i>Tyrophagus</i> ); Anoetidae (1)	10
	Mesostigmata	Indet. (1), Laelapidae (6) ( <i>Myrmozercon</i> , <i>Cosmolaelaps</i> , <i>Stratiolaelaps</i> , <i>Gaeolaelaps</i> ), Podocinidae (3) ( <i>Podocinum</i> ), Veigaiidae (1), Diploginiidae (1), Macronyssidae (1), Ologamasidae (1), Otopheidomenidae (1), Macrochelidae (1)	16
	Ixodida	Ixodidae (1) ( <i>Amblyomma ovale</i> ), Argasidae (1) ( <i>Ornithodoros</i> )	2

## “Apêndice A, continua”

	Taxa	Famílias, gêneros e espécies	Total
<b>Insecta</b>	Diptera	Indet. (6), Agromyzidae (1), Calliphoridae (1), Chaoboridae (1), Dixidae (1), Lauxaniidae (1), Muscidae (1), Scenopinidae (1), Sirphidae (1) ( <i>Ormidia obesa</i> ), Streblidae (1), Tabanidae (1), Culicidae (2), Mycetophilidae (2), Chironomidae (3), Dolichopodidae (3), Simuliidae (3), Stratiomyidae (3) ( <i>Hermetia</i> ), Drosophilidae (5), Milichiidae (5), Psychodidae (6) ( <i>Lutzomyia</i> ), Sciaridae (5), Tipulidae (5), Phoridae (7) ( <i>Conicera</i> ), Cecidomyiidae (14), Ceratopogonidae (19)	98
	Coleoptera	Indet. (1), Cerambycidae (1), Chrysomelidae (1), Cicindelidae (1), Coccinellidae (1), Dryopidae (1), Gyrinidae (1), Hydraenidae (1), Hydrophilidae (1), Lyctidae (1), Mordellidae (1), Scaphidiidae (1), Curculionidae (2), Dytiscidae (2), Elmidae (2), Euglenidae (2), Histeridae (2), Lampyridae (2), Scydmaenidae (2), Tenebrionidae (3) ( <i>Zophobas</i> ), Nitidulidae (3), Scirtidae (3), Pselaphidae (5), Ptiliidae (6), Ptilodactylidae (6), Scarabaeidae (6), Carabidae (22), Staphylinidae (34)	114
	Lepidoptera	Indet. (2), Hesperidae (1), Pyralidae (2), Arctiidae (2), Noctuidae (8) ( <i>Ipoena</i> , <i>Latebraria</i> ), Tineidae (23)	38
	Hymenoptera	Indet. (10), Evaniidae (1), Sphecidae (1), Formicidae (25) ( <i>Acromyrmex</i> , <i>Crematogaster</i> , <i>Odontomachus</i> )	37
	Hemiptera	Indet. (6), Gelastocoridae (1), Gerridae (1), Ortheziidae (1), Pyrrhocoridae (1), Tingidae (1), Belostomatidae (2), Hebridae (2), Notonectidae (2), Reduviidae (3) ( <i>Zelurus</i> ), Cicadellidae (4), Ploiaridae (6), Veliidae (11) ( <i>Rhagovelia</i> )	41
	Psocoptera	Indet. (1), Liposcelididae (1), Trogiidae (1), Ptiloneuridae (4) ( <i>Euplocania</i> ), Lepidopsocidae (5), Psyllipsocidae (7) ( <i>Psyllipsocus</i> )	19
	Blattodea	Indet. (15), Blaberidae (1) ( <i>Blaberus</i> )	16
	Trichoptera	Indet. (6), Hydropsychidae (1) ( <i>Leptonema</i> )	7
	Ensifera	Indet. (3), Phalangopsidae (3) ( <i>Eidmanacris</i> , <i>Endecous</i> )	6
	Ephemeroptera	Indet. (4)	4
	Isoptera	Termitidae (4)	4
	Odonata	Indet. (1)	1
	Neuroptera	Mantispidae (1)	1

## “Apêndice A, conclusão”

	Taxa	Famílias, gêneros e espécies	Total
<b>Insecta</b>	Dermaptera	Diplatyidae (1)	1
	Plecoptera	Indet. (1)	1
	Thysanura	Nicoletiidae (2)	2
	Protura	Indet. (1)	1
<b>Crustacea</b>	Isopoda	Indet. (1), Armadillidiidae (1), Scleropactidae (1), Dubioniscidae (5), Plathyarthridae (5) ( <i>Trichorhina</i> ), Styloniscidae (5) ( <i>Pectenoniscus</i> )	18
	Ostracoda	Indet. (1)	1
<b>Entognatha</b>	Collembola	Indet. (27), Cyphoderidadae (1), Sminthuridae (1), Bourletiellidae (1), Neanuridae (2), Hypogastruridae (2) ( <i>Acherontides</i> ), Arrhopalitidae (3) ( <i>Arrhopalites</i> )	37
<b>Myriapoda</b>	Polydesmida	Indet. (1), Oniscodesmidae (1), Chelodesmidae (2), Paradoxosomatidae (3), Pyrgodesmidae (3)	10
	Symphyla	Indet. (6)	6
	Spirostreptida	Pseudonannolenidae (4) ( <i>Pseudonannolene</i> )	4
	Pauropoda	Indet. (3)	3
	Spirobolida	Rhinoericidae (2)	2
	Polyxenida	Indet. (1), Hypogexenidae (1)	2
	Scolopendromorpha	Cryptopidae (1)	1
	Geophilomorpha	Geophilidae (1)	1
<b>Imaturos</b>	Lithobiomorpha	Indet. (1)	1
	Diptera	Indet. (8), Keroplatidae (1), Ceratopogonidae (2), Chironomidae (2), Culicidae (2), Stratiomyidae (2), Drosophilidae, (3), Psychodidae (3) ( <i>Lutzomyia</i> )	23
	Coleoptera	Indet. (10), Elateridae (1), Lampyridae (5), Tenebrionidae (9), Staphylinidae (12)	37
	Lepidoptera	Indet. (10), Tineidae (8)	18
	Psocoptera	Indet. (2)	2
	Trichoptera	Indet. (2)	2
	Odonata	Indet. (3)	3
	Neuroptera	Myrmeleontidae (1)	1
	Megaloptera	Indet. (1)	1
Trombidiforme	Indet. (2)	2	

**ARTIGO 2**

**CARACTERIZAÇÃO DA FAUNA DE INVERTEBRADOS DA  
LAPA NOVA DE MAQUINÉ (CORDISBURGO, MG):  
CONSIDERAÇÕES SOBRE O MANEJO BIOLÓGICO DA  
CAVIDADE**

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

## RESUMO

A visitação de cavernas tem se tornado uma prática cada vez mais comum devido à grande atratividade destes ambientes. Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar a fauna de invertebrados da Lapa Nova de Maquiné, uma das cavernas turísticas mais conhecidas do Brasil, localizada no município de Cordisburgo, MG. Além disso, objetivou-se fazer recomendações sobre o manejo biológico para utilização turística desta cavidade. Neste estudo, foram encontradas 70 morfoespécies, dentre as quais 10 apresentaram características troglomórficas. Além disso, foram utilizados dados de levantamentos anteriores sobre a fauna e recursos tróficos presentes na cavidade. De forma geral, os invertebrados distribuem-se preferencialmente pelas partes turísticas da cavidade (onde o recurso orgânico mostra-se presente), sendo as zonas interditas à visitação relativamente pouco povoadas. Dessa forma, sugere-se a criação de “corredores de migração” de forma a direcionar as populações presentes nestes locais para regiões não visitadas na caverna. Além disso, sugere-se uma (re) caracterização da região de entrada para facilitar o estabelecimento das comunidades para-espígeas. Esse tipo de ação de manejo é fundamental para a preservação da biota associada a cavidades subterrâneas exploradas turisticamente, sendo este tipo de estudo ainda muito escasso no Brasil.

Palavras-chaves: Caverna. Invertebrados. Manejo. Turismo.

## 1 INTRODUÇÃO

As áreas cársticas compreendem sistemas de grande valor ambiental, cultural, científico e recreativo. O ciclo do carbonato de cálcio é fundamental para a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. As rochas calcárias guardam a história de variações ocorridas no nível do mar e os espeleotemas contêm registros paleoambientais dos continentes nos últimos 1 milhão de anos. As cavernas e os aquíferos associados fornecem habitat para espécies troglóbias que são intensivamente investigadas. Além disso, estes sistemas fornecem suprimento de água e de materiais de construção para milhares de pessoas (Ford & Williams 2007).

As cavernas, um dos componentes dos sistemas cársticos, compreendem cavidades naturais subterrâneas que apresentam características ambientais bastante peculiares. Uma característica muito marcante destes ambientes é a total ausência de luz. Este fator exerce uma forte pressão seletiva sobre as espécies presentes, funcionando como uma barreira à colonização de espécies que não apresentam nenhum tipo de pré-adaptação que lhes permitem estabelecer populações viáveis sob estas condições (Culver & Pipan 2009). Além disso, o ambiente cavernícola apresenta amplitudes térmicas bastante reduzidas em relação ao ambiente externo e uma elevada umidade (Poulson & White 1969; Barr & Kuehne 1971).

Dentre as principais atividades antrópicas que podem trazer danos aos ecossistemas cavernícolas no Brasil, podemos citar as intensas visitas turísticas, esportivas ou científicas (Souza-Silva 2008). O turismo compreende um dos impactos antrópicos que tem se mostrado cada vez mais frequente em áreas cársticas. Muitas cavernas apresentam interessantes elementos geológicos, biológicos ou arqueológicos, sendo estas consideradas patrimônios culturais. Desta forma, faz-se necessário disponibilizar estes ambientes à visitação pública

(Hoyos *et al.*1998). No entanto, o uso turístico de cavernas exhibe riscos, tanto para os visitantes, quanto para a integridade física e biótica da caverna.

O desenvolvimento de infraestrutura para o turismo, como a construção de portões ou portas na entrada, pode afetar o microclima no interior da caverna, a importação de nutrientes e a migração da fauna (Eberhard 2001). Além da construção de infraestrutura turística, a iluminação e a presença de visitantes também modificam as condições ambientais no interior da caverna. Estas atividades podem acarretar em mudanças na umidade relativa e temperatura do ar, na concentração de CO<sub>2</sub> e a proliferação de algas próximo às fontes de luz (Calaforra *et al.* 2003).

Segundo Ferreira e Martins (2001), a exploração turística está dentre as atividades humanas passíveis de causar sérios danos à fauna subterrânea, como redução do número de espécies. A redução no número de indivíduos de espécies cavernícolas terrestres tem sido atribuída também ao pisoteamento gerado pelos visitantes de cavernas (Gillieson 1998; Ferreira & Horta 2001; Eberhard 2001). Além disso, o pisoteio intensivo pode causar a compactação do sedimento, tornando-o um habitat menos apropriado para muitas espécies de invertebrados (Gillieson 1998).

Quanto aos riscos que o ambiente cavernícola pode oferecer para seus visitantes destacam-se alguns microrganismos considerados nocivos à saúde humana, como alguns fungos alergênicos e agentes causadores de dermatites e micoses. Dentre os microrganismos de maior importância devido ao grande risco que representam à saúde humana, pode-se destacar a espécie *Histoplasma capsulatum*, causadora da histoplasmose (Muniz *et al.* 2001). Outro risco potencial presente em cavernas é a presença de aranhas do gênero *Loxosceles* (conhecida como aranha-marron). Estas aranhas não são agressivas, a picada é indolor e geralmente ocorre quando o organismo é comprimido contra o corpo.

O veneno dessas aranhas é proteolítico causando lesão dermonecrotica (Tambourgi *et al.* 2000). Dessa forma, a presença e distribuição destes organismos em uma caverna devem ser levadas em conta ao se definir regiões de caminhamento e permanência de turistas (Pellegrini 2011).

A elaboração de um plano de manejo é uma prática que permite minimizar os impactos decorrentes de visitas turísticas e conciliar a atividade cultural com a preservação da integridade física e biótica do ambiente subterrâneo (Hamilton-Smith 2004).

Segundo Ferreira e colaboradores (2009) as discussões relacionadas ao manejo de comunidades cavernícolas no Brasil ainda são muito incipientes. Estes autores sugerem a elaboração de planos de manejo específicos, adequados às peculiaridades de cada sistema a fim de minimizar o impacto incidente sobre as comunidades associadas a cavernas turísticas. Além disso, é essencial não só a proposição e implantação do plano de manejo, mas também o monitoramento das comunidades após qualquer intervenção (Ferreira 2004).

A conservação de ecossistemas subterrâneos apresenta problemas especiais devido à fragilidade das comunidades cavernícolas, incluindo um alto grau de endemismo e peculiaridades morfológicas, ecológicas e comportamentais das espécies troglóbias (Culver 1982). Estas espécies, por sua vez, são restritas ao ambiente cavernícola, sendo incapazes de estabelecerem populações viáveis no ambiente externo (Holsinger & Culver 1988). Dessa forma, estes organismos são muitas vezes priorizados em planos de manejo (Sessegolo & Theulen 2001; Sessegolo *et al.* 2004). Embora esta seja uma medida válida, é importante ressaltar que para a preservação de espécies vulneráveis é necessária a proteção de seu habitat como um todo (Eberhard 2001).



Dentre as cavernas turísticas encontradas no Brasil, destaca-se a Lapa Nova de Maquiné, localizada no município de Cordisburgo, Minas Gerais. Esta é uma caverna intensamente utilizada para o turismo desde 1967, ano no qual foi criada a infraestrutura de turismo que incluía escadas e alterações na topografia do piso para facilitar o acesso dos turistas, além da iluminação elétrica.

Ferreira (2004) já havia realizado uma proposta de manejo para a Lapa Nova de Maquiné. No entanto, posteriormente à realização deste trabalho, a caverna passou por algumas modificações, tais como a troca do sistema de iluminação, havendo a substituição de lâmpadas incandescentes por leds que não promovem o aquecimento do ambiente, e a retirada da tela que estava localizada na entrada e impedia a entrada de morcegos. Tais modificações certamente acarretaram em alterações ecológicas, fazendo-se necessária uma nova caracterização da fauna e uma nova proposta de manejo turístico para a cavidade.

## **2 OBJETIVOS**

1. Caracterizar o ecossistema da Lapa Nova de Maquiné quanto à sua fauna de invertebrados e seus recursos tróficos;
2. Verificar se há diferença significativa entre a riqueza média de espécies coletadas nas estações de seca e chuva nesta cavidade, utilizando dados pré-existentes;
3. Determinar a  $\beta$ -diversidade das amostras realizadas na Lapa Nova de Maquiné;
4. Determinar a distribuição dos organismos, das espécies troglomórficas e dos recursos orgânicos;

5. Identificar os impactos da visitação humana sobre o ambiente, fauna e recursos orgânicos desta caverna;

6. Propor diretrizes para o manejo da fauna desta cavidade, visando sua utilização turística com a minimização dos impactos causados por esta atividade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em Maio de 2010, na Lapa Nova de Maquiné (19°11'15"S e 44°18'45"W). Esta corresponde a uma caverna calcária com 1312 metros de extensão localizada no município de Cordisburgo, noroeste de Minas Gerais, Brasil.

Segundo Ferreira (2004), a Lapa Nova de Maquiné apresenta uma história bastante interessante de exploração. Os primeiros relatos científicos sobre esta caverna consistem nas publicações de Peter Whilhem Lund, naturalista dinamarquês que a visitou em 1834. Lund já mencionava a extração de salitre da cavidade (utilizado na fabricação de pólvora) antes de iniciar seus trabalhos de escavação.

Esta caverna despertou o interesse de Lund devido a sua beleza e a presença de ossadas fósseis. Dentre as espécies de destaque descritas por Lund encontrada em Maquiné está a preguiça terrícola extinta †*Notrotherium maquinense*.

A partir destes eventos, a caverna se tornou muito famosa na região. O dono da fazenda onde ela se localizava mandou que obstruíssem sua entrada para evitar a atratividade de pessoas para o local. Em 1870, o imperador D. Pedro II determina ao presidente da província a missão de redescobrir a caverna. Após muitas buscas, um morador de uma fazenda vizinha que havia auxiliado Lund em suas escavações paleontológicas, consegue encontrá-la. O presidente da

provincia determinou que a entrada fosse desobstruída e que fosse instalado um portão de ferro para a proteção da cavidade.

Existem relatos históricos sobre a exploração turística da Lapa Nova de Maquiné desde o ano de 1908, utilizando-se iluminação à vela. Em 1967 foi criada a infraestrutura turística que incluía escadas e alterações no piso da caverna para facilitar o acesso dos turistas. Além disso, tornou-se a primeira caverna brasileira iluminada artificialmente. A partir de então, numerosos eventos provavelmente geraram impactos sobre o sistema biológico da cavidade. Os espeleotemas eram lavados com certa periodicidade para a remoção do limo que crescia devido à luz dos holofotes e até mesmo veneno foi colocado no interior da caverna na década de 90 para evitar a proliferação de pulgas (Ferreira 2004).

Atualmente, a Lapa Nova de Maquiné encontra-se dentro dos limites do Monumento Natural Estadual Peter Lund. Esta Unidade de Conservação foi criada em 2005 pelo decreto 44.120, com o objetivo de proteger e conservar o sítio histórico-científico constituído pela Gruta do Maquiné, e pela flora e fauna de seu entorno.

### **3.1 Coleta de invertebrados e caracterização dos recursos orgânicos e dos impactos**

O inventário da fauna da cavidade, bem como sua caracterização trófica e quanto a alterações e impactos, foi realizada nos dias 17 e 18 de Maio de 2010.

A coleta de invertebrados foi feita através de captura manual com o auxílio de pinças e pincéis em quaisquer biótopos potenciais no interior da caverna. Foram coletados somente alguns exemplares de cada espécie identificada em campo, sendo que os demais indivíduos observados foram a

apenas contabilizados. Esta prática evita reduções populacionais drásticas das espécies que compõem a comunidade de invertebrados da caverna amostrada.

A distribuição de cada um dos espécimes coletados foi registrada em um mapa da caverna segundo metodologia proposta de Ferreira (2004). Cada espécie foi representada por um número colocado, no mapa, no local correspondente à captura ou à observação do indivíduo correspondente.

Todos os organismos foram identificados até o nível taxonômico possível e separados em morfoespécies. Foram atribuídas morfoespécies distintas entre organismos imaturos e adultos devido à inviabilidade, em muitos casos, de fazer uma associação correta entre as formas imaturas e adultas. Embora tal método possa incorrer em erros taxonômicos, ele pode ser válido do ponto de vista ecológico uma vez que os habitats ocupados, bem como as interações realizadas por organismos imaturos são, muitas vezes, distintos daqueles observados em organismos adultos.

A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada através da identificação, nos espécimes, de características morfológicas denominadas troglomorfismos. Tais características, como redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares, alongamento de apêndices, dentre outras, são utilizadas frequentemente para a maioria dos grupos, uma vez que resultam de processos evolutivos ocorrentes após o isolamento de populações em cavernas. As características a serem utilizadas para estes diagnósticos, no entanto, diferem no caso de organismos pertencentes à taxa distintos. Certos grupos, por exemplo, possuem espécies sempre despigmentadas e anoftálmicas, mesmo no ambiente epígeo (e.g. Palpigradi). Nestes casos, os troglomorfismos são mais específicos (alongamento dos flagelômeros, aumento no número de órgãos frontais e laterais, dentre outros). Todos os organismos coletados foram fixados em álcool 70% e encontram-se

depositados na Coleção de Invertebrados Subterrâneos do Laboratório de Ecologia Subterrânea do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras.

Os recursos alimentares visíveis na cavidade foram caracterizados, bem como suas vias de acesso. Todo tipo de recurso orgânico encontrado teve sua posição plotada no croqui da cavidade. Além disso, foram caracterizadas todas as alterações encontradas na cavidade decorrentes do uso antrópico.

A partir de todos os dados obtidos, foram elaborados mapas com a distribuição de distribuição dos invertebrados, das espécies troglomórficas, de espécies que trazem riscos aos visitantes e dos recursos alimentares presentes na caverna. Tais mapas foram utilizados como base para a elaboração das ações do plano de manejo.

### **3.2 Sistematização de dados pré-existent**

Ferreira (2004) já havia realizado quatro amostragens de invertebrados na Gruta de Maquiné entre os anos de 1999 e 2001, utilizando a mesma metodologia descrita acima. Além disso, este autor obteve dados topoclimáticos neste mesmo período, que puderam ser utilizados no presente estudo. As morfoespécies coletadas por Ferreira (2004) encontram-se depositadas na Coleção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras (ISLA - UFLA) e foram comparadas com as coletadas no presente estudo, gerando uma lista única de espécies. Dessa forma, foi possível obter dados de variações sazonais da fauna de invertebrados da Gruta de Maquiné provenientes de cinco amostragens. Além disso, a proposta de manejo elaborada por este autor pôde ser utilizada para comparação, contribuindo para o enriquecimento dos resultados e discussão do presente estudo.

### 3.3 Análise dos dados

As análises de riqueza, diversidade (índice de Shannon-Wiener), similaridade e equitabilidade foram feitas no software PAST (Hammer *et al.* 2003).

O teste não paramétrico de Kruskal–Walis foi utilizado para avaliar se existe diferença entre os valores de riqueza média nos períodos de seca e de chuva (Zar 1984).

A  $\beta$ -diversidade (ou *turnover*) foi calculada através do índice de Harrison (1992), modificado de Whittaker (1960), para determinar a substituição de espécies.  $\beta_{\text{Harrison}} = \{[(S/\alpha) - 1]/(N - 1)\} \times 100$ ; onde S = riqueza total,  $\alpha$  = riqueza média e N = número de amostras. O valor resultante vai de 0 (nenhuma substituição) a 100 (cada amostra tem um conjunto único de espécies, havendo uma substituição total) (Koleff *et al.* 2003).

## 4 RESULTADOS

Foram apresentados dados pretéritos sobre a situação trófica e topoclimática (temperatura e umidade) e sobre a fauna da Gruta de Maquiné, referentes aos estudos de Ferreira (2004), bem como os resultados atuais, provenientes das amostragens realizadas nos dias dezessete e dezoito de maio de 2010.

### 4.1 Situação ecológica pretérita da cavidade

Durante as amostragens realizadas por Ferreira (2004), os recursos tróficos da cavidade foram apenas qualificados. De modo geral, as vias convencionais de

importação de recursos para a caverna mostravam-se ausentes. A água de percolação era pouco abundante, sendo provavelmente inexpressiva a quantidade de material orgânico dissolvido aportado ao sistema por esta via. O guano, que seria um recurso de alta importância no sistema, apresentava-se praticamente ausente: uma tela instalada nas proximidades da entrada da caverna impedia o acesso de morcegos ao seu interior.

Os recursos consistiam, desta forma, de materiais orgânicos deixados durante a instalação da infra-estrutura turística (e.g. madeira) e também de restos orgânicos deixados pelos turistas durante as visitas à caverna (restos de balas, palitos de fósforos etc.). Dessa forma, a fauna da cavidade distribuía-se preferencialmente pelas partes turísticas da cavidade (onde o recurso orgânico mostrava-se presente), sendo as zonas interditas à visitação muito pouco povoadas.

A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas ao longo do conduto da caverna. Estes parâmetros foram monitorados trimestralmente durante oito visitas realizadas à caverna com o auxílio de um termo-higrômetro. Os dados de temperatura e umidade são mostrados na figura 1.

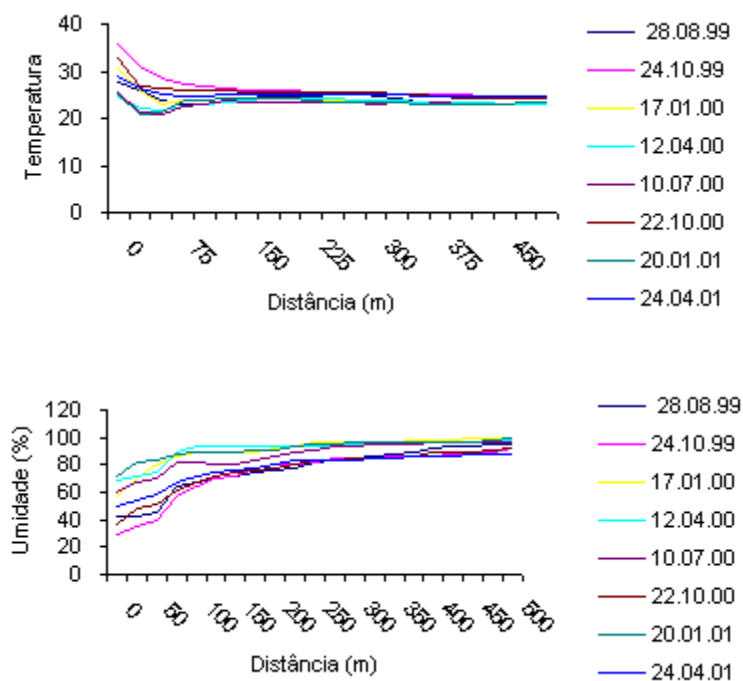


Figura 1 Temperatura e umidade do ar ao longo da gruta de Maquiné. Os números representados ao lado direito dos gráficos referem-se às datas nas quais estes parâmetros foram medidos.

Fonte: Ferreira (2004)

Foi observado na Lapa Nova de Maquiné, em quatro inventários biológicos realizados entre os anos de 1999 e 2001 (Ferreira, 2004), um total de 177 morfoespécies distribuídas em pelo menos 55 famílias das ordens Acari, Araneae (Araneidae, Ctenidae, Heteropodidae, Pholcidae, Salticidae, Scytodidae, Sicariidae, Theridiidae, Thomisidae, Uloboridae), Opiliones (Escadabiidae), Palpigradi (Eukoeneniidae), Pseudoscorpiones (Chernetidae, Chtoniidae), Polyxenida (Hypogexenidae?), Isopoda (Plathyarthyidae), Archaeognatha (Machiliidae), Collembola (Dicyrtomyiidae, Arrhopalitidae), Caelifera



(Acrididae), Coleoptera (Curculionidae, Cucujidae, Scarabaeidae, Tenebrionidae), Dictyoptera, Diptera (Calliphoridae, Cecydomyiidae, Culicidae, Dolichopodidae, Drosophilidae, Empididae, Faniidae, Lauxaniidae, Milichiidae, Muscidae, Phoridae, Psychodidae, Sciaridae, Syrphidae), Ensifera (Phalangopsidae), Heteroptera (Ligaeidae, Reduviidae, Tingidae), Hymenoptera (Apidae, Formicidae, Sphecidae), Lepidoptera (Arctiidae, Hesperidae, Noctuidae, Tineidae), Neuroptera (Myrmeleontidae, Mantispidae), Psocoptera (Pseudocaecilidae, Psyllipsocidae) e Zygentoma (Lepismatidae).

O número elevado de morfoespécies encontrado durante estes quatro episódios de coleta deve-se, entretanto, à grande contribuição das espécies componentes da comunidade para-epígea nesta caverna. Desta forma, as espécies encontradas nas zonas efetivamente afóticas da cavidade restringiam-se a 50 ou 60 espécies. Na primeira amostragem (28.08.1999), foram observadas 58 espécies. Na segunda amostragem (17.01.2000), foram observadas 85 espécies. Na terceira amostragem (12.07.2000), foram observadas 53 espécies. Finalmente, na quarta amostragem (20.01.2001), foram observadas 78 espécies.

A distribuição de muitas das populações mostrou-se bastante variável durante o período amostral. Além da distribuição específica de cada população no interior da caverna, a abundância de muitas populações também se alterou dos períodos secos para os chuvosos. Como mencionado anteriormente, boa parte das espécies encontradas é para-epígea, tendo suas distribuições restritas às proximidades da entrada da caverna (devido ao sombreamento e umidade).

Os organismos troglomórficos encontrados nos inventários pretéritos consistiram de seis espécies: *Spaeleoptes spaeleus* (Opilionida: Escadabiidae), *Eukoenia maquinensis* (Palpigradi: Eukoeniidae), *Trichorhina* sp. (Isopoda: Platyarthridae – com olhos reduzidos, troglomórfica?), *Arrhopalites* sp. (Collembola: Arrhopalitidae) e duas espécies não identificadas,

uma traça (*Zygentoma*) e uma minúscula centopéia (Polixenida: Hypogexenidae?). O opilião (*Spaeleoleptes spaeleus*) e a traça foram encontrados uma única vez (um indivíduo de cada) o que demonstrava sua raridade. Ambos foram encontrados em zonas de interdição (proibidas aos turistas), nos abatimentos ao final do último salão da cavidade. Os demais organismos foram encontrados em pequena abundância, mas durante quase todo o período amostral. Todas as demais espécies troglomórficas distribuíaam pelas zonas de trânsito de turistas.

Além das espécies citadas, foi descrita uma espécie de aranha troglóbia (pertencente à família Prodidomidae) em Maquiné, denominada *Lygromma ybyguara* Brescovit & Rheims 2004. Tal espécie foi descrita com base em um único espécime coletado na caverna. Em 2003, foi encontrada uma carcaça de um besouro troglóbio pertencente ao gênero *Coarazuphium* (Coleoptera: Carabidae: Zuphini). Tal espécie, certamente nova para a ciência, nunca foi encontrada viva na caverna, o que infelizmente impossibilita sua descrição formal.

Considerando todas estas ocorrências, esta caverna possuía registros de oito espécies troglomórficas, número bastante expressivo considerando-se uma caverna de suas dimensões.

#### **4.2 Situação ecológica atual**

Os recursos tróficos da cavidade foram novamente apenas qualificados. Diferentemente do que ocorria há dez anos, algumas vias convencionais de importação de recursos para a caverna retornaram ao sistema. A água de percolação ainda é pouco abundante, sendo provavelmente inexpressiva a

quantidade de material orgânico dissolvido aportado ao sistema por esta via. No entanto, o guano, que compreende um recurso de alta importância no sistema, voltou a ser depositado no interior da caverna, em alguns pontos. A tela que anteriormente existia no portão de entrada da caverna foi removida, possibilitando o acesso de morcegos. Desta forma, podem ser observados, em alguns pontos da caverna, pequenos depósitos, que já compreendem importantes e atrativos recursos para muitos invertebrados detritívoros. Ressalta-se, entretanto, que a quantidade de guano depositada é ainda pequena em decorrência da situação de luminosidade e contínua visitação da caverna. Estas condições podem inibir a presença de grandes colônias de morcegos. Com a mudança do sistema de iluminação da caverna, mais morcegos podem eventualmente se estabelecer na caverna, aumentando a quantidade de guano aportado ao sistema. Desta forma, é fundamental o monitoramento da fauna da caverna após a substituição da iluminação, para que estas eventuais mudanças possam ser percebidas.

Embora o guano agora se mostre presente no sistema, a maior parte do alimento disponível para a fauna continua compreendendo materiais orgânicos deixados durante a instalação da infraestrutura turística (e.g. madeira) e também de restos orgânicos deixados pelos turistas durante as visitas à caverna (restos de balas, palitos de fósforos, etc.). Sendo assim, a fauna da cavidade ainda distribui-se preferencialmente pelas partes turísticas da cavidade, sendo as zonas interditas à visitação relativamente pouco povoadas, embora bem mais povoadas que há dez anos, devido à presença do guano (figuras 2 e 3).

Outro aspecto que merece destaque consiste na enorme quantidade de fungos crescendo sobre os fios instalados para a nova iluminação da caverna (figura 3). Associados a estes fungos (ainda não identificados) foi observada uma enorme quantidade de invertebrados, especialmente colêmbolos e

psocópteros que aparentemente estão se alimentando deste substrato orgânico. As grandes populações observadas destes grupos podem eventualmente decorrer deste crescimento fúngico acelerado e exagerado. Nos inventários pretéritos, não foram observadas populações tão grandes de invertebrados. Desta forma, é preocupante a possibilidade destes fungos estarem contribuindo para a explosão de populações de algumas espécies detritívoras ou fungívoras, o que pode levar a um desequilíbrio futuro da comunidade, quando da redução destas fontes orgânicas.

Além destas fontes de recursos, foram observadas fezes de anfíbios em alguns pontos da cavidade (nas proximidades da entrada), bem como locais de crescimento de musgos e algas, como nas regiões próximas a holofotes. Tais recursos, de origem primária, apresentavam-se, no entanto, bem mais escassos quando comparamos o presente inventário com aquele realizado há dez anos. Aparentemente, a redução considerável da iluminação incandescente levou a uma depleção de recursos tróficos de origem fotossintetizante na caverna. Muitos dos holofotes que há dez anos permaneciam ligados estavam inativos. Todas as algas e musgos nestes locais haviam desaparecido.

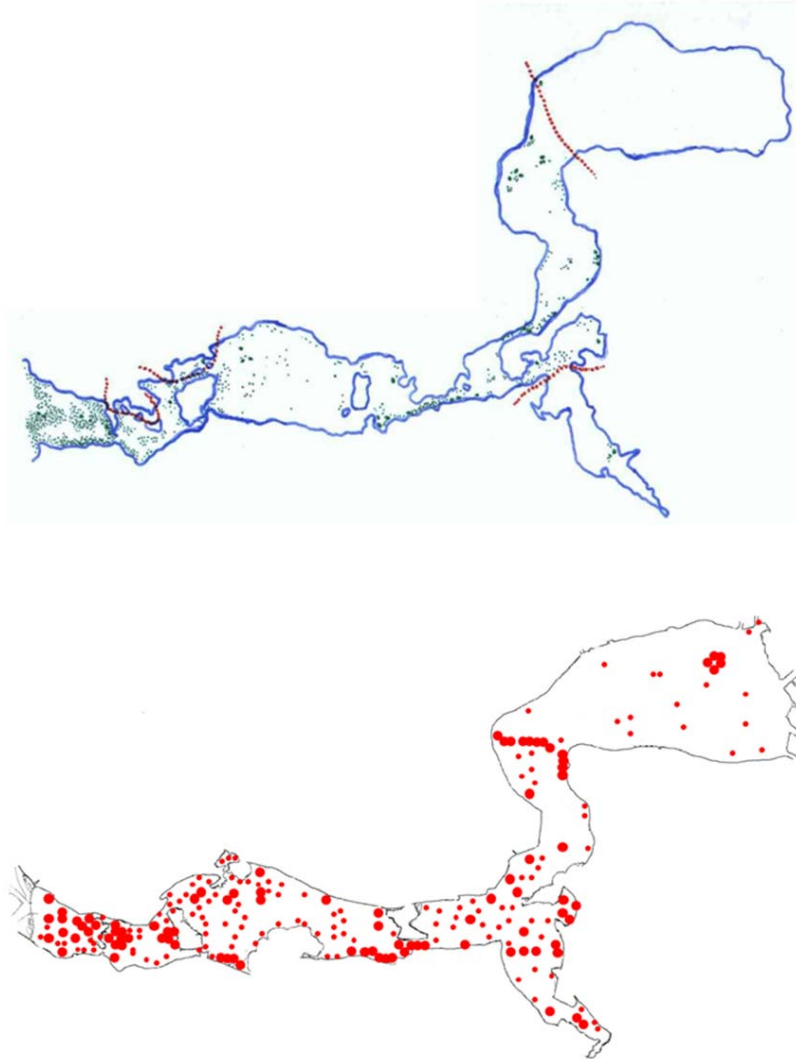


Figura 2 Distribuição da fauna no interior da Lapa Nova de Maquiné. O mapa em azul representa a distribuição da fauna em um inventário realizado em Janeiro de 2000, retirado de Ferreira (2004). Os pontos representam os exemplares observados na caverna e o tracejado em vermelho delimita a área de visitação. O segundo mapa representa o atual inventário. Os pontos vermelhos representam os exemplares observados; quanto maior o ponto, maior o adensamento de indivíduos.

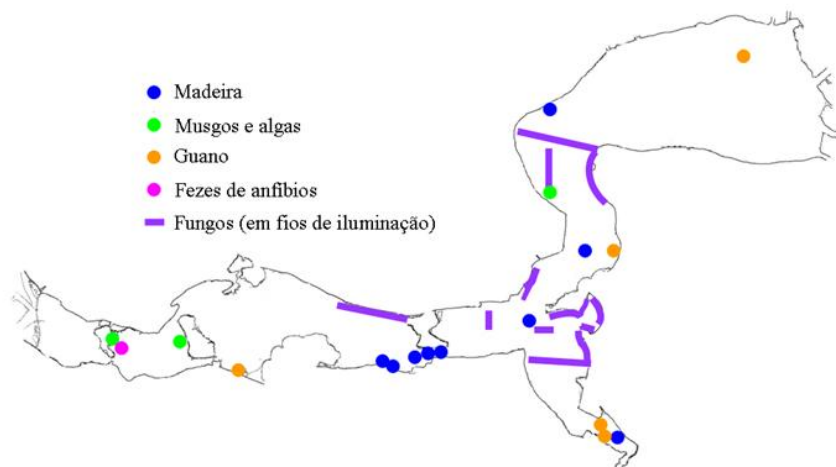


Figura 3 Mapa de distribuição dos recursos tróficos na Lapa Nova de Maquiné

Foi observado na Lapa Nova de Maquiné, no inventário biológico realizado nos dias 17 e 18 de Maio de 2010, um total de 70 morfoespécies distribuídas em pelo menos 55 famílias das ordens Acari (Laelapidae, Macronissidae, Rhagidiidae, Oribatida, Mesostigmata, Astigmata), Araneae (Ctenidae, Oonopidae, Pholcidae, Salticidae, Sicariidae, Theridiidae, Uloboridae), Diplopoda (Oniscodesmidae, Pyrgodesmidae), Pauropoda, Ostracoda, Opiliones (Escadabiidae), Palpigradi (Eukoenediidae), Pseudoscorpiones (Chernetidae, Chtoniidae), Polyxenida (Hypogexenidae), Isopoda (Plathyarthrydae), Collembola (Cyphoderidae, Sminthuridae), Coleoptera (Carabidae, Staphylinidae), Diptera (Agromyzidae, Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Drosophilidae, Psychodidae, Sciaridae), Ensifera (Phalangopsidae), Heteroptera (Pyrrhocoridae, Reduviidae), Homoptera (Cicadellidae), Hymenoptera (Formicidae, Sphecidae), Lepidoptera (Noctuidae, Tineidae), Psocoptera (Lachesilidae, Lepidopsocidae, Psyllipsocidae, Liposcelididae, Ptiloneuridae) e Pulmonata.

Do total de espécies encontrado, 23 delas foram observadas somente na zona de entrada da caverna (antes do portão), o que corresponde a 32,8% do total de espécies observado na caverna. Destas, quatorze espécies foram representadas por apenas um indivíduo, podendo eventualmente compreender espécies ditas acidentais ou estritamente para-epígeas. A riqueza na porção interior da cavidade correspondeu a 57 espécies, número dentro do intervalo considerado por Ferreira (2004) como o correspondente à riqueza hipógea da cavidade.

Outro fato que merece menção compreende a redução na contribuição relativa das espécies para-epígeas para a fauna total da cavidade. Considerando-se os quatro episódios anteriores de coleta, aproximadamente 117 espécies foram coletadas na zona de entrada, o que corresponde a cerca de 66% do total de espécies coletado durante os anos de 1999 e 2001. Neste trabalho, apenas 32,8% foram encontradas apenas na zona de entrada. Tal fato pode indicar que a retirada da bilheteria da entrada da caverna pode estar contribuindo para um eventual retorno à condição mais original desta entrada. A permanência de muitos turistas (e provável aporte de alimento) poderia estar atraindo muitas espécies que não seriam normalmente encontradas na entrada. Desta forma, com uma menor permanência dos turistas nesta área, a comunidade para-epígea já mostra sinais claros de alteração.

A distribuição das populações das diferentes espécies foi bastante variável. No entanto, considerando-se a abundância total de todas as espécies encontradas, percebe-se claramente uma associação preferencial da fauna pelas áreas onde o recurso orgânico apresenta-se mais disponível (o que inclui a zona de entrada da caverna) (figura 2).

Os organismos troglomórficos encontrados consistiram de dez espécies: *Spaeleoleptes spaeleus* (Opilionida: Escadabiidae), *Eukoenenia maquinensis*

(Palpigradi: Eukoeniidae), *Trichorhina* sp. (Isopoda: Platyarthridae – com olhos reduzidos, troglomórfica?), Hypogexenidae sp1 (Polyxenida), Cyphoderidae sp1 (Collembola), Trechinae sp1 (Coleoptera: Carabidae), Pyrgodesmidae sp1 (Diplopoda: Polydesmida), Oniscodesmidae sp1 (Diplopoda: Polydesmida), Chthoniidae sp1 (Pseudoscorpiones) e Pauropoda sp1 (figura 4).

A espécie de traça (*Zygentoma*) e o colêmbolo *Arrhopalites* sp., evidenciadas nos levantamentos anteriores, não foram encontrados neste trabalho. A aranha *Lygromma ybyguara* e o carabídeo *Coarazuphium* também não foram evidenciados. Todas estas espécies citadas acima certamente apresentam baixíssimas densidades, sendo infreqüentes nos macroespaços subterrâneos.

O colêmbolo da família Cyphoderidae havia sido registrado, mas não tinha sido considerado troglomórfico. Finalmente, cinco novas espécies troglomórficas foram encontradas, o que revela o enorme potencial desta caverna para abranger espécies ainda não amostradas.

Considerando-se todos os registros de espécies troglomórficas na cavidade, (incluindo dados de levantamentos anteriores e da literatura, esta caverna possui quatorze espécies troglomórficas).

O opilião *Spaeleoleptes spaeleus* havia sido registrado uma única vez nos levantamentos realizados entre 1999 e 2001. No entanto, nesta coleta, 8 indivíduos foram observados. O palpígrado *Eukoenia maquinensis* também se mostrava infreqüente, tendo sido observados somente 3 indivíduos durante os anos de 1999 e 2001. Neste trabalho, 6 indivíduos foram avistados na caverna. Estes dados revelam uma eventual “melhoria” nas condições prevalentes na caverna, nos últimos anos. Tal melhoria pode decorrer da redução da iluminação associada ao repovoamento da caverna por morcegos, que passaram a



novamente produzir guano. Algumas espécies troglóbias são mostradas na figura 4.

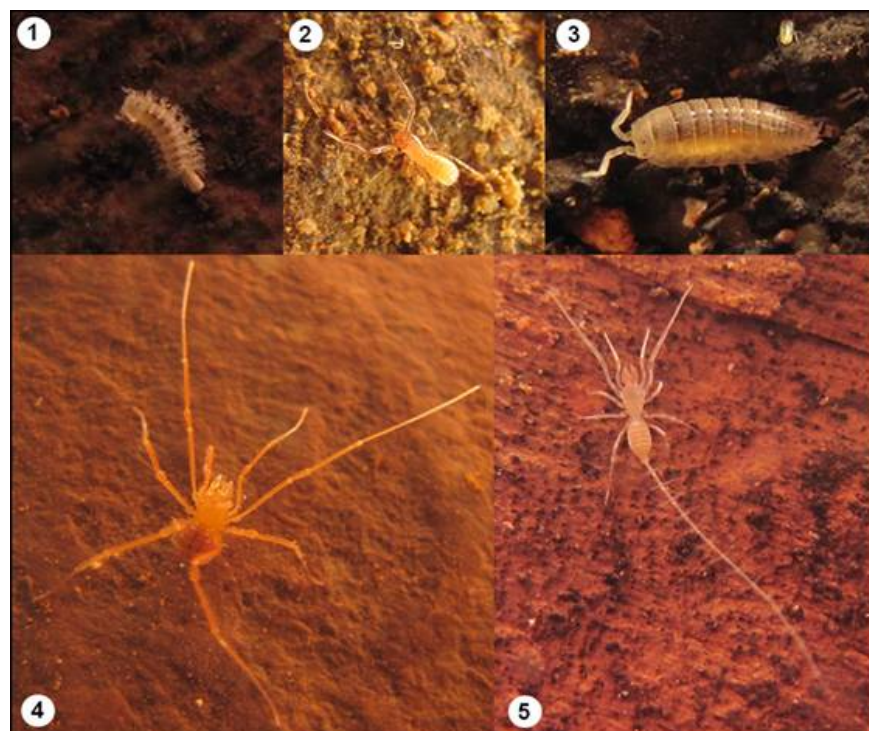


Figura 4 Algumas espécies troglóbias encontradas na Lapa Nova de Maquiné: 1) *Hypogexenidae* sp.; 2) *Chthoniidae* sp.; 3) *Trichorhina* sp.; 4) *Spelaeoleptes spaeleus*; 5) *Eukoenia maquinensis*.

Não houve uma área de distribuição preferencial das espécies troglomórficas na cavidade. A maioria das espécies mostrou-se bem distribuída pela caverna, ocorrendo tanto em áreas visitadas quanto em áreas não freqüentadas por turistas (figura 5). No entanto, excetuando-se o colêmbolo, todas as espécies distribuíram-se a partir do terceiro salão, onde a caverna

tornava-se mais úmida. Além disso, salvo raras exceções, as espécies troglomórficas, quando em áreas de visitação, preferencialmente se localizavam em áreas periféricas aos locais de alto trânsito de turistas, evitando as vias principais de caminhamento.

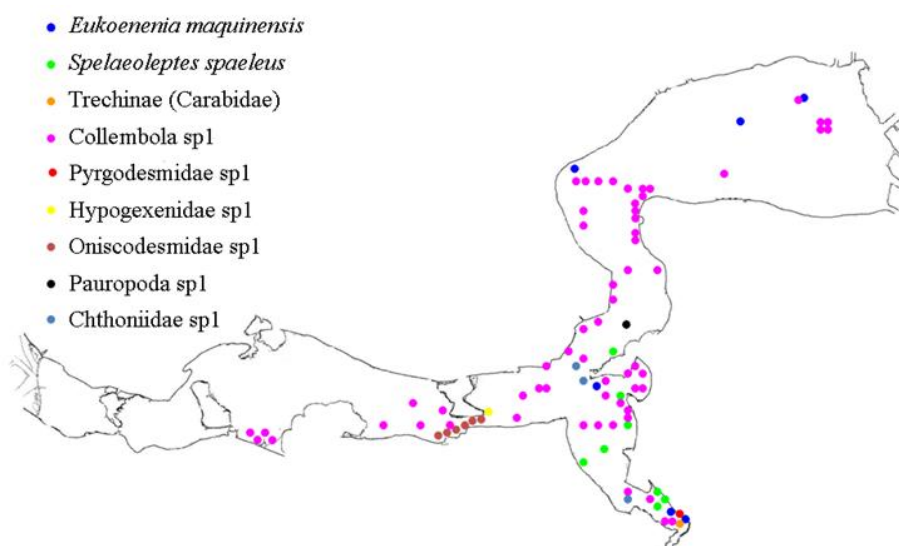


Figura 5 Mapa da Lapa Nova de Maquiné detalhando a distribuição e ocorrência dos organismos provavelmente troglóbios (troglomórficos) encontrados na cavidade.

Um fato que merece menção é a presença de aranhas do gênero *Loxosceles*. Estas aranhas são também conhecidas como aranhas-marrons, estando entre os três gêneros de aranhas de importância médica no Brasil.

Percebe-se claramente que estes organismos não estão distribuídos uniformemente pela cavidade. Estas aranhas foram observadas unicamente na região de entrada da caverna (Figura 6). Tendo em vista a grande quantidade de recursos presentes, existem muitos invertebrados que servem de presas para

estas aranhas, o que determina as altas densidades observadas. Esta área deve ser obviamente evitada por turistas, dados os riscos que esta espécie pode oferecer aos visitantes.

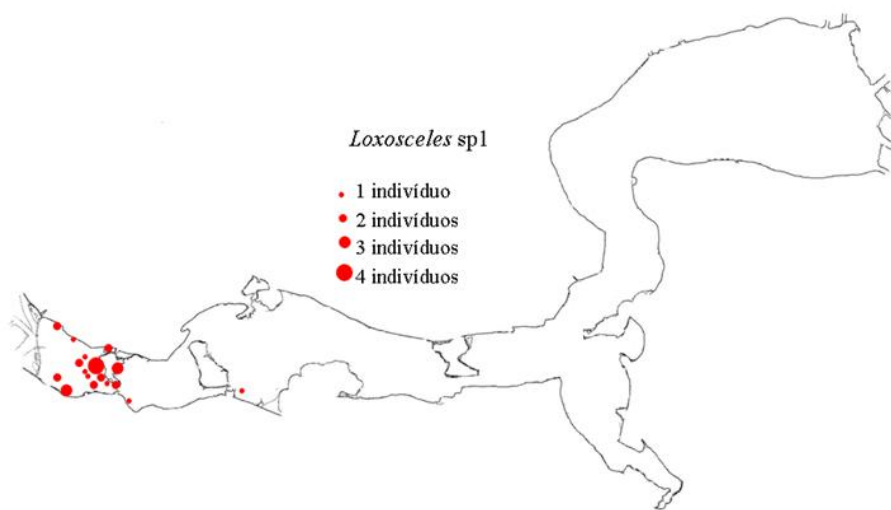


Figura 6 Distribuição das aranhas do gênero *Loxosceles* na Lapa Nova de Maquiné.

#### 4.3 Análise de dados

Considerando-se todos os cinco eventos de amostragem biológica realizados na Lapa Nova de Maquiné, foram coletadas 221 espécies, com uma riqueza média de 68.8 ( $\pm 13.3$ ) espécies por amostragem. O maior valor de diversidade (2,84) foi observado na quarta coleta (20/01/2001). A média dos valores de diversidade encontrados nas cinco amostragens foi 2,25 ( $\pm 0.48$ ). O

valor de  $\beta$ -diversidade encontrado foi de 55,3. Os dados de riqueza, número total de indivíduos, diversidade, dominância e equitabilidade nas cinco amostragens encontram-se disponíveis na tabela 1.

Tabela 1 Valores de riqueza, número total de indivíduos, dominância, diversidade e equitabilidade observados nas cinco amostragens realizadas na Lapa Nova de Maquiné

	28/08/99	17/01/00	12/07/00	20/01/01	17-18/05/10
Riqueza (S)	58	85	53	78	70
Indivíduos	1233	5466	1242	1820	5666
Dominância (D)	0.2855	0.3461	0.1029	0.1096	0.2594
Diversidade (H)	1.939	1.691	2.676	2.838	2.134
Equitabilidade (J)	0.4775	0.3806	0.6741	0.6514	0.5022

Não houve diferença significativa entre a riqueza média de espécies na estação seca e chuvosa na Gruta de Maquiné ( $p = 0.08$ ).

#### 4.4 Impactos ambientais

O histórico de ocupação da cavidade indica a sucessão de eventos certamente impactantes pelos quais a cavidade passou nos últimos 200 anos. A escavação do piso (seja para remoção de salitre ou fósseis) modificou as condições topográficas pristinas alterando diversos microhabitats. A obstrução da entrada da caverna certamente deve ter causado o empobrecimento de recursos na cavidade, uma vez que o fornecimento de um importante recurso veiculado através da caverna (o guano de morcegos) foi interrompido. Finalmente, o estabelecimento do turismo na cavidade vem gerando uma série

de alterações que certamente vêm comprometendo a estrutura geral das comunidades presentes.

Atualmente, inúmeras alterações são perceptíveis ao longo da caverna, desde sua entrada até porções mais interiores (Figura 7).

No interior da caverna, todas as alterações estão ligadas às modificações realizadas no intuito de facilitar o acesso dos turistas. O piso foi alterado em várias porções, definindo um “caminhamento” que, no entanto, não é necessariamente seguido pelos turistas, que acabam tendo amplo acesso a diversas áreas da porção turística da caverna.

Além disso, a situação mais séria consiste nas estruturas ligadas à iluminação elétrica da cavidade. Embora a quase totalidade esteja “imperceptível” aos olhos dos turistas, o quadro é extremamente preocupante. Restos de construções de alvenaria, bem como fios, ferragens e lâmpadas (intactas e quebradas) ocorrem em vários locais da caverna (figura 7 A e B). A grande preocupação refere-se à eventual contaminação de diversos substratos da caverna por metais pesados ou substâncias tóxicas, potencialmente danosas não somente à saúde humana como também à fauna residente.



Figura 7 Impactos e alterações observados na Lapa Nova de Maquiné: A) construções de alvenaria, holofotes desativados e lâmpadas inteiras e quebradas sobre um espeleotema; B) Fios espalhados de forma difusa por entre espeleotemas; C) Alterações no piso da entrada da averna; D) Construções, loja e depósitos de materiais no salão de entrada da caverna.

Na região de entrada, o piso foi modificado, bem como estruturas de alvenaria foram instaladas (figura 7 C e D). Tais modificações certamente alteraram a condição prístina da entrada, impondo alterações nos micro-habitats que certamente diferiam dos atualmente observados. Na figura 8 A pode-se observar uma porção do salão de entrada da Lapa Nova de Maquiné antes da instalação da estrutura turística. Na figura 8 B, pode-se observar uma foto tirada em janeiro de 2010 (Alt 2010) mostrando a mesma porção do salão. Pode-se perceber que ocorreu uma regularização do sedimento e a retirada de blocos que se encontravam na entrada.

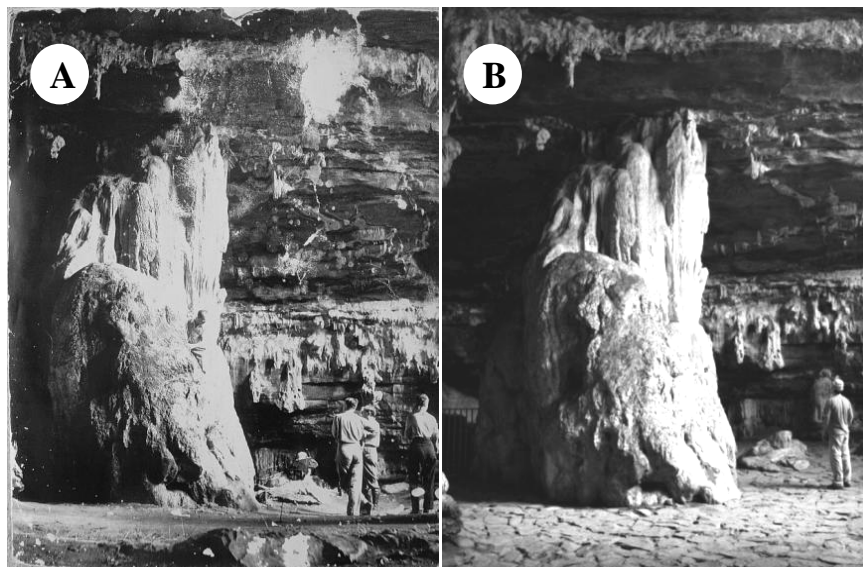


Figura 8 Modificações no salão de entrada na Lapa Nova de Maquiné: A) vista do salão de entrada antes da instalação da estrutura turística; B) vista da mesma porção do salão de entrada em janeiro de 2010.

Fonte: Alt (2010)

#### 4.5 Proposição de Manejo para a cavidade

O manejo bioespeleológico proposto inicialmente por Ferreira (2004) para a Lapa Nova de Maquiné centrava-se em dois componentes básicos de seu ecossistema: as espécies troglomórficas e as comunidades para-epígeas. O manejo das comunidades para-epígeas deveria ser realizado apenas através da (re) caracterização da zona de entrada da cavidade. Desta forma, quaisquer elementos introduzidos artificialmente deveriam ser removidos no intuito de tornar a zona de entrada habitável por todas as espécies epígeas que quisessem instalar-se naquele abrigo. Tal medida teria de caráter emergencial.

O manejo das populações troglomórficas seria, segundo a proposta inicial, mais complicado e delicado. A proposta a seguir seria uma tentativa cujos resultados dependeriam de um acompanhamento rigoroso das populações.

O manejo destas espécies troglomórficas consistiria, de forma simplificada, na realocação de suas populações nas zonas de interdição da cavidade, possibilitando que elas se estabeleçam em locais inacessíveis aos turistas. Tal realocação não seria realizada por meio de intervenção direta, isto é, captura e liberação de indivíduos, mas por meio da criação de “corredores de migração” no interior da cavidade.

Das seis espécies troglomórficas inicialmente identificadas na caverna (entre 1999 e 2001), duas pareciam ter suas distribuições já restritas à zonas de interdição da caverna. Por isso, o manejo deveria ser concentrado nas demais espécies que ocorriam na zona de visitação turística.

O primeiro passo consistiria na colocação de “litter-bags” (pequenos sacos de tela com material orgânico em seu interior) em locais visitados e nas zonas de interdição da cavidade. Tais litter-bags indicariam a taxa de decomposição da matéria orgânica por meio do peso perdido do material contido em seu interior. Tal informação seria fundamental para se estabelecer a segunda fase do manejo. No interior destes litter-bags seriam colocados fragmentos de troncos, folhas e carne (cada categoria em sacos individualizados, para a detecção das taxas de decomposição individuais). Tal atividade seria desenvolvida nos três primeiros meses a partir do início do manejo.

A segunda fase consistiria na colocação de montículos de material orgânico nos flancos das galerias turísticas. A quantidade de material colocado dependeria das taxas de decomposição que foram determinadas nos três primeiros meses. A colocação do material orgânico, que seria o atrativo alimentar para as populações troglomórficas (e demais) se daria a partir dos



locais onde tais populações ocorrem na caverna. Tais montículos seriam colocados em intervalos constantes de dez metros, até as zonas de interdição. O material orgânico seria colocado em pequena quantidade no início do “corredor” sendo cada montículo um pouco maior que o anterior. Desta forma, os montículos iniciais atrairiam primeiramente os invertebrados detritívoros, mas, por possuírem menor quantidade de matéria orgânica, se decomporiam mais rapidamente que os subseqüentes. Sendo assim, cada montículo teria um tempo de duração variável, sendo os “iniciais” mais efêmeros que os alocados ao final de cada “corredor”, isto é, próximos ou já no interior das zonas de interdição.

O intuito deste método é o de que as populações se desloquem ativamente pelas laterais da caverna, até alcançarem as zonas de interdição. Os flancos das galerias foram escolhidos para minimizar o pisoteamento dos turistas sobre os organismos e para que os montículos fiquem menos visíveis, evitando eventuais contatos e destruição do corredor de migração.

Depois de instalados nas zonas de interdição, as populações deveriam ser constantemente monitoradas, sendo o recurso orgânico continuamente adicionado a estes locais, para evitar o retorno das populações para as galerias de visitação.

Naquele momento, considerou-se que quaisquer recursos trazidos por outras fontes (turistas, morcegos etc.) poderiam comprometer o funcionamento do plano. Desta forma, seria necessária a manutenção do portão e a tela para impedir a entrada de morcegos na caverna, pelo menos na fase de implantação do plano. Deveria também ser proibida imediatamente a entrada de turistas portando quaisquer tipos de alimento durante a visita à caverna. A figura 9 ilustra como seriam os sentidos de migração das diferentes espécies troglóbias evidenciadas naquele estudo.

Uma característica importante desta proposta de manejo é que, embora a ação sugerida de tenha sido baseada na distribuição de espécies troglomórficas, os “corredores de migração” criados pela adição de matéria orgânica provavelmente também serão utilizados de forma direta pelas demais espécies, funcionando como uma forma de atração de toda a comunidade de invertebrados para as áreas não turísticas.

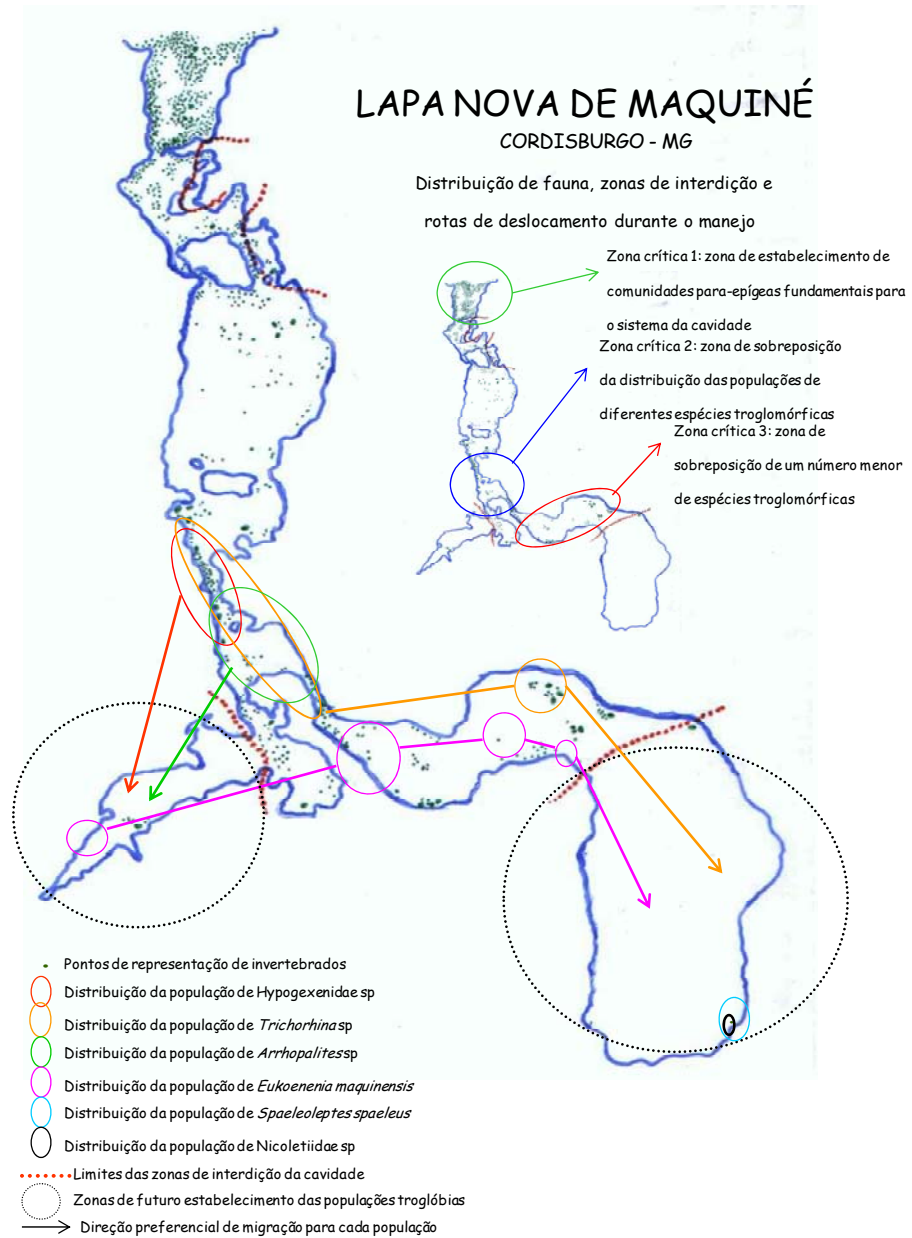


Figura 9 Sentido de migração das espécies troglomórficas presentes na Lapa Nova de Maquiné  
 Fonte: Ferreira (2004)

As recomendações atuais de manejo para a Lapa Nova de Maquiné não fogem muito à ideia inicial proposta por Ferreira (2004). Mesmo com a determinação de rotas definidas de caminhamento na cavidade, muitas espécies ainda estão expostas ao risco de serem pisoteadas. Desta forma, mantêm-se aqui a ideia de se atrair organismos para áreas interditadas à visitação turística, de forma a minimizar os eventuais riscos causados pelos turistas sobre a fauna.

Embora a ideia de Ferreira (2004) nunca tenha sido intencionalmente implantada, a instalação de fios e o respectivo crescimento de fungos acabou por proporcionar fontes de atração e também verdadeiros “corredores de migração” de fauna. Desta forma, a grande quantidade de organismos associados a estes fios demonstra quão atrativos os mesmos se tornaram. No entanto, tais recursos são efêmeros, e, quando de sua exaustão, os organismos retornarão a outros pontos de oferta de recurso na cavidade. Sendo assim, é emergencial a ação, de forma a aproveitar a situação acidentalmente gerada pela instalação da nova iluminação.

A proposta atual consiste basicamente na colocação de fontes de recursos orgânicos (como materiais vegetais e animais) nas áreas interditadas. Tais recursos deverão ser alocados nas proximidades destes fios e em diferentes pontos ao longo destas zonas, de forma a proporcionar a migração ativa da fauna para estas regiões (figura 10). Obviamente não é esperado que toda a comunidade se desloque para áreas interditadas. O que se espera, com esta ação, é somente ampliar a área de distribuição das diferentes populações, assegurando assim, que pelo menos parte dos organismos esteja vivendo em áreas de baixo risco.

Sugere-se que os materiais a serem colocados sejam provenientes de fontes autóctones disponíveis no entorno (como folhas ou galhos de espécies tipicamente encontradas nos arredores da caverna). No caso dos restos vegetais,

um botânico deverá ser consultado para se evitar introduzir na cavidade, algum material vegetal com muitos compostos secundários ou mesmo com compostos tóxicos. No caso de restos animais (cadáveres) sugere-se a incorporação de carcaças esterilizadas de camundongos.

É importante ressaltar que tais materiais deverão ser incorporados no momento inicial da ação de manejo e também de forma periódica, no intuito de se manter a fauna distribuída pelas zonas interdidas da caverna. Como o aporte de recursos para o sistema é pequeno, apenas uma pequena quantidade de material orgânico deverá ser incorporada. Além disso, a manutenção destes recursos orgânicos deverá ser feita de forma bastante esporádica.

No intuito de se determinar a quantidade de material a ser inicialmente incorporado, bem como a periodicidade de incorporação de mais recursos orgânicos, sugere-se a execução de um experimento de decomposição, por meio da introdução de litter-bags (conforme sugerido por Ferreira, 2004). Este experimento pode ser executado em um curto intervalo de tempo (cerca de 3 meses), para que se tenha ideia da velocidade de decomposição de diferentes materiais na caverna.

Um fato que merece atenção consiste na veiculação natural de recursos à caverna. Com a remoção da tela do portão de entrada, os morcegos voltaram a colonizar a caverna, produzindo depósitos de guano em diferentes locais. Caso algumas colônias de morcegos venham a se estabelecer em áreas interdidas e passem a produzir um considerável volume de guano, sugere-se a interrupção do fornecimento artificial de recursos orgânicos.

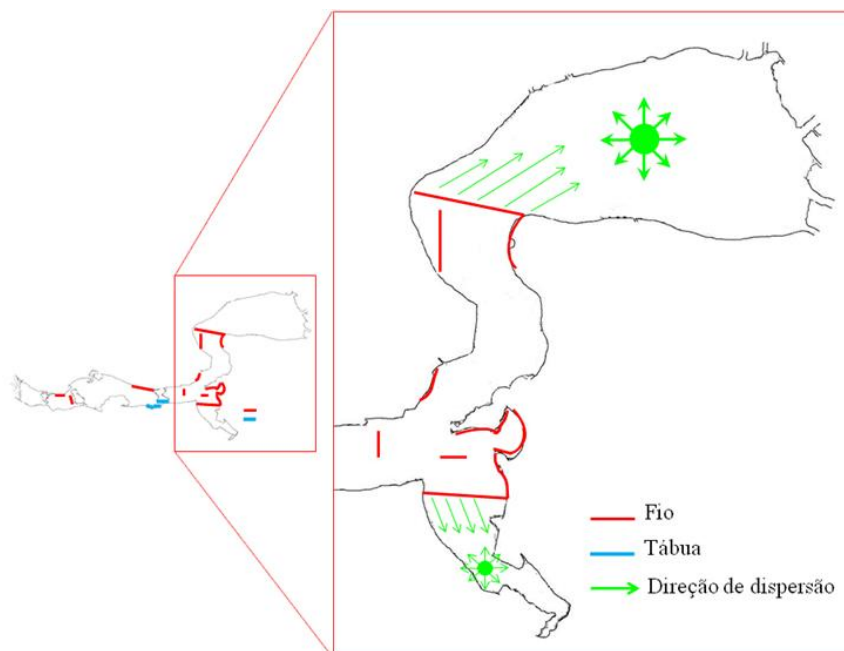


Figura 10 Sentidos de migração das espécies troglomórficas presentes na Lapa Nova de Maquiné, a partir das áreas de fiação com fungos.

Tendo em vista a necessidade de contínua incorporação de recursos alimentares nas áreas interditadas da caverna, bem como a necessidade de acompanhamento da comunidade após a instalação da nova iluminação, é essencial a execução de um monitoramento da fauna da Lapa Nova de Maquiné.

O intervalo entre cada amostragem deve ser suficiente para dar uma boa visão da dinâmica da comunidade, sem, no entanto, impactar demasiadamente a fauna. Inventários mensais certamente produziram um banco de dados extremamente interessante. No entanto, tendo em vista o tamanho da caverna, associado ao contínuo impacto aos quais as comunidades de invertebrados estão submetidas (em decorrência do turismo), sugere-se que o monitoramento seja executado trimestralmente.

O monitoramento deverá ser iniciado após a implantação do manejo ou após a instalação (funcionamento) do novo sistema de iluminação. Como os intervalos entre coletas serão amplos (três meses) o monitoramento deverá ser executado durante três anos, no intuito de se verificar como as diferentes populações de invertebrados irão responder ao novo sistema de iluminação bem como à incorporação de recursos alimentares nas zonas interdidas da caverna.

O monitoramento deve seguir a mesma metodologia utilizada neste estudo (proposta por Ferreira, 2004), para que seja possível avaliar se as populações de diferentes espécies estão modificando suas distribuições em resposta às alterações fóticas e tróficas que a caverna irá sofrer. Além da amostragem da fauna, dados de temperatura e umidade ao longo da caverna deverão ser obtidos durante o trabalho.

## **5 DISCUSSÃO**

Antes da abertura de uma caverna à visitação turística, alguns de seus parâmetros naturais físicos (temperatura do ar, umidade relativa, CO<sub>2</sub> atmosférico, fluxo e qualidade de água) e biológicos (riqueza, composição de espécies, distribuição das populações, dentre outros) deveriam, idealmente, ser avaliados. Dessa forma, a variação natural destes parâmetros seria determinada ao longo do ano e possíveis alterações decorrentes do turismo poderiam ser identificadas posteriormente (Callaforra *et al.* 2003; Ford & Williams 2007). No entanto, esta não é a realidade da maioria das cavernas turísticas no Brasil, principalmente da Lapa Nova de Maquiné, que corresponde à caverna com utilização turística mais antiga do país. Dessa forma, é virtualmente impossível avaliar o quanto os parâmetros biológicos desta cavidade foram alterados pelos

impactos gerados pelo uso antrópico histórico e atual da cavidade. Mesmo nos detalhados relatos de Peter Lund, quando de suas escavações na caverna (nos meados do século XIX) não existem quaisquer menções à fauna subterrânea. O referido naturalista realizou descrições detalhadas da caverna, de seus espeleotemas, de seus fósseis, mas não de sua fauna “atual”.

A média da diversidade encontrada nas cinco amostragens (2,25) corresponde a um valor muito próximo ao encontrado em cavernas não turísticas de dimensões similares da região, como a Gruta do Salitre em Cordisburgo (2,2) e a Gruta Taboa em Sete Lagoas (2,3) (Ferreira 2004).

Embora não haja diferenças sazonais significativas entre os valores médios de riqueza, foi possível observar que os valores de riqueza nos períodos chuvosos foram sempre mais altos do que nos períodos de seca na Lapa Nova de Maquiné. Segundo Ferreira (2004), essa variação deve-se principalmente à ampla flutuação quantitativa e qualitativa das comunidades para-epígeas, em resposta aos diferentes níveis de oferta de microhabitats que a entrada da cavidade apresenta em períodos de maior ou de menor umidade.

Em relação à  $\beta$ -diversidade, o valor encontrado foi menor do que o obtido por Souza-Silva (2011) para cavernas calcárias da Mata Atlântica (60.19). No entanto, estes dados são de difícil comparação, uma vez que o valor de  $\beta$ -diversidade obtido por Souza-Silva (2011) reflete a substituição de espécies em um contexto espacial (entre cavernas), e não temporal. Além disso, não existem outros estudos no Brasil que levem em consideração a  $\beta$ -diversidade, temporal ou espacial, de cavernas.

A presença de quatorze espécies troglomórficas na gruta do Maquiné é bastante expressiva. O Sistema Areias (Iporanga, SP), formado por duas cavernas (uma com 5,6 km e a outra com 1,16 km), possui vinte espécies troglomórficas (Prates & Drumond 2007). Este sistema já foi alvo de inúmeras



coletas biológicas, sendo que na maior caverna, quinze espécies troglomórficas foram identificadas, número muito próximo ao encontrado em Maquiné, que é no mínimo cinco vezes menor que a referida caverna. Além disso, a Lapa Nova de Maquiné apresenta um número consideravelmente maior de espécies troglomórficas do que o observado em cavernas não turísticas da região com semelhante desenvolvimento linear como a Gruta do Salitre (3 espécies) e a Gruta Taboa (4 espécies) (Ferreira 2004).

Os valores de temperatura e umidade do ar da Lapa Nova de Maquiné obtidos por Ferreira (2004) apresentaram um padrão semelhante ao de outras cavernas não turísticas amostradas por este mesmo autor. Este padrão pode ser caracterizado pela existência de amplitudes de temperatura e umidade mais amplas nas regiões próximas à entrada, devido à influência das condições climáticas do ambiente externo. Lima e Morais (2006) realizaram estudos climáticos nesta caverna e também encontraram uma maior amplitude de temperatura e umidade no salão de entrada, sendo que a partir do quarto salão ocorrem as menores flutuações de temperatura e umidade. Segundo este autor, embora a temperatura e a umidade tenham apresentado baixa amplitude, não se pode afirmar que estes parâmetros não estejam sofrendo interferências decorrentes da ação antrópica. Isto porque não há registros de valores de temperatura e umidade da caverna quando esta se encontrava em sua condição natural.

O recolhimento de todo o material residual proveniente da instalação do sistema de iluminação (fios e lâmpadas), bem como qualquer outro fragmento de metal deixado, deve ser uma medida emergencial. Não se sabe exatamente os efeitos destes resíduos sobre a fauna, mas segundo Hamilton-Smith (2004), resíduos de alguns metais podem liberar compostos tóxicos para os

invertebrados e para a microbiota e podem prejudicar a integridade do solo da caverna.

Vários parâmetros biológicos (riqueza organismos troglomórficos e riqueza total, abundância das populações e suas respectivas distribuições espaciais no interior das cavernas, dentre outras) compreendem informações obrigatórias e mínimas que devem ser obtidas antes da elaboração de propostas de manejo (Ferreira 2004). Poucos trabalhos, no entanto, utilizam estes dados, bem como o mapeamento dos recursos orgânicos, para definição do uso turístico de cavernas (Ferreira *et al.* 2009). No Brasil, poucos trabalhos utilizaram parâmetros biológicos para analisar a viabilidade do uso turístico em cavernas ou cavidades artificiais (Sessegolo & Theulen 2001; Sessegolo *et al.* 2004; Ferreira 2004; Ferreira *et al.* 2009; Souza-Silva & Ferreira 2009; Bernardi *et al.* 2010; Bernardi *et al.* 2011; Pellegrini 2011).

Na caverna do Maroaga (Presidente Figueiredo, AM) e nas grutas Botuverá I e II (Botuverá, SC), o manejo proposto consistiu em um zoneamento interno das cavidades, considerando-se as regiões de ocorrência de espécies endêmicas como zonas com maior restrição de uso (Sessegolo & Theulen 2001). Estes planos de manejo, no entanto, não abordaram aspectos ecológicos destas cavidades. Uma medida adicional proposta para as grutas Botuverá I e II foi a limitação do número de visitantes e do horário de visitação com o objetivo de minimizar o impacto sobre a fauna de invertebrados. No entanto, não está claro como o número de visitantes foi definido, correspondendo, dessa forma, a um valor arbitrário.

Os planos de manejo de 32 cavernas do estado de São Paulo (vinte localizadas no Parque Estadual Alto Ribeira, dez no Parque Estadual Intervales, uma no Parque Estadual do Rio Turvo e a Caverna do Diabo, Parque Estadual Caverna do Diabo) também devem ser mencionados (FFESP 2010). Nestes

planos, os locais com alta ocorrência de espécies troglomórficas e/ ou espécies de distribuição restrita ou com densidades populacionais baixas foram considerados como tendo um grau máximo de fragilidade para o meio biótico. As áreas com graus máximos de fragilidade, por sua vez, foram caracterizadas como “Zona intangível” ou “Zona Primitiva” no zoneamento das cavidades. A Zona Intangível é aquela onde o ambiente deve permanecer o mais preservado possível, sem quaisquer interferências antrópicas, representando o mais alto grau de preservação. É dedicada à proteção integral do ambiente subterrâneo, ao monitoramento ambiental e desenvolvimento de projetos de pesquisa. A Zona Primitiva é aquela onde já ocorreu pequena intervenção humana, mas ainda contém espécies da fauna cavernícola ou apresenta características naturais de grande valor científico. O objetivo com o manejo é preservar o ambiente natural e promover atividades de pesquisa científica, educação ambiental, e atividades de exploração e documentação espeleológica (FFESP 2010).

Um grande problema relacionado às propostas de manejo citadas anteriormente é que apenas a ocorrência de espécies troglóbias e de espécies com distribuição restrita é levada em consideração. A distribuição das demais espécies que ocorrem nas cavernas não é analisada durante a elaboração do zoneamento da cavidade. A proteção de espécies troglóbias pode ser uma medida válida devido à sua grande fragilidade. No entanto, a preservação do ecossistema como um todo é de extrema importância para proteção de espécies vulneráveis (Eberhard 2001). Dessa forma, a proteção total da fauna de troglóbios em zonas intangíveis da cavidade talvez não esteja garantida se os demais componentes da comunidade de invertebrados não forem alvo de ações de manejo que garantam a integridade de suas populações.

Na Gruta do Ubajara (Ceará), o manejo sugerido consistiu basicamente na manutenção da rota de caminhamento atual, havendo a necessidade apenas de

se evitar a passagem próxima à colônia de morcegos para não afugentá-los ou pisotear o guano (Souza-Silva & Ferreira 2009). Nas grutas Aroê Jarí, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT), o plano de manejo também não envolveu um manejo efetivo da fauna da cavidade. Consistiu apenas na determinação de rotas de caminhada com o objetivo de minimizar o pisoteio em áreas mais ricas em espécie e em recursos orgânicos, respeitando as particularidades de cada uma destas cavernas (Ferreira *et al.* 2009). Nestes estudos, embora não tenha sido propostas metodologias que envolvam o manejo direto da fauna, as ações recomendadas foram subsidiadas por dados de distribuição e riqueza de espécies.

Na Gruta da Lapinha (Lagoa Santa, MG), semelhante ao que ocorreu na Gruta de Maquiné, o plano de manejo foi baseado nas comunidades para-epígeas e nas espécies troglomórficas, utilizando-se, no entanto, um procedimento diferente de manejo de fauna. Como esta caverna praticamente não apresenta zonas interditadas à visita, o plano sugerido consiste na construção de abrigos feitos com fragmentos de rocha para fornecer mais microhabitats para as espécies troglóbias e troglófilas (Ferreira 2004).

Na Gruta Lapa Nova (Vazante, Minas Gerais), o plano de manejo consistiu basicamente em vetar certas áreas da caverna ao turismo e na definição de uma rota de caminhada bem delimitada (Pellegrini 2011). Como esta caverna apresenta uma intensa visita em apenas três dias do ano, foi possível detectar mudanças na composição e riqueza de espécies através da amostragem detalhada da fauna de invertebrados associada a retângulos presentes em regiões de alta e moderada visita, periféricas à visita e em regiões não visitadas. Um ponto comum entre o estudo de Pellegrini (2011) e o presente trabalho é a utilização de um mapa de distribuição de aranhas do gênero *Loxosceles* para determinar áreas em que deve ser evitadas por turistas.

Por fim, nos estudos de Bernardi e colaboradores (2010, 2011), dados biológicos e ambientais de minas turísticas (Mina do Chico Rei, Mina Velha e Mina Vila Rica) localizadas nos municípios de Mariana e Ouro Preto, Minas Gerais, foram levantados com o objetivo de se detectar possíveis variações em resposta à atividade turística. A iluminação elétrica do tipo incandescente determinou alterações na temperatura e umidade relativa de minas turísticas. No entanto, não foram observadas mudanças significativas na estrutura das comunidades de invertebrados, uma vez que estas se mostraram muito semelhantes àquelas presentes em minas não turísticas (Bernardi *et al.* 2011). Na Mina do Chico Rei, especificamente, foi observada a elevação da temperatura e da umidade relativa após o uso do sistema. Além disso, foram observados impactos decorrentes da atividade turística, tais como a compactação e a homogeneização do piso. Tais alterações fazem com que a fauna se distribua em locais onde o efeito do turismo não é muito intenso (Bernardi *et al.* 2010).

O que se pode perceber é que existem duas linhas principais de pensamento relacionados à metodologia de coleta e propostas de implantação de manejo para atividade turística em cavernas no Brasil. Ferreira (2004) ressalta a importância de buscas minuciosas em todos os microhabitats no interior de cavernas e de se avaliar a distribuição das populações de todas as espécies encontradas. Outros pesquisadores, no entanto, utilizam coleta visual em microhabitats específicos e às vezes armadilhas, no entanto, apenas a distribuição de espécies troglóbias e de espécies com baixa densidade populacional é determinada. Quanto às sugestões de implantação de manejo, tem-se o direcionamento da fauna para locais não visitados quando necessário, para que estas regiões funcionem como refúgios para as espécies (Ferreira 2004). Outra perspectiva é o zoneamento da cavidade após a análise das espécies presentes, considerando-se zonas de interdição aquelas regiões onde se

concentram espécies troglomórficas ou espécies de distribuição restrita (Sessegolo & Theulen 2001; Sessegolo *et al.* 2004; FFESP 2010).

É interessante ressaltar que a maioria das sugestões de manejo citadas anteriormente ainda não foi efetivamente colocada em prática, o que dificulta avaliar a eficiência de tais propostas enquanto minimizadoras de impactos decorrentes do uso turístico sobre a fauna.

Além disso, o uso turístico em cavernas do Brasil exhibe naturezas bastante distintas (Marra 2001). A forma de utilização turística da caverna irá variar, por exemplo, de acordo com sua dimensão, com a dificuldade de acesso a este ambiente e com sua importância cultural ou religiosa. A Gruta do Maroaga, por exemplo, é visitada principalmente por turistas da região na qual a caverna se encontra. Já as Grutas do Parque Estadual Alto Ribeira, são mais utilizadas para atividades de ecoturismo. As Grutas de Maquiné, Lapinha e do Ubajara, por sua vez, recebem visitantes de vários locais do país ao longo do ano, correspondendo às cavernas mais visitadas do Brasil. A visita da Lapa Nova, pelo contrário, apresenta um viés religioso. Essa caverna recebe uma visita turística intensa associada à festa em louvor à Virgem da Lapa, que ocorre durante três dias no início do mês de maio. Nos demais meses do ano, esta cavidade é relativamente pouco visitada. Portanto, além das peculiaridades ecológicas e físicas de cada caverna, o propósito da exploração do ambiente cavernícola também deve ser levado em conta na realização de planos de manejo, mostrando que estes não podem ser padronizados.

Um aspecto relacionado ao manejo de cavidades naturais, frequentemente abordados é a “capacidade de carga” (Cigna & Burri 2000; Calaforra *et al.* 2003; Hoyos *et al.* 1998; Lobo 2008; Boggiani *et al.* 2007; Lobo *et al.* 2009). Segundo Cigna (2002), a capacidade de carga corresponde ao número de visitantes por unidade de tempo sob condições definidas que não

implica em modificações permanentes em um parâmetro relevante. Todos estes autores analisam apenas fatores ambientais das cavernas para determinar este número “viável” de visitantes.

Segundo Cigna & Burri (2000) esta pode ser uma abordagem bastante controversa, pois este número tem sido muitas vezes utilizado para suprir objetivos de manejo que visam responder questões políticas e não a proteção da caverna. Além disso, este conceito não leva em conta fatores como padrões temporais e espaciais de uso, mudanças no clima e na vegetação e fatores extremos, como inundações, que acarretam mudanças na base de recursos. Este conceito não reconhece que as espécies apresentam diferentes graus de vulnerabilidades e que muitas mudanças ecológicas não são reversíveis (Burch 1984; Gillieson 1998). Segundo Ferreira e colaboradores (2009), muitas vezes os métodos utilizados para minimizar os impactos no meio físico não são adequados para preservar o sistema biológico de uma caverna. Além disso, na tentativa de determinação da capacidade suporte de uma caverna, muitos autores não se preocupam em avaliar como a variação de fatores físicos pode alterar as comunidades subterrâneas. Desta forma, a utilização de parâmetros biológicos na definição da capacidade de carga poderia favorecer a pesquisa de manejo turístico com enfoque ecológico e seria possível apenas através de monitoramento e da obtenção de dados experimentais (Lobo 2008, Souza-Silva & Ferreira 2009).

O presente estudo teve a possibilidade de utilizar dados pré-existentes, como os coletados entre os anos de 1999 e 2001. Embora estes dados tenham sido levantados após uma longa história de utilização turística da caverna, compreendem informações extremamente úteis no sentido de possibilitar a identificação de mudanças ocorridas ao longo do tempo na riqueza de espécies, na abundância e distribuição das populações e dos recursos orgânicos da

cavidade. Desta forma, mesmo sem o acesso à condição prístina de uma dada cavidade, a obtenção de uma “série temporal”, mesmo que descontínua pode compreender uma ferramenta extremamente útil na proposição de ações de manejo em cavernas, especialmente aquelas com histórico de utilização para fins de visitação turística.

O incentivo à visitação de cavernas adaptadas ao turismo como a Gruta de Maquiné pode contribuir para a proteção do patrimônio espeleológico como um todo. Isto porque a atividade turística constitui um instrumento de educação ambiental e conscientização da população sobre a fragilidade das cavernas e dos sistemas cársticos (Alt 2010). Dessa forma, estudos como este devem ser encorajados para que o turismo, que corresponde a uma atividade cultural e econômica extremamente importante em áreas cársticas, ocorra com o mínimo possível de impactos a estes frágeis ecossistemas.

## **6 AGRADECIMENTOS**

À Érika L. S. Taylor, pelo auxílio das coletas de campo e aos pesquisadores e amigos Rodrigo Lopes Ferreira e Marconi Souza Silva pela participação em todo o processo de realização do estudo;

Meus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG CRA-APQ-03526-09), pelo suporte financeiro e aos funcionários da Maquinetur, principalmente Gilson, e do IEF, Mário e Raquel, pelo suporte logístico durante a realização dos trabalhos de campo na Lapa Nova de Maquiné.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barr, T. C. & R. A. Kuehne, 1971: Ecological studies in the Mammoth Cave ecosystems of Kentucky. II. The ecosystem - *Annales de Spéléologie*, 26, 47-96.
- Bernardi, L. F. O., Souza-Silva, M. & R. L. Ferreira, 2010: Considerações sobre os efeitos do turismo no ecossistema da Mina do Chico Rei (Ouro Preto, Minas Gerais): implicações para o manejo em sistemas naturais - *Turismo e Paisagens Cársticas*, 3, 2, 67 - 77.
- Bernardi, L. F. O., Souza-Silva, M. & R. L. Ferreira, 2011: Efeitos do uso turístico sobre cavidades subterrâneas artificiais: subsídios para o uso antrópico de sistemas subterrâneos - *Turismo e Paisagens Cársticas*, 4, 1, 5 - 19.
- Boggiani, P. C., Silva, O. J., Gesicki, A. L. D., Gallati, E. A. B., Salles, L. O. & M. M. E. R. Lima, 2007: Definição de Capacidade de Carga Turística das cavernas do Monumento Natural Gruta do Lago Azul (Bonito, MS) - *Geociências*, 26, 4, 333 – 348.
- Burch, W. R., 1984: Much ado about nothing: some reflections on the wider and wilder implications of social carrying capacity - *Leisure Sciences*, 6, 487-96.
- Calaforra, J.M., Fernández-Cortés, A., Sánchez-Martos, F., Gisbert, J. & A. Pulido-Bosch, 2003: Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use - *Environmental Conservation*, 30, 2, 160–167, 2003.
- Cigna, A. A., 2002: Modern trend in cave monitoring – *Acta carsologica*, 31, 1, 35 – 54.

- Cigna, A. A. & E. Burri, 2000: Development, management and economy of show caves - *International Journal of Speleology*, 29, 1-4, 1-27.
- Culver, D. C., 1982: *Cave Life: Evolution and Ecology*. - Harvard University Press, pp. 189, Cambridge.
- Culver, D.C. & T. Pipan, 2009: *The biology of caves and other subterranean habitats*. - Oxford University Press, pp. 255, Oxford, UK.
- Eberhard, S., 2001: Cave fauna monitoring and management at Ida Bay, Tasmania - *Records of the Western Australian Museum*, 64, 97-104.
- Ferreira, R. L., 2004: *A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos*. – Tese de doutorado. 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, 1, 7-17.
- Ferreira, R. L. & R. P. Martins, 2001: Cavernas em risco de ‘extinção’ - *Ciência hoje*, 29, 20-28.
- 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* 1, 9, 41-58.
- Ford, D. & P. Williams, 2007: *Karst hydrogeology and geomorphology* - John Wiley e Sons, pp.562, New York.

- Fundação Florestal do Estado de São Paulo (FFESP), 2010: Planos de Manejo Espeleológico do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, Parque Estadual Intervalos, Parque Estadual do Rio Turvo e Parque Estadual Caverna do Diabo.
- Gillieson, D. S., 1998: *Caves: processes, development and management* - Blackwell Publishers, pp. 324, Oxford.
- Hamilton-Smith, E., 2004: Tourist caves. - In: Gunn, J. (ed.) *Encyclopaedia of Cave and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, pp. 1554 – 1561, New York.
- Hammer, O., Harper, D. A. T. & P. D. Ryan, 2001: PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis - *Palaeontologia Electronica*, 4, 1, 9.
- Harrison, S., Ross, S.J. & J. H. Lawton, 1992: Beta diversity on geographic gradients in Britain - *Journal of Animal Ecology*, 61, 151–158.
- Holsinger, J. R. & D. C. Culver, 1988: The Invertebrate Cave Fauna of Virginia and a Part of Eastern Tennessee: Zoogeography and Ecology - *Brimleyana*, 14, 1-162.
- Hoyos, M., Soler, V., CañaveraS, J.C., Sánchez-Moral, S. & E. Sanz-Rubio, 1998: Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain) - *Environmental Geology*, 33, 231-242.
- Koleff, P., Gaston, K. J. & J. J. Lennon, 2003: Measuring beta diversity for presence–absence data - *Journal of Animal Ecology*, 72, 367–382.
- Lima, T.F. & M. S. de Morais, 2006: Contribuições para o desenvolvimento de plano de manejo ambiente cavernícola: Gruta do Maquine: um estudo de caso - *Geonomos*, 14, 1/2, 45-53.

- Lobo, H. A. S., 2008: Capacidade de Carga Real (CCR) da Caverna de Santana, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) – SP, e indicações para o seu manejo turístico - *Geociências*, 27, 3, 368 – 385.
- Lobo, H. A. S., Perinotto, J. A. J., Boggiani, P. C. & S. Zago, 2009: Eventos musicais causam impactos no microclima de cavernas? Avaliação das alterações na atmosfera subterrânea da Gruta Morro Preto (Petar, Iporanga-sp) - *Geonomos*, 17, 1, 1 – 10.
- Marra, R. J. C., 2001: *Espeleoturismo: planejamento e manejo de cavernas.*- Editora W. D. Ambiental, pp. 224, Brasília.
- Muniz, M. M., Pizzini, C. V., Peralta, J. M., Reiss, E. & R. M. Zancopé-Oliveira, 2001: Genetic diversity of *Histoplasma capsulatum* strains isolated from soil, animals, and clinical specimens in Rio de Janeiro state, Brazil, by a PCR-Based Random Amplified Polymorphic DNA Assay. *Journal of Clinical Microbiology*, 39, 12, 4487- 4494.
- Pellegrini, T. G., 2011: *Variações na diversidade de invertebrados na Lapa Nova, Vazante, Minas Gerais: implicações para o plano de manejo da cavidade.* - Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, pp. 165.
- Poulson, T. L. & W. B. White, 1969: The cave environment – *Science*, 165, 971-981.
- Prates, I. & L. Drumond, 2007: *Sistema Areias. 100 anos de estudos.* – Redespeleo, pp. 126, São Paulo.
- Sessegolo, G. C. & V. Theulen, 2001: Manejo das Grutas de Botuverá, Botuverá/SC. - In: Sessegolo, G. C., Silva-da-Rocha, L. F. & V. Theulen (eds.) *Conservando cavernas: 15 anos de espeleologia.* Grupo de Estudos Espeleológicos do Paraná, pp. 214, Curitiba.

- Sessegolo, G. C., Oliveira, K., Pries, D. C., Rocha, L. F. S. & D. P. Zakrzewski, 2004: Manejo da caverna do Maroaga, Presidente Figueiredo/AM. – In: IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Anais, volume 1 (Trabalhos técnicos), 399 – 405, Curitiba.
- Souza-Silva, M., 2008: *Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira*. - Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, pp. 224.
- Souza-Silva, M., Martins, R. P. & R. L. Ferreira, 2011: Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest - *Biodiversity Conservation*, 20, 1713 – 1729.
- 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*, 1, 9, 59-71.
- Tambourgi, D. V., Morgan, B. P., Gonçalves-de-Andrade, R. M., Magnoli F. C. & C. W. Van den Berg, 2000: *Loxosceles intermedia* spider envenomation induces activation of a endogenous metalloproteinase, resulting in cleavage of glycoporphins from the erythrocyte surface and facilitating complement mediated lysis - *Blood*, 95, 683 -691.
- Zampaulo, R. A., 2010: *Diversidade de invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação*. - Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, pp. 207.
- Zar, J. H., 1996: *Biostatistical analysis*. - 3ed., Prentice-Hall, pp. 718, New Jersey.