

**ENRIQUECIMENTO TRÓFICO EM  
AMBIENTES SUBTERRÂNEOS  
E SUAS APLICAÇÕES PARA A  
CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DE  
INVERTEBRADOS AQUÁTICOS**

**ANA PAULA BUENO DA SILVA**

**2008**

**ANA PAULA BUENO DA SILVA**

**ENRIQUECIMENTO TRÓFICO EM AMBIENTES  
SUBTERRÂNEOS  
E SUAS APLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DA  
BIODIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS**

**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 Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de “Mestre”.**

Orientador  
Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Ana Paula Bueno da.

Enriquecimento trófico em ambientes subterrâneos e suas aplicações para a conservação da biodiversidade de invertebrados aquáticos / Ana Paula Bueno da Silva. -- Lavras : UFLA, 2008.

153 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Cavernas. 2. Enriquecimento trófico. 3. Invertebrados aquáticos.
4. Caracterização ecológica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 551.447

**ANA PAULA BUENO DA SILVA**

**ENRIQUECIMENTO TRÓFICO EM AMBIENTES  
SUBTERRÂNEOS  
E SUAS APLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DA  
BIODIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS**

**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 Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de ‘Mestre’.**

Aprovada em 16 de maio de 2008

Profa. Dra. Dayse Lucy Resende            UFLA

Profa. Dra. Maria Elina Bichuette        UFSCar

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira  
(UFLA)  
Orientador

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

Um galo sozinho não tece uma manhã:  
ele precisará sempre de outros galos.  
De um que apanhe esse grito que ele  
e o lance a outro; de um outro galo  
que apanhe o grito de um galo antes  
e o lance a outro; e de outros galos  
que com muitos outros galos se cruzem  
os fios de sol de seus gritos de galo,  
para que a manhã, desde uma teia tênue,  
se vá tecendo, entre todos os galos.

E se encorpando em tela, entre todos,  
se erguendo tenda, onde entrem todos,  
se entretendendo para todos, no toldo  
(a manhã) que plana livre de armação.  
A manhã, toldo de um tecido tão aéreo  
que, tecido, se eleva por si: luz balão.

Tecendo a manhã  
João Cabral de Melo Neto

## **AGRADECIMENTOS**

O apoio que recebi de tantas pessoas que, de uma forma ou outra, torceram pelo sucesso da idéia ou simplesmente compartilharam da minha ansiedade e insegurança, foi imprescindível para a concretização desse trabalho.

Agradeço aos meus pais, Sônia e Bueno, por, mais uma vez, acreditarem nas minhas escolhas e pelo apoio, sempre incondicional, aos meus sonhos. Além disso, sou grata, especialmente, ao meu pai, por ter tido participação ativa neste estudo, encarando, com toda coragem, a complicada construção dos quatro

plotes de enriquecimento. Agradeço à minha irmã, Andreza, ao Tito e aos meus familiares, pelo incentivo, pela curiosidade e pela admiração pelo que faço.

Ao Drops, orientador e amigo. Pessoa que me mostrou o tanto que é fascinante trabalhar com cavernas e que me deu a oportunidade de participar de suas idéias surpreendentes!! A ele serei eternamente grata, por todos os ensinamentos que, sem dúvida, foram extremamente importantes para a minha formação científica e pessoal. Ao Marconi, um dos idealizadores deste trabalho e que, junto com o Drops, forma uma dupla admirável pelo amor contagiante à ciência subterrânea.

Aos meus amigos, que conviveram com os meus vários estados de espírito e me ajudaram de todas as formas possíveis nas muitas vezes em que precisei: Roberta, Andréa, Bels, Letícia, Guto e, é claro, família Buscapé - Paulinha, Mion e Pedim. Valeu, galera, pelas infundáveis *filosofias cotidianas e boêmias*, tão essenciais para o meu crescimento e minha diversão!! Sem essas amizades, tudo seria muito mais difícil de ser alcançado...

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram nas idas à caverna e no laboratório ou àquelas que foram pelo menos uma vez encarar “a lupa” para tentar me acudir!! Bochecha, pela disponibilidade em me ajudar, por permanecer ao meu lado e por compartilhar o processo instigante de aprendizagem. Leopoldo, por ser tão prestativo, pelas dicas e pela companhia nas noites da UFLA. Kuala, Cristina, Teta, Thiago e Xúnior, pela imprescindível colaboração em campo e triagem em laboratório.

Ao pessoal de Luminárias, em especial Celsinho, o serralheiro que, mesmo achando que éramos malucos, resolveu instalar no riacho o aparato mirabolante desta dissertação!

Aos professores Paulo, Marcelo e Dayse, pela amizade, pelos ensinamentos, pelas idéias na execução deste trabalho e por me emprestarem, sempre com boa vontade, os seus equipamentos de campo. Aos alunos do

Mestrado em Ecologia Aplicada, pela companhia em mais uma etapa da minha caminhada acadêmica.

Agradeço aos meus amigos de Lavras e aos *quiçá* floresteiros, agrônomos e biólogos que tive a ótima oportunidade de conhecer na UFLA. Impossível citar nomes, mas deixo claro que, sem essas pessoas, minha vida seria, no mínimo, muito mais sem graça!!

Às professoras Dra. Dayse Lucy Resende e Dra. Maria Elina Bichuette, pela participação na banca de qualificação, pelas sugestões e críticas que enriqueceram esses trabalho.

À Capes, pela bolsa durante o mestrado, fundamental para a execução deste trabalho e à Prefeitura Municipal de Luminárias, pelo apoio logístico.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL.....</b>	<b>i</b>
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>1. APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>20</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>

### **CAPÍTULO I**

**CARACTERIZAÇÃO ECOLÓGICA E COMPARAÇÃO  
ENTRE AS COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS  
EPÍGEAS E HIPÓGEAS NO RIBEIRÃO DO MANDEMBE**

<b>Resumo.....</b>	<b>31</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>32</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>34</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>37</b>
<b>3. Materiais e Métodos.....</b>	<b>37</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>42</b>
<b>5. Discussão.....</b>	<b>60</b>
<b>6. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>73</b>

## **CAPÍTULO II**

### **ENRIQUECIMENTO TRÓFICO COMO SUBSÍDIO PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS CAVERNÍCOLAS**

<b>Resumo.....</b>	<b>81</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>83</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>84</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>86</b>
<b>3. Materiais e Métodos.....</b>	<b>87</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>110</b>
<b>5. Discussão.....</b>	<b>125</b>
<b>6. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>136</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>143</b>



## RESUMO

SILVA, Ana Paula Bueno. **Enriquecimento trófico em ambientes subterrâneos e suas aplicações para a conservação da biodiversidade de invertebrados aquáticos**. 2008. 153p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

A ausência permanente de luz e a elevada tendência ao oligotrofismo são, geralmente, consideradas fatores determinantes no estabelecimento de espécies em ambientes subterrâneos. No entanto, estudos relacionados à caracterização da fauna e sua relação com processos biológicos de produção, transferência e processamento de nutrientes em sistemas cavernícolas são pouco frequentes. O presente estudo buscou analisar trechos epígeos e hipógeos do riacho que percorre a gruta do Mandembe (Luminárias, MG), por meio da determinação de parâmetros físico-químicos e da estruturação da fauna de invertebrados aquáticos. Foi possível verificar a existência de diferenças entre o gradiente epígeo/hipógeo do trecho de riacho, tanto nos aspectos ambientais quanto biológicos. Há evidência de que uma área é progressivamente determinante nos padrões encontrados no ambiente seguinte. Foi possível verificar que o segmento hipógeo apresenta-se como uma zona de transição entre os compartimentos a montante e a jusante da gruta. O trabalho foi realizado com o objetivo também de testar a conseqüente influência dos recursos alimentares sobre a comunidade aquática cavernícola por meio do experimento de enriquecimento trófico. Os métodos utilizados foram estritamente embasados nos processos de aporte de recursos alimentares vegetais ocorridos no trecho a montante do riacho externo à caverna. Vale destacar que este é o primeiro estudo no mundo que envolve um experimento de enriquecimento trófico em uma caverna. Foi possível verificar que, por meio do acréscimo de recursos tróficos diversificados, a comunidade hipógea poderia potencialmente igualar-se à epígea, comprovando a existência da relação entre disponibilidade de recurso e estrutura da comunidade. Tais resultados indicam que a escassez de recursos alimentares é uma importante pressão seletiva que atua sobre a comunidade aquática cavernícola em estudo, porém, fatores como ausência de luz também restringem o estabelecimento de organismos. Com este trabalho, pretendeu-se contribuir para a ampliação do conhecimento biológico em cavernas quartzíticas,

---

\*Comitê Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (Orientador), Dayse Lucy Resende – UFLA e Maria Elina Bichuette - UFSCar

bem como de processos ecológicos comuns a ambientes aquáticos cavernícolas. Procurou-se oferecer, dessa forma, subsídios para a conservação da fauna de invertebrados aquáticos em cavernas com características semelhantes.

### GENERAL ABSTRACT

SILVA, Ana Paula Bueno **Trophic enrichment in underground environments and its applications in the biodiversity conservation of aquatic invertebrates.** 2008. 153p. Dissertation (Master Program in Applied Ecology) – Federal University of Lavras, Lavras, MG\*.

The permanent absence of light and high tendency to oligotrophism, are often considered to be determining factors in the establishment of species in underground systems. There is a lack of studies concerning characterization of fauna and its relation with biological processes (such as production, transference, nutrient processing) in cave systems. The aim of the present study was to analyze epigeal and hypogeal stretches of a stream, which runs through Mandembe Cave (Gruta do Mandembe, located in Luminárias-MG, Brazil), through analyzes of physical-chemical characteristics of the stream and structure of aquatic invertebrates fauna. It was possible to observe environmental and biological differences in the epigeal/hypogeal gradient. Based on the evidences obtained through the present study, it was possible to verify that an area progressively determines the patterns presented by the following environment. It was also possible to observe that the hypogeal segment functions as a transitional zone between downstream and upstream segments. This study also aimed to test the influence of food resources over the aquatic community present in the cave, through experiments involving trophic enrichment. The methods used were based on the import process of vegetable matter (used as food resource) occurring at the upstream, outside the cave. It is important to highlight that this is the first register in the world of a study focusing on trophic enrichment in a cave. It was possible to observe that the hypogeal community may balance with the epigeal community. This data was obtained, through experiment, by increasing diverse trophic resources in the studied area. This confirms the existence of a relation between resource availability and community structure. Scarcity of food resource is proved to be an important selective pressure over the aquatic community in the studied cave. Besides scarcity of food resources, there are also other factors (such as absence of light) that may restrict the establishment of organisms. The desired result of this work was to enlarge the biological knowledge related to quartzitic caves and ecological processes occurring in the aquatic environment of caves. Therefore,

offering important information for the conservation of aquatic invertebrates fauna in caves.

---

\*Guidance Committee: Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (Major Professor ),  
Dayse Lucy Resende – UFLA e Maria Elina Bichuette - UFSCar

## 1 APRESENTAÇÃO

Os primeiros trabalhos relacionados à fauna cavernícola enfocavam exclusivamente os organismos especializados às condições peculiares destes ambientes. Apesar da importância indiscutível desses estudos para a compreensão dos processos evolutivos que atuaram sobre estas espécies, estão presentes nas cavernas outros organismos não tão especializados, mas também relacionados ao meio subterrâneo. Recentemente, vários trabalhos surgiram para elucidar o papel dessas espécies no funcionamento dos ecossistemas cavernícolas e compreender o conjunto de inter-relações entre a biota, a caverna e o ambiente externo.

Especificamente no Brasil, a fauna cavernícola começou a ser relativamente bem estudada a partir da década de 1980, porém, poucas cavernas foram analisadas como um todo. Das cerca de 1.000 cavidades contempladas em estudos biológicos, apenas uma pequena fração pode ser considerada bem conhecida, do ponto de vista ecológico (Ferreira, 2004). A maioria dos estudos biológicos realizados em cavernas brasileiras restringiu-se a simples levantamentos da fauna e concentrou-se em cavernas calcárias. Dessa forma, tal conhecimento é considerado, ainda, extremamente incipiente no país, indicando a necessidade de execução de estudos ecológicos mais aprofundados.

Procurou-se compreender um ambiente cavernícola por meio da caracterização da fauna de invertebrados aquáticos e da conseqüente influência dos recursos alimentares na estruturação dessa comunidade. Além disso, enfatiza-se aqui que este é o primeiro estudo no mundo que envolve um experimento de enriquecimento trófico em uma caverna.

Existe também a relativa urgência na obtenção de informações bioespeleológicas básicas na área estudada, dada a ausência de conhecimento científico das cavernas locais. A grande expansão de atividades relativas à

exploração mineral e o crescente turismo espeleológico vêm alterando consideravelmente as condições prístinas dos ecossistemas da área local de estudo.

Por meio desse estudo pretende-se ampliar o conhecimento sobre os processos ecológicos comuns a ambientes aquáticos cavernícolas, oferecendo, dessa forma, subsídios para a conservação de outras cavernas com características semelhantes.

### **Formato da dissertação**

A estruturação do texto acompanhou o seguinte formato: referencial teórico, área de estudo, capítulo I, capítulo II, considerações finais, referências bibliográficas e anexos. Com o referencial teórico buscou-se caracterizar o ambiente subterrâneo por meio da apresentação e da descrição das definições de uso restrito, a partir das referências existentes na literatura. Por fim, foram apresentadas as hipóteses do presente trabalho. Na área de estudo foram indicados o *status* do conhecimento científico regional e a localização da gruta do Mandembe, local onde foi realizado o trabalho. No Capítulo I caracteriza-se a composição da comunidade de invertebrados aquáticos em uma fração de 300 metros do riacho do Mandembe. Essa fração abrange o gradiente 100 metros a montante da cavidade, 100 metros no interior da caverna e os 100 metros a jusante da cavidade. A caracterização aborda tanto os aspectos ambientais quanto biológicos do riacho. Os dados descritos no capítulo I serviram como base para a comparação com os resultados obtidos no segundo capítulo. Já conhecida a estrutura da comunidade de invertebrados aquáticos, foram descritas, no capítulo II, as respostas dessa comunidade ao processo de enriquecimento e empobrecimento trófico. Os métodos utilizados foram estritamente embasados nos processos de aporte de recursos alimentares vegetais ocorridos no trecho a montante do riacho externo à caverna. Ressalta-se que os

dois capítulos foram estruturados em formato de artigo científico. Dessa forma, algumas informações apresentadas no referencial teórico ou na área de estudo repetem-se em cada capítulo, quando necessário.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **Cavernas: gênese e relevos associados**

As cavernas, ou cavidades naturais subterrâneas, podem ser compreendidas como componentes de um sistema geológico denominado carste. Este sistema é caracterizado como um complexo dinâmico em constante modificação, principalmente pela ação da água que atua na formação, na moldagem e na deposição de variadas feições. Tal relevo desenvolve-se, principalmente, em rochas mais solúveis, como as de natureza carbonática (por exemplo, calcário e dolomito). Entretanto, tal relevo pode se desenvolver, mesmo em rochas menos solúveis, como quartzitos, granitos e basalto, dentre outras (Palmer, 1991, Sanchez 1992; Gilbert et al., 1994; Gillieson, 1996; Kohler, 2001).

O carste é, portanto, a unidade funcional de um emaranhado de aquíferos, em bacia de drenagem, com entrada e saída de água fluvial ou pluvial. A gênese e a evolução de uma paisagem cárstica dependem do padrão estrutural, do grau de solubilidade da rocha e da ação de fluxos de água, associados às características ambientais que determinam o funcionamento geológico e biológico de ambientes subterrâneos (Gilbert et al., 1994; Palmer, 1991, Sanchez, 1992). As feições cársticas são todas as formas de relevos ativos elaborados, sobretudo pelos processos de corrosão química e de abatimento (Kohler, 2001). Feições pseudocársticas são aquelas em que o processo dominante não é a dissolução da rocha ou processos de abatimentos, como

cavernas de origem vulcânica, de depressões fechadas de origem glacial ou de movimentos tectônicos (Gillieson, 1996).

A morfologia cárstica abrange feições de dissolução (destrutivas), compreendendo formas superficiais (exocarste) e formas subterrâneas (endocarste). No entanto, existem também feições construtivas, como os chamados espeleotemas, que compreendem quaisquer depósitos químicos formados no interior de cavernas. As formações exocársticas incluem formas como poliés, dolinas, maciços, torres, mogotes, lapiás e também formas fluviocársticas, tais como vales cegos, sumidouros, ressurgências, vales secos e cânions. Já o endocarste compreende uma considerável quantidade e variedade de cavidades subterrâneas, que se desenvolvem associadas às rochas (Kohler, 2001). Além disso, como compartimento intermediário, encontra-se epicarste, que corresponde, em geral, a um extenso volume subsuperficial que consiste de uma zona de intercâmbio entre o solo úmido e a rocha. Esse ambiente pode apresentar um sistema heterogêneo de fendas nas quais é retida a água proveniente da chuva por tempos variáveis, formando-se, assim, um aquífero suspenso (Camacho, 1992). Tal aquífero alimenta o gotejamento do teto das cavernas e é responsável, em grande parte, pela formação de espeleotemas e pela alimentação de muitos tributários vadosos (Trajano & Bichuette, 2006).

Lapiás são caneluras que sulcam o plano da rocha por meio de variados padrões, referindo-se aos mais recentes processos de corrosão de uma superfície cárstica. Poliés são caracterizados como depressões fechadas formando uma grande planície de corrosão que pode alcançar centenas de quilômetros; apresentam um fundo plano atravessado por um fluxo contínuo de água. Já as dolinas são depressões menores, geralmente de configurações circulares ou elípticas. Quando há uma união entre duas ou mais dolinas, forma-se, então, uma uvala. Os maciços diferenciam-se por serem grandes planaltos cársticos de centenas de quilômetros de extensão, com paredões recobertos por campos de

lapiás, limitando, assim, as superfícies erosivas. Por fim, os mogotes e torres, assim como os maciços, são relevos positivos que compreendem morros residuais ou testemunhos de algumas dezenas de metros de altitude (Kohler, 2001).

O fluviocarste caracteriza-se por um curso de água com trechos em superfície e outros subterrâneos que direcionam a funcionalidade do carste. A água flui em um leito pelo vales cegos fechados, onde uma zona de recarga desaparece, através de um sumidouro, para tornar-se subterrânea, aflorando novamente em um ponto de descarga, por meio de nascentes ou ressurgências (Auler et al., 2001; Kohler, 2001; Camacho, 1992).

Dentro do ambiente subterrâneo, o curso d'água pode reaparecer, sendo assim denominado surgência. O fluviocarste aloja acima de seu nível atual, feições fósseis, não funcionais, como vales suspensos, cavernas e abrigos. Entre esses vazios endocársticos, as cavernas são os mais significativos (Kohler, 2001).

Geralmente, as cavernas iniciam sua formação na zona freática, área de infiltração vertical, onde a água inunda totalmente as fissuras da rocha, provocando a dissolução do perímetro dos condutos (zona de saturação). O rebaixamento natural do lençol freático permite a entrada de ar nesses espaços subterrâneos, caracterizando o início de processos vadosos, que continuam atuando na solubilização da rocha, entretanto, agora de forma direcional (determinada pela convergência dos fluxos de água subterrâneos). Cavernas vadasas podem ser percorridas por rios, mas a água não ocupa todo o perímetro da galeria. Nestes casos, haverá tendência de que o conduto seja escavado para baixo. Eventualmente, a caverna pode se tornar seca e se aproximar da superfície, sendo destruída pela erosão (Auler & Zogbi, 2005; Camacho, 1992).

As cavernas formadas na zona freática apresentam morfologia labiríntica, de formação lenta e circulação irregular, enquanto as cavernas



vadosas apresentam fluxo direcional de água a partir de canais de convergência, geralmente com condutos únicos de morfologia meândria ou submeândrica. Portanto, a morfologia dos condutos é controlada por uma hierarquia de influências, tais como localização, extensão, grau de solubilidade da rocha, distância entre ponto de recarga e descarga, distribuição do fluxo freático e vadoso e história morfodinâmica (Palmer, 1991; Guano Speleo, 2004).

Estima-se que o potencial espeleológico brasileiro possa superar mais de 100.000 cavernas (Auler, 2001), contudo, cerca de 5.000 encontram-se cadastradas (Auler, 2006). Minas Gerais abriga boa parte da maior província espeleológica brasileira (Grupo Carbonático Bambuí), fazendo com que este seja o estado que possui o maior número de cavernas. Grande parte delas localiza-se em áreas calcárias que sofrem grande pressão por parte de empresas mineradoras em função da utilização do carbonato de cálcio para a fabricação de cimento (Piló, 1999; Ferreira, 2004; Machado & Ferreira, 2005). Além de cavernas calcárias, em Minas também é encontrada formação de cavidades naturais em rochas, como quartzito, minério de ferro, arenito, granito e gnaisse, dentre outras, também ameaçadas, principalmente, por atividades de mineração e turismo.

## **O ambiente subterrâneo**

Os ambientes externos, ou sistemas epígeos, são utilizados como base para a comparação das condições ecológicas prevalentes nos ambientes subterrâneos, chamados de sistemas hipógeos. Dessa forma, o meio cavernícola é caracterizado, principalmente, pela ausência permanente de luz, fazendo com que muitas das características bióticas e abióticas desses ambientes sejam influenciadas pela constância desta pressão ambiental. Geralmente, o ambiente físico subterrâneo varia menos que o ambiente epígeo circundante e os

parâmetros ambientais caracterizam-se por permanecerem praticamente estáveis na maioria das cavernas (Poulson & White, 1969; Culver, 1982).

Em cavernas mais extensas, a temperatura é caracterizada por apresentar pouca oscilação nos locais mais distantes da entrada. Os valores de temperatura, geralmente, aproximam-se da média anual do ambiente epígeo (Barr, 1967; Barr & Kuehne, 1971). Já em cavernas menores, as variações são mais evidentes, devido à maior influência do meio externo. Além disso, o ambiente subterrâneo é caracterizado pela elevada umidade que, muitas vezes, tende à saturação (Poulson & White, 1969; Howarth, 1983). Dessa forma, o meio cavernícola pode ser caracterizado como um ambiente de elevada estabilidade ambiental, devido à ausência permanente de luz, e temperatura e umidade constantes (Poulson & White, 1969; Culver, 1982). Porém, tais condições não são estáticas e podem sofrer alterações ao longo do tempo, dependendo de fatores como dimensão da caverna, localização, morfologia, e orientação das entradas, dentre outros.

Tradicionalmente, podem ser distintas três zonas ambientais caracterizadas pelas diferenças entre luminosidade, temperatura e distribuição de organismos (Camacho, 1992). São elas:

**1. zona de entrada:** é aquela onde a luz incide diretamente e tanto a temperatura quanto umidade relativa do ar acompanham as variações externas. É a região mais influenciada pelo meio epígeo;

**2. zona de penumbra:** há incidência indireta de luz e flutuações de temperatura menores quando comparadas às da zona de entrada. Sua extensão pode variar de acordo com a época do ano e a posição da entrada em relação ao sol;

**3. zona afótica:** região onde há absoluta ausência de luz e habitual tendência à estabilidade ambiental.

As comunidades aquáticas que vivem em lençóis freáticos ou cursos d'água tendem a se distribuir por todo o volume da água, desde que existam nutrientes (Ferreira & Martins, 2001). Segundo Trajano & Bichuette (2006), o ambiente aquático subterrâneo também pode ser diferenciado em três zonas ambientais:

1. horizonte superior da zona freática, que se conecta com a superfície por meio de fissuras inacessíveis pelas ressurgências, sumidouros, poços naturais ou cavernas;

2. zona de oscilação sazonal do lençol freático, caracterizada por riachos que secam em determinadas épocas do ano;

3. riachos permanentes em condutos abertos, não completamente preenchidos por água, como riachos no topo da zona freática e tributários na zona vadosa, situados nos níveis superiores da caverna e onde a circulação da água ocorre por gravidade.

Como as zonas de entrada de cavernas são regiões onde as variações ambientais são fortemente influenciadas pelo ambiente externo, fatores como luminosidade, temperatura e umidade também apresentam variações diárias e sazonais (Culver, 1982).

Segundo Prous et al. (2004), regiões próximas às entradas demonstram gradientes de modificações estruturais, biológicas e físicas, criando uma zona de transição entre os sistemas epígeos e hipógeos. Dessa forma, a entrada de uma caverna pode ser considerada um ecótono. Essa região localiza-se em uma zona diferenciada pelo equilíbrio entre a disponibilidade de recursos (característica epígea) e pela estabilidade ambiental (característica hipógea). Tal fato indica que a zona de entrada pode funcionar como um filtro entre dois ambientes adjacentes, permitindo que somente organismos pré-adaptados possam atravessar e colonizar as cavernas.

## **A fauna cavernícola**

Múltiplos critérios têm sido utilizados para a classificação dos organismos cavernícolas em função de suas características peculiares. Desde a primeira classificação, atribuída a Dane Schödte, em 1849, inúmeras propostas e redefinições de termos foram feitas na tentativa de enquadrar a fauna cavernícola em categorias corretas (Camacho, 1992). Uma das classificações mais utilizadas é a do sistema Schinner-Racovitza (modificado em Holsinger & Culver, 1988), no qual as espécies cavernícolas podem ser enquadradas em três grupos:

**1. os troglóxenos** são os regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que, obrigatoriamente, devem sair das cavernas para completar seu ciclo de vida. Ocorrem, em geral, nas porções mais próximas às entradas, mas suas populações podem, eventualmente, também ocorrer em porções mais interiores. Muitos desses organismos são responsáveis pela importação de recursos alimentares provenientes do meio epígeo em cavernas, especialmente nas que são permanentemente secas;

**2. os troglófilos** são os organismos capazes de completar todo o seu ciclo de vida no meio hipógeo e ou epígeo. No meio epígeo, tanto os troglóxenos quanto os troglófilos, geralmente, ocorrem em ambientes úmidos e sombreados. Certas espécies podem, ainda, ser troglófilas sob certas circunstâncias e troglóxenas em outras (por exemplo, em cavernas que apresentam baixa disponibilidade de alimento);

**3. os troglóbios** restringem-se ao ambiente cavernícola e podem apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e no comportamento que, provavelmente, evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Frequentemente, nesses organismos, observa-se uma tendência à

redução da taxa metabólica basal, das estruturas oculares, da pigmentação e ao alongamento de apêndices, especialmente aqueles de função sensorial.

Já outra classificação, menos utilizada, agrupa os organismos cavernícolas aquáticos em também três categorias baseadas no sistema Schinner-Racovitza (Gilbert et al., 1994):

**1. os estigóxenos** são organismos aquáticos cavernícolas que não têm afinidade alguma ao ambiente subterrâneo, mas que ocorrem acidentalmente em sedimentos aluviais nas cavernas. Estes influenciam os processos de aporte e consumo de matéria em águas subterrâneas como presas e/ou predadores;

**2. os estigófilos** em comparação com os anteriores apresentam uma maior afinidade ao ambiente cavernícola, principalmente porque exploram ativamente os recursos alimentares e buscam proteção contra condições adversas resultantes de fatores estocásticos externos;

**3. os estigobiontes** são especializados e restritos ao interior dos ambientes subterrâneos. Têm distribuições amplas e suas especializações, provavelmente, evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Nesses organismos, as estruturas oculares e a pigmentação são reduzidas ou ausentes e as estruturas sensoriais são mais desenvolvidas do que em afins epígeos.

É imprescindível que a inclusão de uma espécie em quaisquer categorias necessite de uma avaliação aprofundada da história natural do organismo estudado. No entanto, a classificação mais complexa e a que mais sofreu modificações é a que tenta separar os animais que entram casualmente nas cavernas dos que entram voluntariamente nesse ambiente (comumente chamados de “verdadeiros cavernícolas”). Aqui, de forma a facilitar a compreensão dos termos, foi acrescentada uma categoria que, na maioria das vezes, é excluída dos estudos de fauna cavernícola: os organismos acidentais. Vale ressaltar que, neste

trabalho, serão utilizados os termos acidentais, troglóxenos, troglófilos e troglóbios, para os indivíduos aquáticos alvo do presente estudo.

As espécies “acidentais”, diferentemente dos troglóxenos, compreendem indivíduos epígeos que penetram (acidentalmente ou não) no ambiente cavernícola, mas não apresentam nenhuma pré-adaptação que proporcione a sua sobrevivência dentro das cavernas. Essas espécies, embora não sejam “verdadeiros cavernícolas”, são importantes em muitos sistemas hipógeos, principalmente naqueles em que a entrada de alimento é restrita, já que as fezes e, principalmente, os cadáveres desses animais são importantes fontes de recursos alimentares, tanto para as comunidades aquáticas quanto para as terrestres.

Da mesma maneira que foram propostos sistemas de classificação para os organismos subterrâneos, também se procurou enquadrar as comunidades cavernícolas com base na área de ocupação e na mobilidade das espécies que as compõem. Tal fato leva em consideração que a distribuição dos indivíduos no meio hipógeo pode ser influenciada por numerosos fatores, nos quais a disponibilidade de recursos alimentares é de fundamental importância (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).

Segundo os trabalhos de Ferreira & Martins (2001) e Prous et al. (2004), as comunidades terrestres também podem ser categorizadas de acordo com a sua distribuição no ambiente cavernícola:

**1. comunidades para-epígeas:** compostas por espécies que vivem na zona de ecótono junto à entrada da caverna. É freqüente nessas comunidades a presença de organismos “tipicamente” epígeos que, no entanto, habitam o compartimento hipógeo da região do ecótono;

**2. comunidades recurso-espaço-dependentes:** apresentam espécies, em geral, reduzidas, que estabelecem suas populações de forma mais restrita ao espaço onde se encontra o recurso alimentar. Geralmente, incluem organismos de mobilidade limitada, incapazes de percorrer periodicamente grandes extensões em busca de alimento;

**3. comunidades recurso-espaço-independentes:** constituídas por espécies que são atraídas por depósitos orgânicos, mas que não se limitam à área onde o recurso ocorre. Estas comunidades são constituídas, geralmente, por organismos maiores (maioria dos invertebrados cavernícolas), que são capazes de se deslocar por grandes espaços em busca de recursos alimentares.

Além disso, no meio aquático, os ambientes intersticiais formados por redes de espaços contínuos em depósitos relativamente profundos de sedimentos (como os encontrados em margens de rios e lagos) podem abrigar uma rica fauna subterrânea (Trajano & Bichuette, 2006). Essas comunidades são condicionadas a inúmeros fatores, tais como tamanho dos grânulos no sedimento que influenciam diretamente no volume dos espaços intersticiais e na velocidade do fluxo da água. Nesses locais há pouca ou nula incidência de luz, indicando que essas comunidades apresentam uma série de características típicas de ambientes com ausência de luz (Camacho, 1992). Organismos intersticiais subterrâneos podem ser altamente especializados, habitando sistemas nos quais existam ou não cavernas (Trajano & Bichuette, 2006).

Dessa forma, percebe-se que as comunidades cavernícolas são compostas por espécies com diferentes histórias evolutivas neste ambiente. Tais espécies podem possuir um amplo “leque” de interações (entre si e com o ambiente cavernícola) que possibilitam que estas comunidades se mantenham no sistema cavernícola “indefinidamente”, desde que condições ambientais e processos, como importação de nutrientes, sejam mantidos. Essas interações definem assim o grau de estruturação de uma comunidade cavernícola, sendo as

comunidades mais estruturadas, aquelas com interações bem estabelecidas entre espécies e destas com o ambiente cavernícola. Dessa forma, o grau de estruturação de uma comunidade cavernícola não depende somente do número de espécies que a compõem, mas também da força das interações entre organismos e ambiente, que podem promover a coexistência, a longo prazo, de muitas espécies (Ferreira, 2004).

### **O aporte de alimento para o interior das cavernas**

A ausência permanente de luz solar exclui a possibilidade da ocorrência de produtores fotossintetizantes em locais profundos do meio cavernícola. Dessa forma, a base da produção primária em algumas cavernas é realizada por meio de organismos quimioautotróficos, principalmente bactérias que utilizam ferro ou enxofre (Sarbu et al., 1996; Culver, 1982). Porém, a maior parte da produção nos ecossistemas cavernícolas é de origem secundária e o alimento aportado à caverna é de origem alóctone. Esse fato faz com que a teia alimentar hipógea seja fundamentada em detritos, havendo o predomínio de organismos decompositores nos sistemas hipógeos (Simon, 2000; Souza-Silva, 2003).

Fezes ou cadáveres de animais que transitam nas cavernas com certa regularidade ou dos que entram ali casualmente, assim como a presença de raízes vegetais, podem ser também importantes fontes de recursos alimentares, tanto para as comunidades terrestres quanto para as aquáticas. O tipo e a qualidade de recurso e a forma de disseminação no sistema são determinantes da composição e da abundância da fauna (Ferreira, 2004). Além disso, os recursos alimentares alóctones mantêm populações de organismos de todos os níveis tróficos presentes nas cavernas (Ferreira & Martins, 1999; Trajano, 2000).

Assim, a matéria orgânica é importada para as cavidades por agentes biológicos ou por agentes físicos, de modo contínuo ou intermitente. O alimento também pode penetrar nas cavernas através da água de percolação, das aberturas



verticais nos tetos e das paredes ou em “pulsos”, carregado por rios ou riachos (Gilbert et al. 1994). Essa movimentação de nutrientes e detritos do meio epígeo para o meio hipógeo é freqüente; em alguns casos, 100% da matéria orgânica é importada (Culver, 1982, Howarth 1983).

Nos riachos epígeos e subterrâneos, os recursos orgânicos transportados são, usualmente, categorizados de acordo com o tamanho das partículas: matéria orgânica particulada grossa (*coarse particulate organic matter* (CPOM)>1mm), fina (*fine particulate organic matter* (FPOM), de 1mm até 5 $\mu$ m) e dissolvida (*dissolved organic matter* (DOM)<5 $\mu$ m) (Allan, 1995; Simon, 2000).

No meio externo, esses detritos podem ser usados como alimento por inúmeros invertebrados aquáticos (Minshall, 1967; Allan, 1995; Galas et al., 1996). O aporte destes para rios e pequenos riachos é feito, principalmente, pela vegetação das margens, de acordo com sua estrutura e estado de conservação (Allan, 1995). Após cair nos rios, a água transporta estes detritos em direção às cavernas. Tais detritos, geralmente compostos por troncos, galhos, folhas, bactérias e animais epígeos (zooplâncton e artrópodes aquáticos), acessam este ambiente por meio de sumidouros. No meio hipógeo, fragmentos vegetais são depositados ao longo dos cursos d'água, constituindo depósitos de matéria orgânica (Barr, 1967; Simon, 2000; Ferreira & Horta, 2001). Estes depósitos são lentamente decompostos por bactérias, fungos e demais invertebrados detritívoros (Galas et al., 1996; Simon 2000).

O biorrevolvimento da superfície do sedimento e a fragmentação do detrito proveniente da vegetação ripária são exemplos de processos realizados por organismos pertencentes às comunidades aquáticas, que resultam na liberação de nutrientes na água (Cummins et al., 1989; Devái, 1990). Assim, estas comunidades caracterizam-se como importantes componentes do sedimento de rios e lagos, sendo fundamentais para a dinâmica de nutrientes, a transformação de matéria e o fluxo de energia (Callisto & Esteves, 1995). Tal

fato pode ser aplicado tanto para as comunidades epígeas quanto para as hipógeas. Dessa forma, todos os processos ocorridos no meio externo influenciam diretamente o ecossistema subterrâneo.

### **Dinâmica trófica em sistemas subterrâneos**

As cavernas são comumente caracterizadas como ambientes com elevada tendência ao oligotrofismo, já que, geralmente, as vias de importação de recursos alimentares não são eficientes o bastante para o transporte de grandes quantidades de alimento (Culver, 1982). Desse modo, a baixa quantidade dos recursos importados às cavernas se torna um fator limitante ao estabelecimento de numerosas espécies nos ecossistemas subterrâneos. Mesmo as espécies que conseguem ultrapassar as barreiras seletivas destes ambientes, tal como a ausência permanente de luz, são impedidas de atingir grandes populações devido à relativa escassez de recursos alimentares (Ferreira, 2004).

Vários estudos em cavernas indicam a tendência de haver um menor número de espécies explorando os recursos alimentares, geralmente limitadas a teias tróficas mais simplificadas. Considera-se, então, que as comunidades de invertebrados cavernícolas são menos complexas quando comparada às comunidades epígeas (Culver, 1982; Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Trajano, 2000).

Porém, estudos relacionados à caracterização dos processos biológicos de produção, transferência e processamentos de nutrientes em sistemas cavernícolas são pouco freqüentes. Esses estudos são fundamentais para a compreensão da dinâmica trófica desses ambientes que, por sua vez, determina diretamente a estruturação das comunidades subterrâneas. As informações geradas por meio desses estudos fornecem importantes subsídios para a conservação da fauna cavernícola.

Apesar de a produção autóctone fotossintetizante não ser um processo comum na maioria das cavernas, a quimioautotrofia pode ocorrer em muitos dos ambientes subterrâneos. A caverna Mavile Cave, situada na Romênia, destaca-se por ser o único caso (comprovado até o momento) de uma caverna em que a quimioautotrofia é responsável pela manutenção de toda a comunidade de invertebrados presente. Várias investigações na superfície da região onde está localizada a caverna excluem a possibilidade de aporte de matéria orgânica de origem fotossintética por fluxos d'água epígeos. Mesmo sendo um ecossistema subterrâneo exclusivo que está inserido em uma paisagem com águas termominerais sulfurosas, também é descartada a probabilidade de infiltração de água por percolação através das fissuras das rochas. Tal fato demonstra que a caverna está isolada em um ambiente totalmente fechado (Camacho, 1992).

Ainda assim, Mavile Cave é caracterizada por suportar uma elevada densidade de espécies, tanto aquáticas como terrestres e alta biomassa. Além disso, a caverna apresenta grande quantidade de organismos troglóbios, indicando a longa história de isolamento destas espécies. Porém, essas espécies se destacam pelo fato de não apresentarem redução na taxa metabólica, condição bastante recorrente em organismos troglóbios (Camacho, 1992; Sarbu, 1996).

Dessa forma, a produção primária que sustenta essa comunidade é realizada por meio da microbiota que cobre as superfícies da água e das rochas calcárias. Esse biofilme microbiano utiliza o sulfeto de hidrogênio como doador de elétrons no processo de quimiossíntese. O fluxo de energia é realizado por bactérias e fungos heterotróficos que se alimentam das bactérias autotróficas ou utilizam moléculas orgânicas excretadas por elas. A partir daí, ricas populações de flagelados, nematóides, oligoquetas, copépodos, anfipodos, colêmbolos, isópodes, aranhas e coleópteros, dentre outras, distribuem-se ao longo da cavidade, todas elas utilizando-se, de forma indireta, do recurso primariamente produzido pelas bactérias. Desencadeia-se, dessa forma, uma teia alimentar

atípica em ambientes cavernícolas, envolvendo consumidores, predadores e detritívoros, todos baseados em produtividade primária proveniente de quimiossíntese (Camacho, 1992; Sarbu et al., 1996). A produção primária totalmente baseada em organismos quimioautotróficos é, entretanto, rara e não pode ser caracterizada como modelo trófico geral para cavernas convencionais.

Simon (2000) analisou a dinâmica da matéria orgânica e a estrutura trófica em águas de ecossistemas subterrâneos cársticos em Dorvan-Cleyzieu, França. O estudo demonstrou a influência de padrões temporais de fluxos de inundação no aporte e na distribuição espacial da matéria orgânica e também na distribuição do biofilme em um aquífero. As bactérias (heterotróficas) aparecem como importante fonte energética para os níveis tróficos seguintes. Além disso, os fatores que regulam suas atividades controlam também a teia alimentar, determinando a disponibilidade de energia. A alternância temporal de enchentes e seca no aquífero tem um importante papel na aeração do biofilme, na renovação de carbono e de oxigênio e no suprimento de nutrientes para o meio hipógeo.

No mesmo estudo, Simon (2000) investigou os processos de decomposição de folhas e de gravetos e o papel de várias fontes de matéria orgânica na dinâmica trófica no riacho que percorre a Organ Cave, EUA. A matéria orgânica grossa (CPOM) se torna uma fonte alternativa de energia, além da dissolvida (DOM) em cavernas com grandes entradas. A caverna é eficiente em reter CPOM e a perda de massa de folhas é mais rápida que a de gravetos, que representam, então, uma fonte mais estável de carbono. Assim, FPOM e DOM tornam-se importantes fontes de alimento em locais mais distantes dos pontos de entrada, onde o transporte de CPOM é pouco provável. Conseqüentemente, a cadeia trófica cavernícola pode ser estruturada pela presença de raspadores de biofilme, coletores, fragmentadores e predadores (Simon, 2000).

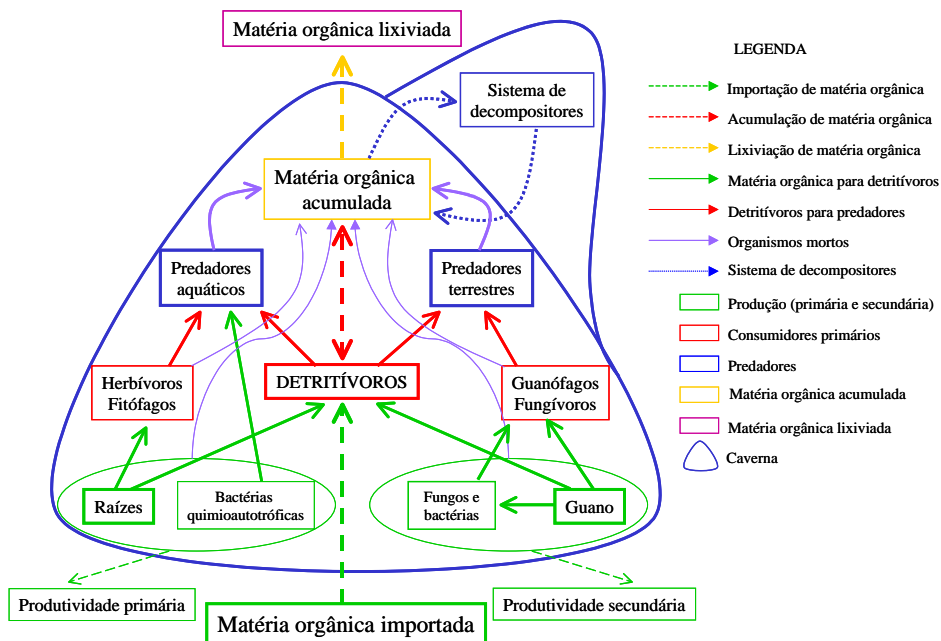
Graening (2000) conduziu um estudo de dinâmica trófica em uma caverna de litologia calcária denominada Springs Cave, EUA. Essa caverna destaca-se por ter suas características prístinas alteradas pela poluição por nutrientes, metais pesados e coliformes. Mesmo assim, a quantificação do aporte de energia no riacho subterrâneo caracterizou-o como um sistema oligotrófico, no qual a matéria orgânica dissolvida (DOM) é fonte de recurso dominante. Acredita-se que a drástica redução da população de morcegos ao longo dos anos tenha diminuído o aporte de guano, reduzindo a sua contribuição potencial para a dinâmica trófica do ambiente.

A retenção de nutrientes em Springs Cave é baixa, indicando que muito da matéria orgânica aportada à cavidade é exportada sem ser utilizada. A densidade microbiana é significativamente mais alta durante fluxos de inundação e seu crescimento não é vinculado ao tipo de recurso, mas sim à quantidade que é importada para a caverna. Além disso, a comunidade microbiana é limitada à presença de recurso, indicando que a adição de nutrientes dentro do ecossistema cavernícola poderia provocar aumento na atividade microbiana e de biomassa (Graening, 2000).

No Brasil, o primeiro trabalho enfocando a disponibilidade e o processamento de recursos alimentares em um ambiente subterrâneo foi realizado por Souza-Silva (2003). A dinâmica trófica cavernícola foi avaliada nos meios aquáticos e terrestres da Lapa do Córrego dos Porcos, Damianópolis, Goiás. Foram quantificados a disponibilidade e o consumo de recursos alimentares e analisada a estrutura da mesofauna, além da caracterização dos agentes e das vias de produção de matéria orgânica. No ambiente terrestre, a principal influência na composição, na distribuição e na abundância de invertebrados é determinada pelo guano de morcegos. O produto secundário é um recurso alimentar efêmero, dependente de uma constante produção para a manutenção das comunidades terrestres.

No ambiente aquático da Lapa do Córrego dos Porcos, verificou-se que os detritos penetram em maior quantidade na estação chuvosa do ano. Entretanto, esse maior aporte é acompanhado também por um processo de lixiviação mais intenso. Os fluxos de inundação dificultam a retenção e o processamento de recursos alimentares no riacho. Portanto, os detritos vegetais acumulam do sedimento e são colonizados pela fauna, principalmente nas estações secas. Como fonte energética adicional, a presença de raízes submersas proporciona uma fonte diversa de recursos e micro-habitats, suprimindo a depleção causada pela ação lixiviadora dos fluxos de inundação (Souza-Silva, 2003).

A partir das informações básicas a respeito da dinâmica trófica cavernícola, o fluxo energético desses ecossistemas pode ser generalizado em determinadas estruturas e processos relativamente simples, principalmente



quando comparados a sistemas epígeos (Figura 1).

FIGURA 1 Diagrama representando principais estruturas e processos tróficos em uma caverna (Ferreira, 2004).

Isso sugere que cavernas aparecem como excelentes modelos para o estudo de processamento de detritos, também em ecossistemas externos. Dessa forma, baseando-se nos estudos já realizados, as hipóteses gerais do presente trabalho são as seguintes:

1. Existem diferenças na composição da comunidade de invertebrados aquáticos entre o gradiente epígeo/hipógeo de um riacho
2. A principal pressão seletiva que atua sobre as comunidades aquáticas cavernícolas é a escassez de recursos alimentares

### 3 ÁREA DE ESTUDO

A região sul do estado de Minas Gerais, em especial os municípios de Luminárias, São Thomé das Letras e Carrancas, destacam-se pela localização em uma área de litologia quartzítica com potencial bioespeleológico ainda pouco estudado. Atualmente, estão cadastradas no banco de dados da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), no total, 18 cavernas da região, sendo nove no município de Luminárias, duas em São Thomé e sete em Carrancas (SBE, 2008).

As intensas atividades antrópicas, principalmente relacionadas à exploração mineral do quartzito, têm gerado grandes alterações nos ecossistemas da área. Tal região foi apontada, na última versão do Atlas das Áreas Prioritárias para a Conservação no Estado de Minas Gerais, como área de **Importância Biológica Potencial** para invertebrados (Figura 1) (Machado & Ferreira, 2005). É válido ainda mencionar que a inclusão de áreas prioritárias para a conservação de invertebrados do estado de Minas Gerais considerou, como critério de relevância, a riqueza e a composição de invertebrados cavernícolas, alvos do presente estudo. Tal Atlas (de validade normativa) gerou cinco modalidades de locais prioritários para a conservação, a saber:

- a) **Importância Biológica Especial:** áreas com ocorrência de espécie(s) restrita(s) à área e/ou ambiente(s) único(s) no estado;
- b) **Importância Biológica Extrema:** áreas com alta riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas ou raras no Estado e ou fenômeno biológico especial;
- c) **Importância Biológica Muito Alta:** áreas com média riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas ou raras no estado e ou que representem extensos remanescentes significativos, altamente ameaçados ou com alto grau de conservação;
- d) **Importância Biológica Alta:** áreas com alta riqueza de espécies em geral, presença de espécies raras ou ameaçadas no estado e ou que represente remanescente de vegetação significativo ou com alto grau de conectividade;
- e) **Importância Biológica Potencial:** áreas insuficientemente conhecidas, mas com provável importância biológica, sendo, portanto, prioritárias para a investigação científica.

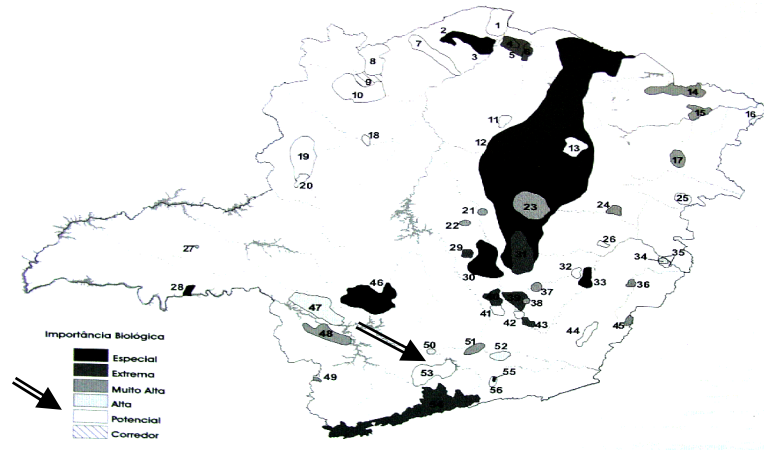


FIGURA 1 Mapa indicando as áreas prioritárias para a conservação de invertebrados, no estado de Minas Gerais. A região 53, apontada como Área de Importância Biológica Potencial, inclui os municípios de Luminárias, São Thomé das Letras e Carrancas.



Foram destacados, como principais fatores de ameaça aos invertebrados cavernícolas, as atividades de mineração, o desmatamento do entorno das grutas, as atividades agropecuárias e o turismo não orientado. Infelizmente, como inexistem dados publicados acerca da biologia das cavernas da região, é impossível avaliar a extensão dessas modificações sobre as comunidades cavernícolas. Torna-se clara, então, a urgência de obter dados biológicos que permitam a contextualização adequada da fauna subterrânea da área.

Atualmente, o município de Luminárias aparece em evidência, no Sul de Minas, pela recém-descoberta potencialidade turística, principalmente relacionada ao espeleoturismo. A cidade, com cerca de 5.630 habitantes, é rodeada por montanhas, escarpas, chapadas, cachoeiras e cavernas. A economia local baseia-se na produção leiteira e cafeeira e na intensa extração mineral, no caso, pedras para pisos e revestimentos, conhecida popularmente como Pedra de Luminárias. O município, posicionado geograficamente nas coordenadas 21 29'S e 44 55'W, está distante 38 km de Lavras (Figura 2) e localiza-se a 943m de altitude, com extensão territorial de 462 km<sup>2</sup>. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, com verão úmido e inverno seco, com temperaturas médias anuais de 19,61°C e precipitação média anual de 1.529,7mm (Prefeitura Municipal de Luminárias, 2005). A vegetação local abrange tipos fisionômicos enquadrados em Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (mata ciliar) e Montana (mata de encosta), Cerrado, Campo de Altitude e Campo Rupestre (campo limpo e campo sujo) (Oliveira-Filho & Fluminhan-Filho, 1999).

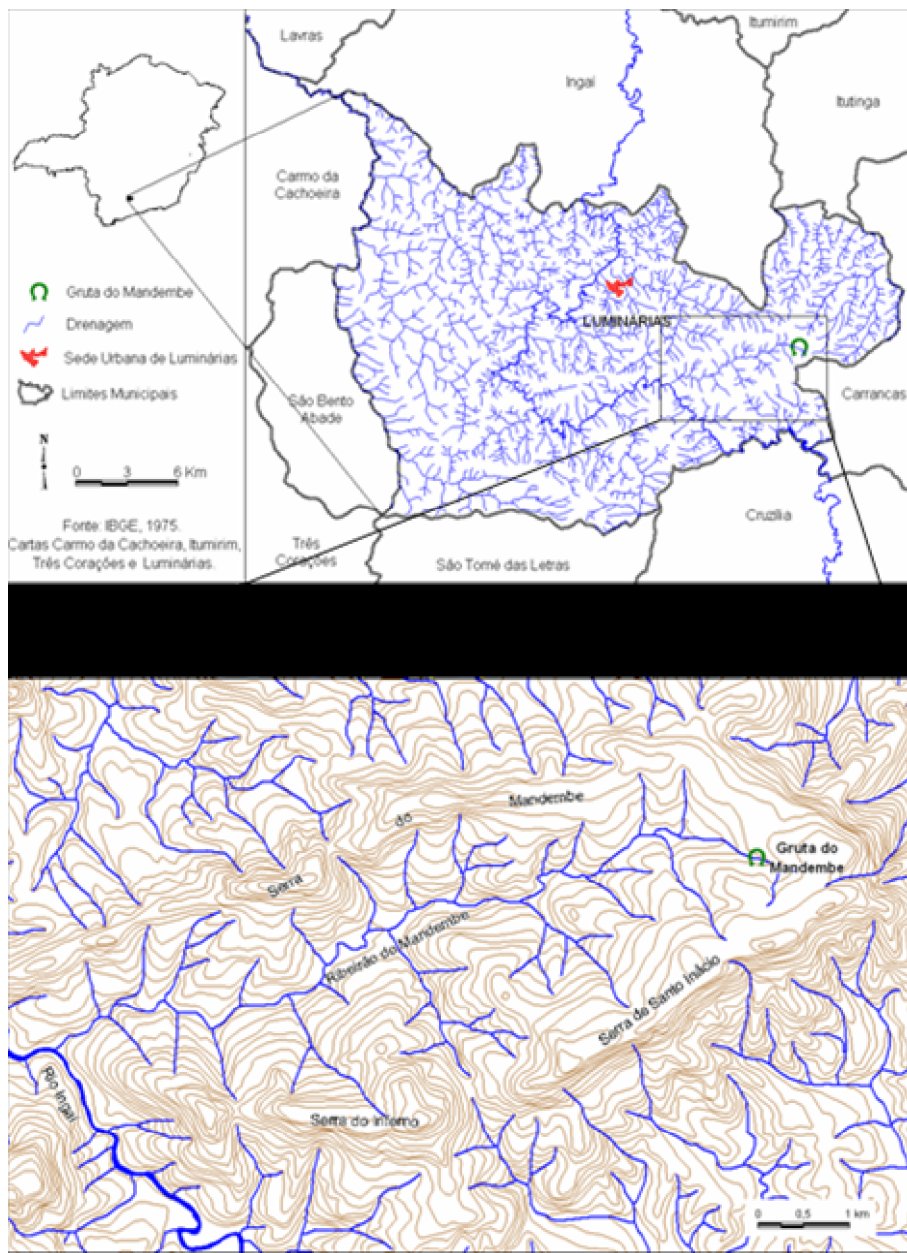


FIGURA 2 Mapa da região sul do estado de Minas Gerais, evidenciando a drenagem do município de Luminárias. Em destaque, mapa topográfico local, onde a sub-bacia do rio Ingaí é moldurada pela serra do Mandembe e de Santo Inácio. Em destaque também o ribeirão do Mandembe, afluente do rio Ingaí, que percorre toda a extensão da gruta do Mandembe.

### **Gruta do Mandembe**

O trabalho foi realizado em uma caverna localizada no Vale do Mandembe, à altitude de 1.292 metros. Tal caverna situa-se a  $21^{\circ}32'38,1''$  de latitude Sul e  $44^{\circ}47'57,3''$  de longitude Oeste (Figura 3). A gruta do Mandembe está inserida em um sistema quartzítico que compreende as serras do Mandembe e de Santo Inácio (conhecida popularmente como serra Grande).

A caverna apresenta projeção horizontal de 244 metros e desnível de 18 metros, sendo o conduto principal atravessado em toda a sua extensão pelo ribeirão do Mandembe. Além disso, existe um conduto secundário que apresenta algumas partes com teto baixo, percorrido por um tributário que se conecta ao conduto principal da caverna. Este tributário recebe águas provenientes de infiltração via solo e posteriormente a rocha, estando claramente associado a um sistema epicárstico. Tanto os trechos de riachos epígeos quanto o trecho de riacho hipógeo apresentam áreas de remanso e corredeiras e o substrato é composto basicamente por folhiço de fundo, seixos de areia e laje de pedra. A vegetação do entorno é predominantemente de mata de galeria, constituída por espécies mais desenvolvidas e frondosas que acompanham os trechos a montante e a jusante da caverna.

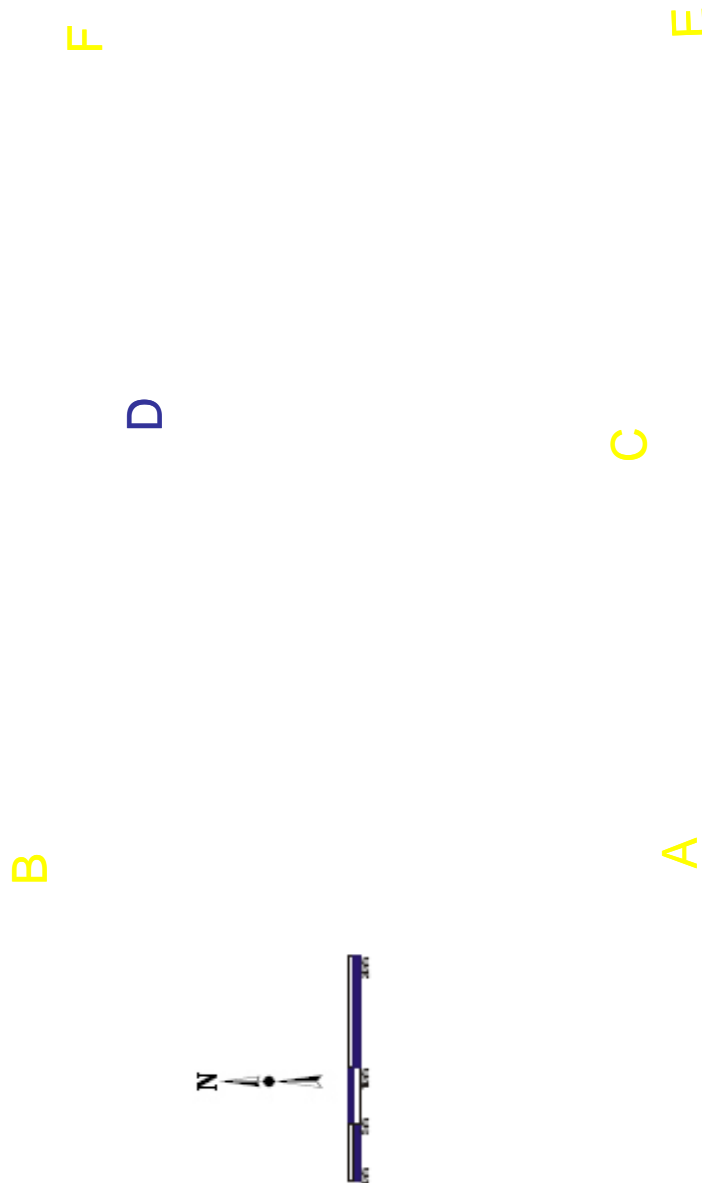


FIGURA 3 Detalhes da gruta do Mandembe, Luminárias, MG: (A) vegetação do entorno da área a montante da gruta; (B) vista do interior da gruta para o meio epígeo; (C) drenagem tributária; (D) e (E) vista do interior do ambiente subterrâneo; (F) vegetação do entorno da área a jusante da gruta.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J. D. **Stream ecology**: structure and function of running waters. Michigan: Kluwer Academic, 1995. 388 p.

AULER, A. Relevância de cavidades naturais subterrâneas - contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Projeto BRA/01/039**. Brasília, 2006. 166p. (Apoio à Reestruturação do Setor Energético. Relatório N° 1).

AULER, A. E.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 228 p.

AULER, A.; ZOGBI, L. **Espeleologia**: noções básicas. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005. 104 p.

BARR, T. C. Observations on the ecology of caves. **American Naturalist**, Chicago, n. 992, v.101, p. 474-489, 1967.

BARR, T.C.; KUENHE, R. A. Ecological studies in the mammoth Cave ecosystems of Kentucky. II. The Ecosystem. **Annales de Speleologie**, Paris, v. 26. p. 47-96, 1971.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita, Lago Batata (Pará, Brasil). *Oecologia Brasiliensis*. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 1995. v. 1, p. 281-291.

CAMACHO, A. I. (Ed.). **The natural history of biospeleology**. Madrid: SCIC, 1992. 680 p. (Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales).

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

CUMMINS, K.W.; WILZBACH, M.A.; GATES, D.M.; PERRY, J.B.; TALIAFERRO, W.B. Shredders and riparian vegetation. **Bioscience**. Washington, v. 39, n. 1, p. 24-30, 1989.

DEVÁI, G. Ecological background and importance of the change of chironomid fauna in shallow Lake Balaton. **Hidrobiologia**, v. 1991, p.189-198, 1990.

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

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

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. 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, 1998.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, v. 12, n. 2, p.231-259, 1999.

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

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, 1997.

GALAS, J.; BEDNARZ, T.; DUMNICKA, E.; STARZECKA, A.; WOJTAN, K. Litter decomposition in a mountain cave water. **Archive Hydrobiology**, v. 138, n. 2, p. 199-211, 1996.

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

GILLIESON, D. **Caves: processes, development and management**. Cambridge: Blackwell, 1996. 324 p.

GUANO SPELEO. **Curso de Introdução à espeleologia**. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2004. 47p. Apostila.

- GRAENING , G. O. **Ecosystem dynamics of an ozark cave**. 2000. 99 p. (Ph.D.) - University of Arkansas, Arkansas.
- HOLSINGER, R.; CULVER, D. C. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology. **Brimleyana**, v. 14, p. 1-162, 1988.
- HOWARTH, F.G. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 28, p. 365-389, 1983.
- JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; MCCOMB, A. J. Root mats in ground water: a fauna-rich cave habitat. **Journal of North American Benthological Society**, Glenview, v. 15, n. 4, p. 508-519, 1996.
- KOHLER, H. C. Geomorfologia Carstica. In: TEIXEIRA, A. J. G.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001. p. 309-334.
- MACHADO, S.F.; FERREIRA, R.L. **Invertebrados**. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 94 p.
- MINSHALL, G. W. Role of allochthonous detritus in the trophic structure of the Woodland springbrook community. **Ecology**, Washington, v. 48, n. 1, p. 139-149, 1967.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN-FILHO, M. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Cerne**, v. 5, n. 2, p.051-064, 1999.
- PALMER, A. N. Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**, Boulder, v. 103, n. 1, p. 1-21, 1991.
- PILÓ, L. B. Ambientes cársticos de Minas Gerais: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 3, n. 11, p. 50 – 58, 1999.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Washington, v. 165, p. 971-981, 1969.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE LUMINÁRIAS-MG. **Luminárias: 54 anos de emancipação política**. Luminárias, MG, 2005.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Delimitation of epigean-hypogean ecotone zone in two limestone caves in southeastern Brazil. **Austral Ecology**, v. 29, p. 374-382, 2004.

SANCHEZ, L. E. O sistema, unidade lógica de referência dos estudos espeleológicos. **Espeleotema**, Campinas, v. 16, p. 3-14, 1992.

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

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro**. Disponível em: <<http://www.sbe.com.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2008.

SOUZA-SILVA, M. S. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia. Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SIMON K. S. **Organic matter and trophic structure in karst groundwater**. 2000. 91 p. (Ph.D.) Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.

TRAJANO, E. Cave faunas in the atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea**: introdução. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2006. v. 1. p 92.



## **CAPÍTULO I**

# **CARACTERIZAÇÃO ECOLÓGICA E COMPARAÇÃO ENTRE AS COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS EPÍGEAS E HIPÓGEAS NO RIBEIRÃO DO MANDEMBE**

## RESUMO

SILVA, Ana Paula Bueno. Caracterização ecológica e comparação entre as comunidades de invertebrados epígeas e hipógeas no Ribeirão do Mandembe. In: \_\_\_\_\_. **Enriquecimento trófico em ambientes subterrâneos e suas aplicações para a conservação da biodiversidade de invertebrados aquáticos**. 2008. Cap 2. p. 31-80. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

Buscou-se analisar um trecho de 300 metros do ribeirão do Mandembe, em Luminárias, MG, compreendendo áreas epígeas e subterrâneas. Os trechos amostrados foram divididos em quatro compartimentos: montante, caverna, jusante e epicarste. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos da água, tais como temperatura, saturação de oxigênio, velocidade da correnteza, pH e condutividade elétrica do gradiente epígeo/hipógeo, incluindo ou não o compartimento epicárstico. Analisou-se também a estruturação da fauna de invertebrados aquáticos presente entre os distintos ambientes. Verificou-se que as variáveis ambientais apresentaram-se de forma diferenciada entre trechos epígeos e subterrâneos. Foi possível observar também a influência entre valores de cada parâmetro por meio do gradiente amostral. Houve evidência de que uma área é progressivamente determinante nos padrões encontrados no ambiente seguinte. Constatou-se que a drenagem tributária tem importante influência na determinação das condições encontradas no conduto principal da caverna. A composição de espécies na comunidade em estudo também se apresentou distinta entre as quatro ambientes amostradas, apesar da predominância de algumas espécies, tais como Chironominae sp2, larvas de Ephemeroptera sp1 e sp2 e Oligochaeta. Tais espécies destacaram-se por serem importantes componentes do sistema lótico como um todo. O trecho a montante da caverna apresentou os maiores valores de riqueza, abundância absoluta, diversidade e equitabilidade. Verificou-se que a maioria das espécies é sensível às fortes pressões ambientais cavernícolas, tais como ausência de luz e menor disponibilidade de recurso alimentar. Concluiu-se que o segmento hipógeo apresenta-se como um “filtro” sobre o contínuo espacial do riacho, sendo o conduto principal da caverna determinado como uma zona de ecótono. Porém, foi verificada a rápida recuperação na estruturação da comunidade de invertebrados aquáticos após a ressurgência. Este estudo pretendeu fornecer informações biológicas básicas ainda inexistentes na área estudada e descrever características ecológicas referentes à comunidade de invertebrados aquáticos cavernícolas.

## ABSTRACT

SILVA, Ana Paula Bueno. Ecological characterization and comparison between epigeal and hypogean communities present in Mandembe Stream. In: \_\_\_\_\_. **Trophic enrichment in underground environments and its applications in the biodiversity conservation of aquatic invertebrates**. 2008. Chapt.2, p. 31-80. Dissertation (Master Program in Applied Ecology) – Federal University of Lavras, Lavras, MG\*.

The aim of the present study was to analyze a stretch (300 meters) of Mandembe Stream (Ribeirão do Mandembe), located in Luminárias, MG. Epigeal and underground areas were analyzed. The sampling areas were divided into 4 compartments: upstream, cave, downstream and epikarst. Physical-chemical characteristics (temperature, oxygen saturation, velocity of water flow, pH and electrical conductivity) of epigeal/hypogean gradient were analyzed. Although these characteristics were analyzed in all sampling areas, the epikarst area was excluded from some analysis for a better understanding of the functioning of the hypogean environment. Fauna structure of aquatic invertebrates, present in different environments, was also analyzed. It was possible to observe that the environmental variables were different in epigeal and hypogean areas, and that these variables may influence one another through the gradient. There was evidence of progressive influence by an area on the patterns presented by the following areas. The tributary drain has an important influence on the conditions presented by the cave's main conduit. The composition of species, in the studied community, also differed among the four environments sampled, although some species (Chironominae sp2, Ephemeroptera sp1, Ephemeroptera sp2 and Oligochaeta) were predominant. Such species are important components of lotic systems in general. The upstream stretch of the cave presented the highest values of richness, absolute abundance, diversity and equitability. It was possible to observe that most of the species are susceptible to strong environmental pressures in caves (absence of light and lack of food resource). It is possible to conclude that the hypogean segment present a "filter" on the spatial continuum of the stream. The main conduit of the cave is considered to be an ecotone zone. A fast recovering of the community structure of aquatic invertebrates beyond the upwelling was also observed. The main objectives of this study were to provide basic biological information, still

unknown for the studied area, and to describe ecological characteristics related to the community of aquatic invertebrates in caves.

---

\*Guidance Committee: Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (Major Professor ),  
Dayse Lucy Resende – UFLA e Maria Elina Bichuette - UFSCar

## 1 INTRODUÇÃO

Os invertebrados de água doce constituem um grupo diversificado de organismos que habitam tanto ambientes lênticos quanto lóticos (Merritt & Cummins, 1996). A composição das comunidades é diversa, com representantes de diferentes espécies em diferentes fases de desenvolvimento. Tais grupos, muitas vezes, interferem diretamente na estrutura trófica dos ecossistemas aquáticos, tendo em vista a capacidade de muitas espécies em converter matéria orgânica vegetal em detritos, servindo, assim, de ligação entre a cadeia dos produtores, detritos e consumidores (Minshall, 1967; Vannote et al., 1980; McCafferty, 1981; Allan, 1995; Esteves, 1998). Em cursos d'água continentais, o material alóctone (folhas, galhos e troncos) e os arranjos de rochas podem criar micro-habitats que suportam espécies de hábitos variados (Gordon, 1993; Richardson, 1991; Dobson & Hildrew, 1992).

Córregos com variada cobertura vegetal compreendem ecossistemas heterogêneos, nos quais a principal fonte de energia é a matéria orgânica alóctone proveniente da vegetação ripária (Minshall, 1967; Vannote et al., 1980; Wallace et al., 1997). O transporte dessa matéria orgânica para rios e pequenos riachos é feito de acordo com sua estrutura e estado de conservação. Com a entrada da matéria orgânica alóctone em riachos, inicia-se o processo de decomposição no qual incide, sobre os detritos, uma combinação de fatores físicos, químicos e biológicos que levam à redução de tamanho, transformação e incorporação na cadeia trófica (Allan, 1995; Petersen & Cummins, 1974; Webster & Benfield, 1986).

O biorrevolvimento da superfície do sedimento e a fragmentação do detrito proveniente da vegetação ripária são exemplos de processos sob os quais atuam as comunidades de invertebrados aquáticos. Tais processos resultam, conseqüentemente, na liberação de nutrientes na água (Devái, 1990; Cummins et

al., 1989). Além das relações tróficas, sabe-se que os invertebrados são sensíveis às variações físico-químicas do ambiente aquático, sendo algumas ordens freqüentemente utilizadas como bioindicadores de qualidade da água (Junqueira et al., 2000; Galdean et al., 2000; Buss et al., 2003).

Assim, a comunidade de invertebrados aquáticos se caracteriza como um importante componente do sedimento de rios e lagos, fundamental para a dinâmica de nutrientes, a transformação de matéria e o fluxo de energia (Callisto & Esteves, 1995). Esse fato pode ser aplicado tanto para as comunidades epígeas quanto as hipógeas, de forma que muitos processos ocorridos no meio externo influenciam diretamente o ecossistema subterrâneo (Simon, 2000; Graening, 2000; Souza-Silva, 2003).

Após cair nos riachos, os detritos são transportados pelas águas correntes em direção às cavernas. Esses detritos, compostos por troncos, galhos, folhas, bactérias e animais epígeos (zooplâncton e artrópodes aquáticos), acessam este ambiente através de sumidouros. No meio hipógeo, fragmentos vegetais são depositados ao longo dos cursos d'água, constituindo depósitos de matéria orgânica. Estes depósitos são lentamente decompostos por bactérias, fungos e demais invertebrados detritívoros (Galas et al., 1996; Barr, 1967; Simon, 2000; Graening, 2000). Os recursos podem ainda ser importados por agentes bióticos, como os morcegos, que depositam fezes ou restos alimentares muitas vezes sobre cursos d'água.

Porém, as vias de importação de alimento, geralmente, não são eficientes para o transporte de grandes quantidades de recursos. Dessa forma, as cavernas podem ser consideradas ambientes com elevada tendência ao oligotrofismo (Culver, 1982). A fauna de invertebrados cavernícolas é comumente caracterizada como menos complexa, quando comparada à fauna do meio epígeo, podendo haver menor número de espécies explorando os recursos,

geralmente limitadas a teias tróficas mais simplificadas (Culver, 1982; Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Trajano, 2000).

A baixa quantidade dos recursos importados para o interior das cavernas, por sua vez, restringe o estabelecimento de muitas espécies nos ecossistemas subterrâneos. Mesmo aquelas que conseguem se sobrepôr às barreiras seletivas desses ambientes (como ausência permanente de luz) são impedidas de atingir populações muito numerosas, devido à relativa escassez de recursos alimentares. Assim, as comunidades cavernícolas tendem a ser bem mais simples que as epígeas, que dispõem de uma base de recursos mais abundante e variada. Conseqüentemente, em cavernas, a riqueza e a diversidade das comunidades tendem a ser menores que as encontradas nas comunidades externas (Ferreira, 2004).

Assim, a compreensão da dinâmica das vias de produção e do fluxo da matéria em qualquer ecossistema é fundamental para a conservação de sua biodiversidade, uma vez que esses processos podem estar intensamente relacionados (Hooper et al., 2000). Entende-se que a elucidação de fatores que condicionam a presença de organismos em sistemas aquáticos, subterrâneos ou não, é fundamental para a determinação da composição dessas comunidades. O presente estudo pretendeu fornecer informações biológicas básicas ainda inexistentes na área estudada, bem como ampliar o conhecimento de processos ecológicos em ambientes aquáticos cavernícolas. Além disso, buscou-se também oferecer subsídios para a conservação da biodiversidade da caverna em estudo e de outras cavidades quartzíticas com características semelhantes.

Dessa forma, a partir das premissas previamente citadas, foram propostas as seguintes hipóteses: (1) as variáveis ambientais atuam de forma diferenciada entre trechos epígeos e subterrâneos e sobre as comunidades aquáticas e (2) o segmento hipógeo exerce importante interferência sobre o contínuo espacial do riacho e afeta diretamente a comunidade aquática.

## **2 OBJETIVOS**

Com o objetivo de compreender a distribuição da comunidade de invertebrados presentes em um trecho de um riacho com porções epígeas e hipógeas, foram formuladas as seguintes questões:

- 1) Existem variações entre as variáveis ambientais, tais como temperatura, saturação de oxigênio, pH, velocidade de correnteza e condutividade entre o gradiente epígeo/hipógeo do riacho?
- 2) As comunidades de invertebrados aquáticos são influenciadas por eventuais diferenças nas variáveis ambientais entre sistemas epígeos e hipógeos?
- 3) Existem diferenças na composição e na estrutura da comunidade de invertebrados aquáticos entre o gradiente epígeo/hipógeo do riacho?

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Local de estudo**

O trabalho foi realizado no riacho que percorre a gruta do Mandembe localizada no município de Luminárias (21°32'38,1''S e 44°47'57,3''W). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, com verão úmido e inverno seco, temperaturas médias anuais de 19,61°C e precipitação média anual de 1.529,7mm (Prefeitura Municipal de Luminárias, 2005). A caverna, de litologia quartzítica, apresenta projeção horizontal de 244 metros e desnível de 18 metros, sendo o conduto principal atravessado em toda a sua extensão pelo ribeirão do Mandembe. Além disso, existe um conduto secundário, que apresenta algumas partes com teto baixo, por onde passa um tributário que se comunica com o conduto principal da caverna. Este tributário recebe águas provenientes de infiltração via solo e, posteriormente, a rocha, estando associado



a um sistema epicárstico. Tanto os trechos de riachos epígeos quanto os trechos de riacho hipógeo apresentam áreas de remanso e corredeiras. O substrato de fundo é composto, basicamente, por folhiço, seixos de areia e laje de pedra. A vegetação do entorno é predominante de mata de galeria constituída por espécies mais desenvolvidas e frondosas que acompanham os trechos a montante e a jusante da caverna.

### **Procedimentos**

A coleta foi realizada em um trecho ribeirão do Mandembe, no mês de maio de 2006. Foram feitas marcações ao longo de um intervalo de 300 metros. Tais marcações se iniciaram a 100 metros a montante da entrada da caverna, continuaram por uma extensão de 100 metros no conduto principal da cavidade e finalizaram a 100 metros a jusante da saída (ressurgência) da caverna. A definição de trechos de 100 metros de extensão se baseou na extensão hipógea do riacho, que possui este comprimento. A distância entre cada ponto amostral correspondeu a 10 metros, totalizando, dessa forma, 30 pontos de coleta, conforme demonstrado na Figura 1. Além disso, foram amostrados 4 pontos também distanciados 10 metros um do outro ao longo de um trecho do tributário, denominado aqui de epicarste. O menor número amostral no tributário deveu-se à própria morfologia do conduto que impedia a passagem para a coleta em pontos mais distantes.

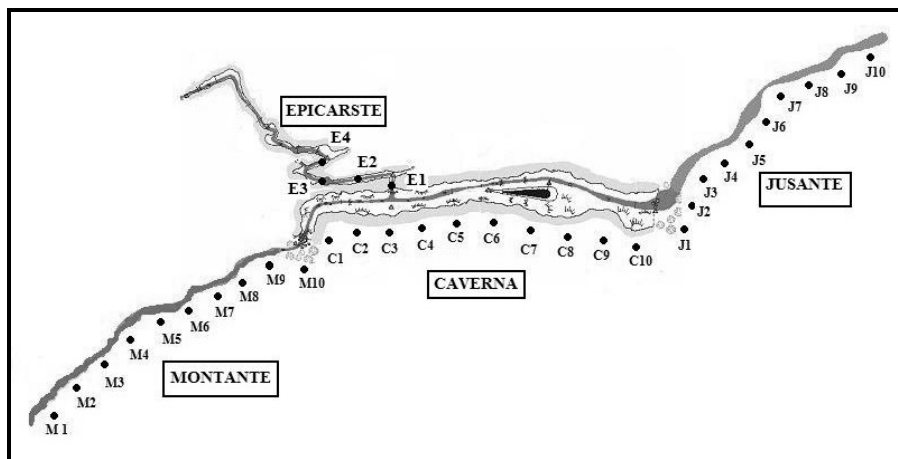


FIGURA 1 Indicação dos 34 pontos de coleta ao longo de um trecho de 300m do ribeirão do Mandembe e 40 m de seu tributário. As áreas foram divididas: epígeo montante (M), caverna (C), epicarste (E) e epígeo jusante (J).

Em cada ponto amostral foram medidos os valores de pH, saturação de oxigênio (%), condutividade elétrica ( $\text{ms}^{-1}$ ), velocidade da correnteza (m/s) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). As medidas de pH, saturação de oxigênio e condutividade foram feitas a partir de 9 réplicas por ponto, enquanto as medidas de velocidade de correnteza foram repetidas 3 vezes e a temperatura foi tomada uma só vez por ponto.

Os organismos presentes no riacho epígeo e hipógeo foram coletados com auxílio de rede de Súrber  $30\text{cm}^2$  (malha  $250\ \mu\text{m}$ ) e cada ponto foi contemplado por três réplicas amostrais. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados, fixadas em formol 5% e transportadas ao Laboratório de Zoologia da Universidade Federal de Lavras. Posteriormente, as 102 amostras foram lavadas com o auxílio de um sistema de peneiras metálicas (de 2mm e 0,250mm), de modo a separar o material grosso (folhas grandes, galhos e pedras) do material mais particulado. Após a lavagem, as amostras que ainda continham sedimento não consolidado (areia) foram flotadas em uma solução supersaturada de NaCl, facilitando a posterior triagem dos invertebrados

em microscópio estereoscópio. Todos os organismos encontrados foram conservados em álcool 70%, identificados até o nível taxonômico possível por meio de chaves de identificação (Pérez, 1988) e separados em morfoespécies.

### **Análise dos dados**

Foram comparadas as variâncias entre médias dos parâmetros físico-químicos (pH, saturação de oxigênio, condutividade elétrica, velocidade da correnteza e temperatura) por meio de análise de variância (ANOVA). O teste de Tukey foi realizado para testar a significância das diferenças nos valores encontrados para cada uma das quatro áreas analisadas.

Realizou-se também uma análise de componentes principais (PCA), utilizando as variáveis físico-químicas medidas em cada ponto amostral. Algumas análises referentes aos parâmetros ambientais e biológicos levaram em consideração somente o gradiente montante/caverna/jusante, excluindo, dessa forma, o conduto lateral onde se encontra a pequena drenagem tributária (aqui chamada de epicarste). Tal exclusão desta zona deveu-se, em um primeiro momento, ao fato de o tamanho da amostra ser menor nesta área (4 amostras) que nas demais (10 amostras em cada). Sendo assim, foi realizada uma análise de componentes principais, considerando somente os pontos do gradiente previamente citados.

No entanto, tendo em vista a eventual importância da drenagem de origem epicárstica sobre o sistema como um todo, fez-se nova análise de componentes principais, considerando os pontos do tributário. Dessa forma, buscou-se elucidar os padrões de variação ao longo de um contínuo e também comparar o efeito da área epicárstica nos resultados encontrados.

Para cada ponto amostral, foram calculadas a riqueza, a diversidade e a equitabilidade, as duas últimas pelo índice de Shannon-Wiener (Zar, 1999; Magurran, 1988). Para tal, somaram-se os indivíduos encontrados em cada uma

das três subamostras de cada ponto. Foram também calculadas a diversidade e a equitabilidade para cada uma das áreas amostradas (montante, caverna, epicarste e jusante), considerando o total de espécies e de indivíduos coletados de cada região.

Os fatores extraídos de cada uma das análises de componentes principais (considerando o epicarste ou não) foram correlacionados às variáveis bióticas (riqueza, diversidade e equitabilidade) de cada ponto. Para estas correlações, foram utilizados os fatores 1 e 2, obtidos em cada PCA, os quais foram responsáveis, em ambos os casos, pela maior porcentagem da variação geral observada no conjunto de dados testados. No caso da regressão linear, valores significantes de R, calculados para cada variável, mostraram se a variável independente (Fator 1 ou 2) é correlacionada com a variável dependente, positiva ou negativamente, bem como a magnitude de sua influência. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram logaritmizadas (Log).

Além disso, buscou-se determinar a zona de ecótone a partir da metodologia proposta por Prous et al. (2004). Para tal, foram comparadas as espécies presentes em cada área (montante e jusante) a partir dos valores de similaridade (Jaccard) obtidos, comparando-se pontos equidistantes tomados a partir de cada entrada da caverna (Figura 2). Assumiu-se que cada entrada é a parte central de cada ecótone, de forma que seria esperada a redução nos valores de similaridade à medida que cada par de pontos comparados se tornassem mais distantes de cada entrada. O ecótone é definido, dessa forma, pelo limite a partir do qual os pares de pontos comparados (epígeo e hipógeo) apresentam total dissimilaridade. Deste ponto em diante, considera-se que não há mais sobreposição de espécies entre os dois sistemas adjacentes.

Todas as análises deste estudo foram feitas utilizando-se os softwares Statistica for Windows - StaSoft (2006) ® e “Biodiversity Pro - ©” (1997).



FIGURA 2 Determinação da zona de ecótono a partir dos pontos equidistantes da cada entrada da gruta do Mandembe.

## 4 RESULTADOS

### **Variáveis ambientais nas diferentes áreas analisadas**

As variáveis físico-químicas avaliadas (temperatura, saturação de oxigênio, velocidade da correnteza, pH e condutividade) mostraram-se distintas em cada um dos pontos e também entre as quatro áreas avaliadas (Tabela 1).

TABELA 1 Média dos valores dos parâmetros físico-químicos registrados nos pontos entre o gradiente: montante (M), caverna (C), epicarste (E) e jusante (J) da gruta do Mandembe.

PONTO	Temperatura (°C)	% de O <sub>2</sub>	Correnteza (m/s)	pH	l <sup>-1</sup> )
M1	16	27,3	4,1	5,7	4,9
M2	16	45,9	2,6	5,2	5,4
M3	16,4	29,9	2,4	5,8	5,7
M4	16	61,1	0,0	5,8	5,7
M5	15,8	45,9	0,0	5,5	5,0
M6	15,7	100,0	1,3	4,9	4,5
M7	15,5	100,0	3,0	5,6	4,1
M8	15,2	100,0	1,1	5,2	5,6
M9	15,2	100,0	2,1	4,9	5,6
M10	15	100,0	2,6	5,2	4,2
E1	18,9	100,0	0,0	5,5	5,7
E2	21	100,0	0,0	5,9	4,6
E3	21,2	100,0	0,0	6,0	3,8
E4	21,4	100,0	0,0	6,3	4,3
C1	15	100,0	0,4	5,4	4,5
C2	15	100,0	3,2	5,8	4,3
C3	15,4	100,0	0,8	5,4	4,8
C4	15,3	100,0	3,8	5,9	3,2
C5	15,3	100,0	8,0	4,7	1,8
C6	15,4	100,0	1,3	5,8	5,8
C7	15,1	100,0	4,6	5,7	3,4
C8	15	100,0	10,2	5,2	6,0
C9	15,4	100,0	0,6	4,7	4,1
C10	15	100,0	0,0	4,8	4,3
J1	14,8	99,7	4,5	5,2	4,3
J2	14,6	81,0	0,0	4,7	5,6
J3	14,7	98,6	0,0	4,8	5,3
J4	14,7	38,6	0,9	4,4	5,3
J5	14,6	36,0	0,0	5,4	5,7
J6	14,6	19,4	2,0	5,6	7,0

J7	14,6	42,1	0,9	5,5	6,9
J8	14,7	70,1	0,0	5,6	5,2
J9	14,6	11,1	0,0	5,0	8,1
J10	14,6	10,3	0,0	5,9	4,5

No que se refere somente ao gradiente epígeo/hipógeo/epígeo, excluindo-se, portanto, a região epicárstica, as médias de temperatura da água variaram 1,8°C, entre todos os pontos amostrados. A maior variação ocorreu entre os pontos epígeos do trecho montante. De modo geral, a temperatura da água tendeu a decair progressivamente entre o gradiente montante para jusante (Figura 3).

A porcentagem de saturação do oxigênio foi constante no ambiente hipógeo e variável nos ambientes epígeos, elevando-se consideravelmente entre o gradiente montante/caverna e tornando a decair a partir da ressurgência (Figura 3). As médias tiveram grande oscilação, sendo 100,0% de saturação máxima encontrada em todos os pontos no interior da caverna e em alguns pontos epígeos a montante e o valor mínimo de 10,3% de saturação no último ponto epígeo a jusante.

A média dos valores de velocidade da correnteza também foi inconstante nas três áreas analisadas. Entretanto, a oscilação mais acentuada ocorreu no interior da caverna (variações de 0,0 até 10,2 m/s, Figura 3). Quanto ao pH, houve leve diferenciação dos valores médios (que variaram entre 4,4 a 5,9) que, no entanto, se mostraram baixos, indicando que o ribeirão do Mandembe apresenta pH ligeiramente ácido. Na comparação entre as três áreas, não foram perceptíveis diferenças de variação nos valores de pH que pudessem diferir cada uma delas.

Os valores de condutividade elétrica também mostraram leve diferenciação, apresentando-se baixos (menores que 40  $\text{ms}^{-1}$ ) ao longo do gradiente epígeo/hipógeo/epígeo (Figura 3). Os maiores valores foram

encontrados na região a jusante. No interior da gruta do Mandembe ocorreram as maiores oscilações.

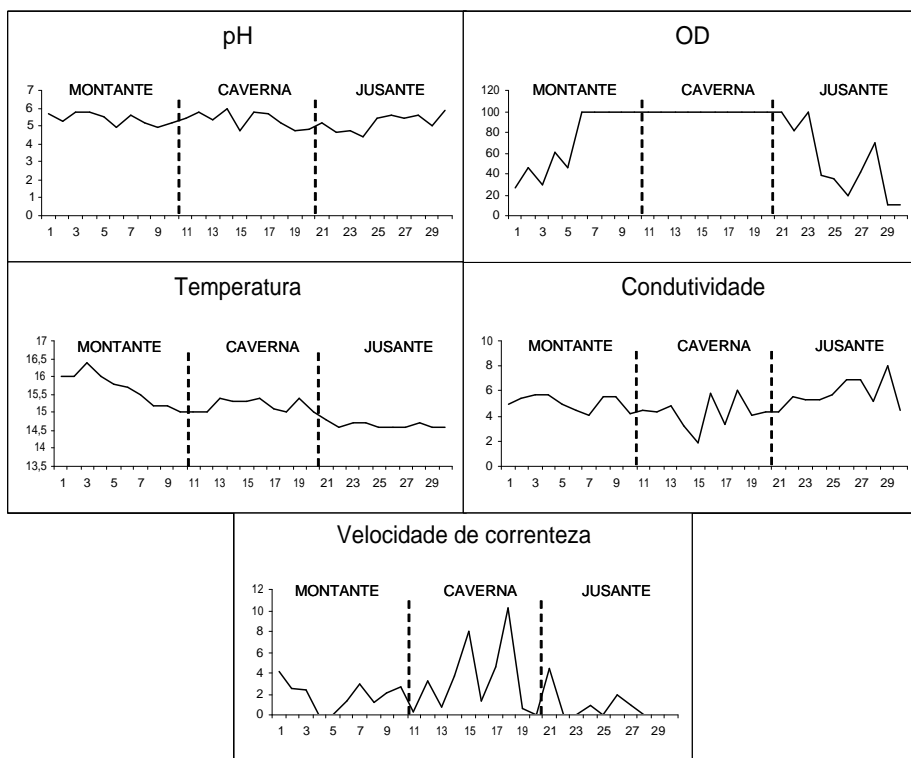


FIGURA 3 Médias dos valores de temperatura, saturação de oxigênio, velocidade da correnteza, pH e condutividade, encontradas entre as três áreas destacadas pela linha tracejada

Quanto às variáveis físico-químicas medidas na área epicárstica, observa-se que os valores de temperatura da água são consideravelmente mais elevados quando comparados aos encontrados no gradiente montante/caaverna/jusante. Houve variação de cerca de 5°C ao se comparar o maior valor encontrado no referido gradiente e o maior valor encontrado na área epicárstica. Os valores de temperatura, assim como os de pH da drenagem epicárstica, são mais elevados que aqueles encontrados nas outras três áreas



amostradas. Nota-se, contudo, que, mesmo ocorrendo um aumento no pH, este ainda se mantém levemente ácido, ou seja, com valores abaixo de 7,0 na drenagem epicárstica. Os resultados encontrados pela análise ANOVA e teste de Tukey mostraram que, para a temperatura, houve diferença significativa entre as quatro áreas amostradas ( $F=177,82$ ;  $p<0,00$ ), no qual o compartimento epicárstico apresenta-se como o mais distinto. Para os valores de pH, não foi encontrada diferença na análise ANOVA, porém, pelo teste Tukey, encontrou-se diferença significativa entre a área jusante e a epicarste ( $F = 2,76$ ;  $p<0,034$ ).

Os valores de condutividade elétrica da água são mais elevados na drenagem epicárstica que na drenagem “principal” da caverna. Porém, ainda são menores que as médias dos pontos nas duas áreas epígeas. Houve manutenção dos valores de oxigênio dissolvido na água, ou seja, 100% de saturação em todos os domínios subterrâneos amostrados. Já os valores de velocidade da correnteza da drenagem epicárstica foram todos equivalentes a zero, diferindo, dessa forma, da grande oscilação de valores nos pontos amostrados no interior da caverna. Para valores de condutividade elétrica foi encontrada diferença significativa pela análise ANOVA ( $F=3,95$ ;  $p<0,017$ ), tendo sido encontrada distinção entre os compartimentos caverna e a jusante, pelo teste Tukey. Os valores de saturação de oxigênio foram significativamente diferentes (ANOVA,  $F= 7,43$ ;  $p<0,0007$ ), havendo distinção entre os compartimentos epicarste e jusante e entre caverna e jusante. Já os valores de velocidade da correnteza foram significativamente diferentes pela análise ANOVA ( $F= 3,08$ ;  $p<0,042$ ), porém, não foi encontrada distinção entre os quatro compartimentos, pelo teste de Tukey. As médias dos valores de todos os parâmetros analisados estão sumarizadas na Figura 4.

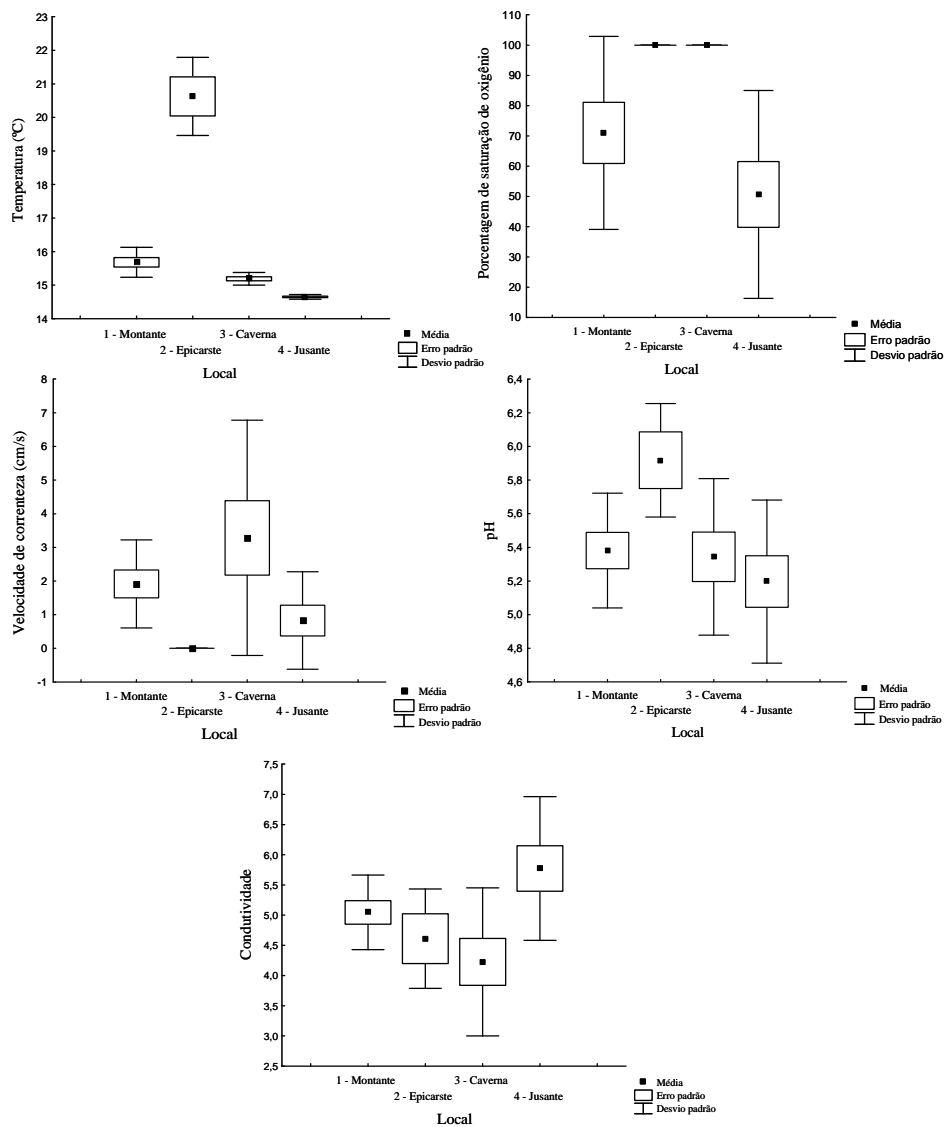


FIGURA 4 Média dos valores de temperatura, saturação de O<sub>2</sub>, velocidade de correnteza, pH e condutividade encontrados nas quatro áreas amostradas no ribeirão do Mandembe.

Os Fatores 1 e 2, extraídos da análise de componentes principais (PCA), realizada a partir das variáveis físico-químicas somente com o gradiente montante/caverna/jusante, explicaram cerca de 64.5% da variância total

observada nos dados (Tabela 2). A condutividade (-0,846), seguida da saturação de oxigênio (0,792), foi a variável de maior explicação no fator 1 extraído da PCA. Tal fator foi responsável por 37,7% da variação total observada nos dados. O pH (0,827) e a temperatura (0,730) foram as variáveis de maior explicação no fator 2 extraído da PCA, que representou 26,7% da variância total observada.

TABELA 2 Fatores extraídos do PCA feito com as variáveis físico-químicas das três áreas analisadas.

<b>Variável</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>
Temperatura	0,310119	0,72998
O <sub>2</sub> %	0,792232	-0,318974
Vel. correnteza	0,661345	0,127959
pH	-0,103597	0,827275
Condutividade	-0,846558	-0,032366
<b>% Variância</b>	<b>37,70%</b>	<b>26,70%</b>

Os resultados encontrados no PCA demonstraram a determinação gradual dos parâmetros ambientais na qualidade da água à medida que os meios epígeo/hipógeo/epígeo se sucedem. Pela Figura 5, verifica-se que a área a montante da caverna é uma região influenciada pelo Fator 2, isto é, determinada principalmente pelo pH e pela temperatura. Em consequência, nota-se a influência da área à montante sobre a determinação dos valores de pH e temperatura cavernícolas. É possível verificar uma progressiva influência desses dois parâmetros entre o gradiente montante/caverna já que os pontos M8, M9 e M10 se encaixam em um mesmo limite que os pontos C1, C2 e C3.

A área hipógea é determinada principalmente pelo Fator 1, explicado pela saturação de oxigênio, velocidade da correnteza e negativamente pela condutividade. Da mesma maneira, verifica-se que os últimos pontos da caverna, C8, C9 e C10, assemelham-se aos primeiros a jusante, J1, J2, J3 e J4, indicando a determinação da saturação de oxigênio e velocidade da correnteza nessa região. Finalmente, na área a jusante, percebe-se tendência à diminuição do

Fator 1, demonstrando, dessa forma, a elevada influência da condutividade nessa área. Novamente percebe-se a possível convergência dos últimos pontos a jusante, em direção aos primeiros pontos da área a montante.

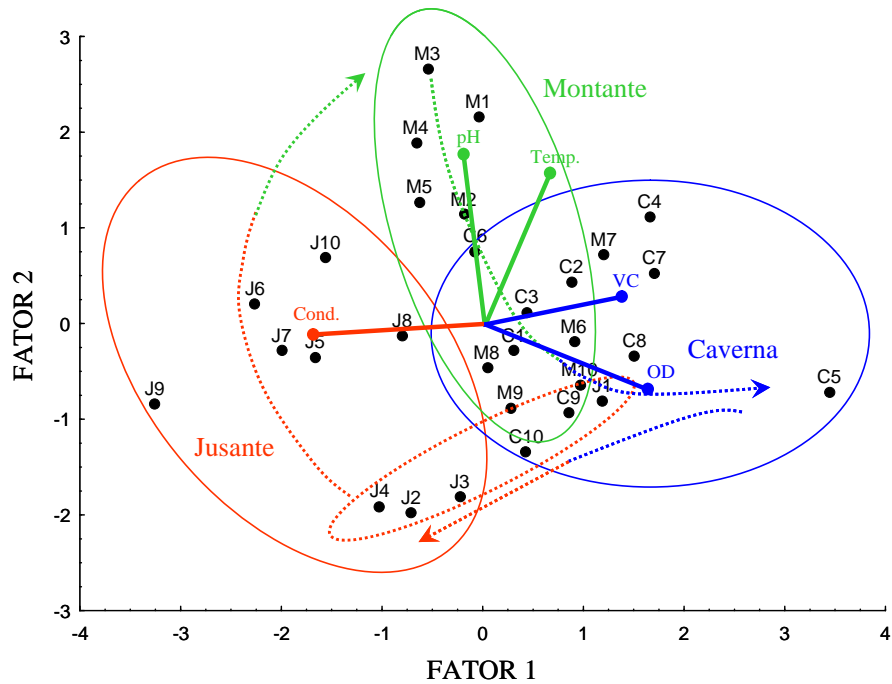


FIGURA 5: Fator 1 versus Fator 2, extraídos da primeira análise do PCA. Círculos referem-se a cada uma das áreas analisadas no gradiente montante/caverna/jusante. As cores verde, azul e vermelha das linhas contínuas indicam a determinação de cada variável nos dois eixos e em cada área. Setas tracejadas indicam a tendência do deslocamento da influência de cada fator no gradiente amostrado.

A inserção da área do epicarste em uma segunda análise de componentes principais também derivou dois eixos que explicaram 67,8% da variação total dos dados (Tabela 3). A condutividade (-0,821) e a saturação de oxigênio (0,786) foram as variáveis de maior explicação no fator 1 extraído da PCA, que representou 36,3% da variação total. O pH (0,733) e a temperatura

(0,693) foram as variáveis de maior explicação no fator 2 extraído da PCA, que representou 31,5% da variação total observada.

TABELA 3 Fatores extraídos do PCA feito com as variáveis físico-químicas das quatro áreas analisadas.

<b>Variável</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>
Temperatura	0,567858	0,693086
% O <sub>2</sub>	0,78561	-0,27002
Vel. correnteza	0,309828	-0,64084
pH	0,323875	0,733538
Condutividade	-0,82068	0,268641
<b>% Variância</b>	<b>36,28%</b>	<b>31,48%</b>

A partir da inclusão do compartimento epicárstico na análise do PCA, nota-se que essa área passa a ser determinante em alguns dos parâmetros da caverna, fato antes atribuído à região epígea a montante (Figura 6 e 7). O epicarste passa, agora, a ser influenciado pelo Fator 2, por sua vez, explicado positivamente pelo pH e pela temperatura. Já os pontos medianos da caverna se encontram intermediados pelo aumento da influência do Fator 1 (explicado positivamente pela saturação de oxigênio e negativamente pela condutividade) e pela diminuição da influência do Fator 2. Os últimos pontos da caverna se assemelham aos primeiros pontos da área epígea a jusante, na qual há diminuição da influência do fator 1, indicando aumento da influência da condutividade (Figura 5).

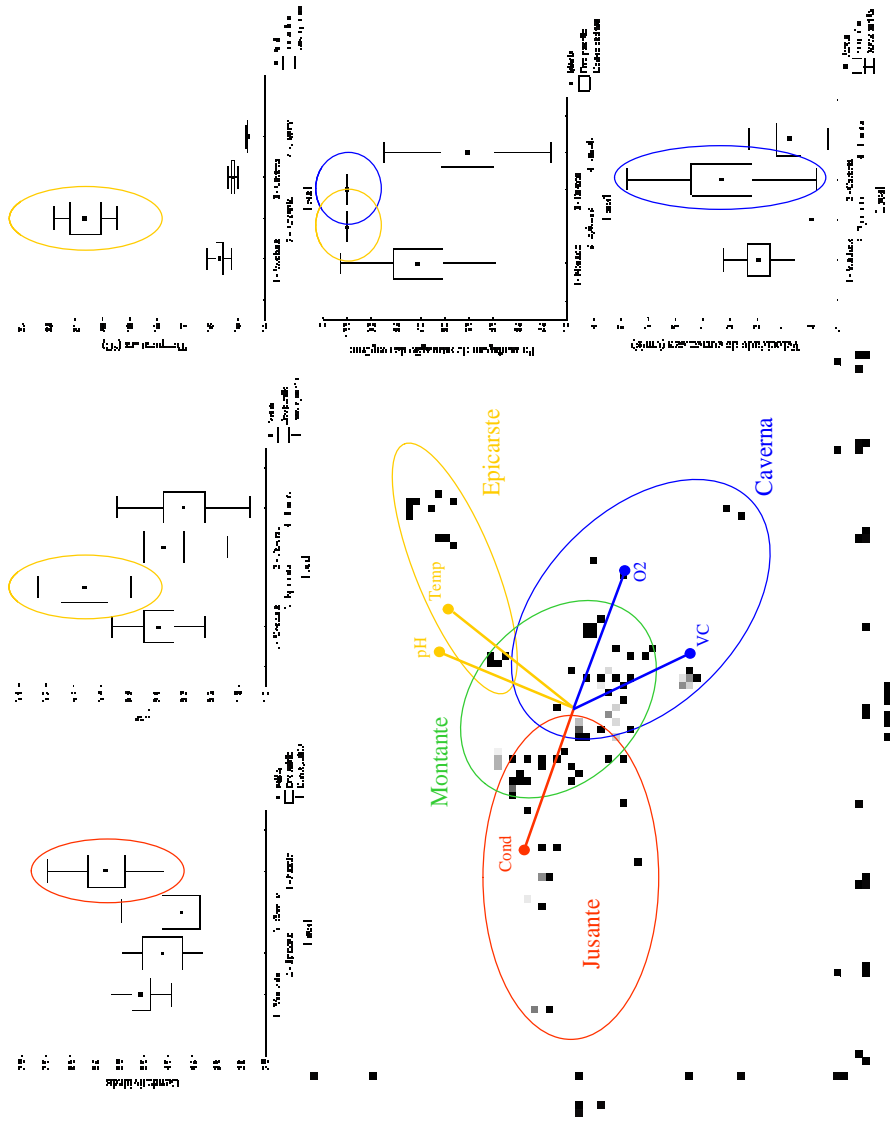


FIGURA 6 Fator 1 versus Fator 2, extraídos da segunda análise do PCA. Círculos referem-se a cada uma das áreas e a influência de cada fator. As cores verde, amarela, azul e vermelha das linhas contínuas dos gráficos indicam a determinação de cada variável nos dois eixos e em cada área.

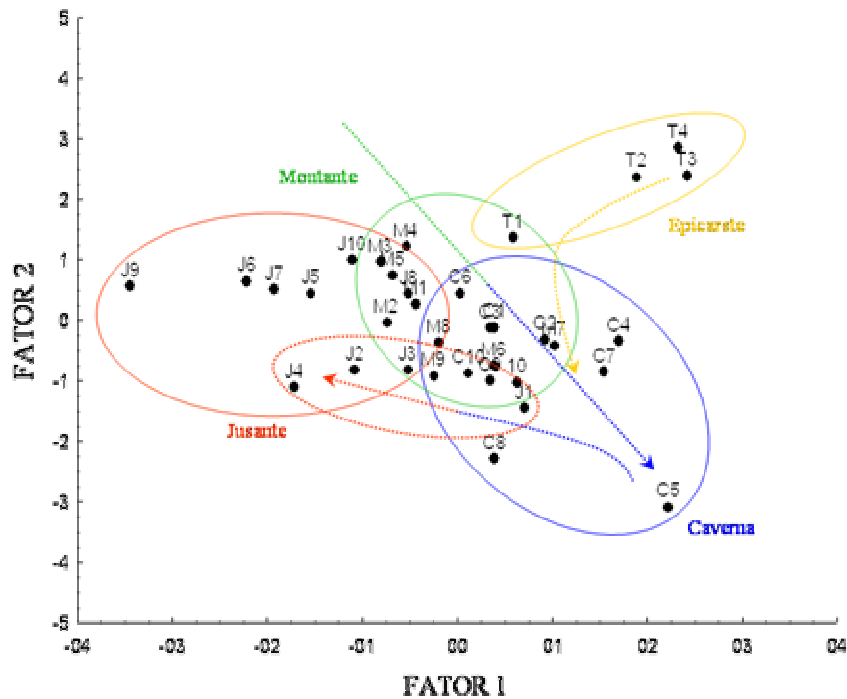


FIGURA 7 Fator 1 versus Fator 2, extraídos da segunda análise do PCA. Círculos referem-se a cada uma das áreas analisadas, montante, epicarste, caverna, jusante. As cores verde, amarela, azul e vermelha das linhas contínuas indicam a determinação de cada variável nos dois eixos e em cada área. Setas tracejadas indicam a tendência do deslocamento da influência de cada fator nos compartimentos amostrados.

### Estruturação da comunidade de invertebrados aquáticos

Foi encontrado, em todas as áreas amostradas (epígeas e hipógeas), um total de 18.126 indivíduos pertencentes a 213 morfoespécies dos seguintes filós: Cnidaria, Platyhelminthes, Nematoda, Annelida e Arthropoda, sendo este último o mais representativo. A classe Insecta caracterizou-se por apresentar o maior número de espécies, 158, seguida pela ordem Acari, com 50 espécies. Dentre os

insetos, a ordem Diptera destacou-se por apresentar a maior riqueza, com 52 espécies (27 da família Chironomidae), seguida pela ordem Coleoptera (larvas e adultos), com 39 espécies e pelas ordens Trichoptera e Heteroptera, com 19 espécies cada (Tabela 2).

A ordem Diptera também se destacou por ter apresentado o maior valor de abundância absoluta nas quatro áreas amostradas, com 7.839 indivíduos, dos quais 6.743 pertencem à família Chironomidae. Já as ordens Ephemeroptera (4.418 indivíduos), Coleoptera (2.067 indivíduos), Trichoptera (1.445 indivíduos) e Oligochaeta (918 indivíduos) também se destacaram pelos elevados valores de abundância absoluta.

A região epígea a montante da gruta do Mandembe apresentou um total de 9.598 indivíduos, distribuídos em 156 morfoespécies, das quais 35 caracterizam-se por serem exclusivas desse ambiente. Já a região epígea a jusante da cavidade apresentou menor valor de abundância, com 6.704 indivíduos agrupados em 153 morfoespécies, das quais 30 são encontradas somente nesse local. O meio subterrâneo apresentou um total de 1.824 indivíduos, dispostos em 112 morfoespécies, das quais 15 foram encontradas somente no sistema hipógeo. Analisando somente o conduto principal, foram encontrados 1.522 indivíduos reunidos em 90 morfoespécies, das quais 7 restringiram-se a esse ambiente. Já o compartimento epícarstico foi a área que apresentou a menor abundância, com 302 indivíduos distribuídos em 43 morfoespécies, 8 destas exclusivas desse ambiente. As médias dos valores de riqueza nas quatro áreas amostradas são apresentadas na Figura 8.



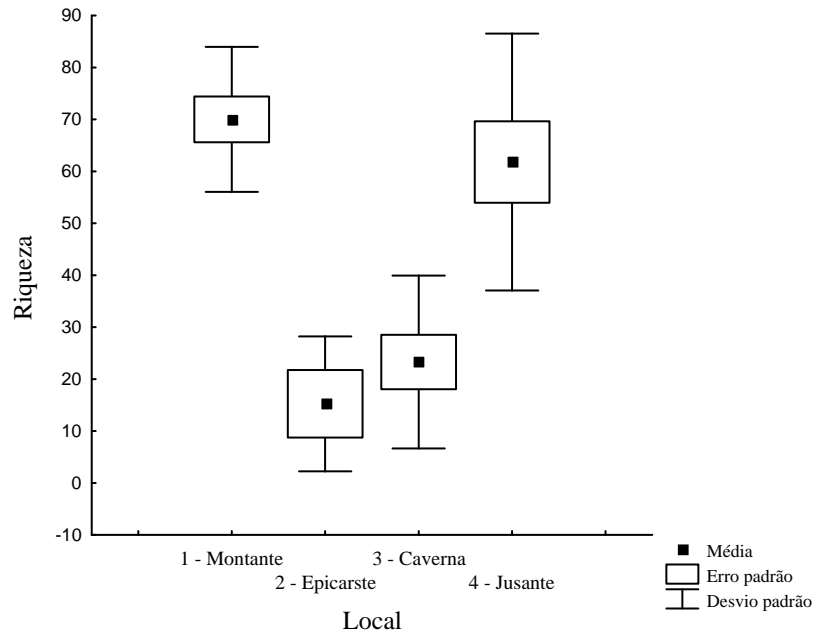


FIGURA 8 Média dos valores de riqueza encontrados nas quatro áreas amostradas no riacho do Mandembe

A composição de espécies foi aproximada entre as áreas epígeas montante (Diptera-43 spp, Coleoptera-32 spp e Acari-31 spp) e jusante (Diptera-45 spp, Acari-29 spp e Coleoptera-22 spp). Já a riqueza hipógea foi mais distinta entre o conduto principal (Diptera-33 spp, Acari-12 spp e Coleoptera-11 spp) e no Epicarste (Coleoptera-16 spp, Acari-9 spp e Diptera-5 spp).

Na área epígea a montante da caverna, as espécies predominantes foram Chironominae sp2, Ephemeroptera sp2 e sp1, Chironominae sp10 e Oligochaeta sp1, conforme demonstrado na Figura 9. Já na região epígea à jusante, houve uma inversão dos dois primeiros grupos dominantes, no qual predominaram larvas de Ephemeroptera sp2, Chironominae sp2, Ephemeroptera sp1 e sp3 e Oligochaeta (Figura 9).

No conduto principal da caverna, as larvas de Simuliidae (Diptera sp6) foram significativamente mais abundantes, seguidas por Ephemeroptera sp2 e sp1, Chironominae sp2 e Elmidae larva sp4. Vale destacar que as larvas de Trichoptera (sp17), apesar de também serem encontradas nas regiões epígeas a montante e a jusante, tiveram um valor de abundância absoluta muito maior na caverna que nas outras áreas amostradas. No epicarste, Oligochaeta foi o grupo predominante, seguido por Copepoda e pelas larvas de Chironominae sp2 e Coleoptera sp3 e sp4.

Ressalta-se que a maioria das espécies presentes nos pontos situados na área a montante da gruta do Mandembe tende a desaparecer ao chegar às proximidades do ambiente cavernícola. Contudo, espécies como Ephemeroptera sp2 e sp3, Chironominae sp2, Coleoptera sp4, Trichoptera sp5, Tanypodinae sp2 destacam-se por penetrarem até pontos mais interiores da caverna, tais como C1, C2 e C3. Vale destacar que as espécies Simuliidae (Diptera sp6) e Trichoptera sp17, que se apresentam em maior abundância na caverna, foram encontradas somente a partir do ponto C3, permanecendo até C9, sendo ausentes nos primeiros pontos a jusante.

Algumas espécies podem ser diferenciadas por colonizarem a caverna contra a direção do curso d'água. Ephemeroptera sp1 e sp2 e também Chironominae sp2, presentes em alta abundância nos primeiros pontos a jusante da caverna, aparecem retornando aos últimos pontos hipógeos, tais como C10 e C9.

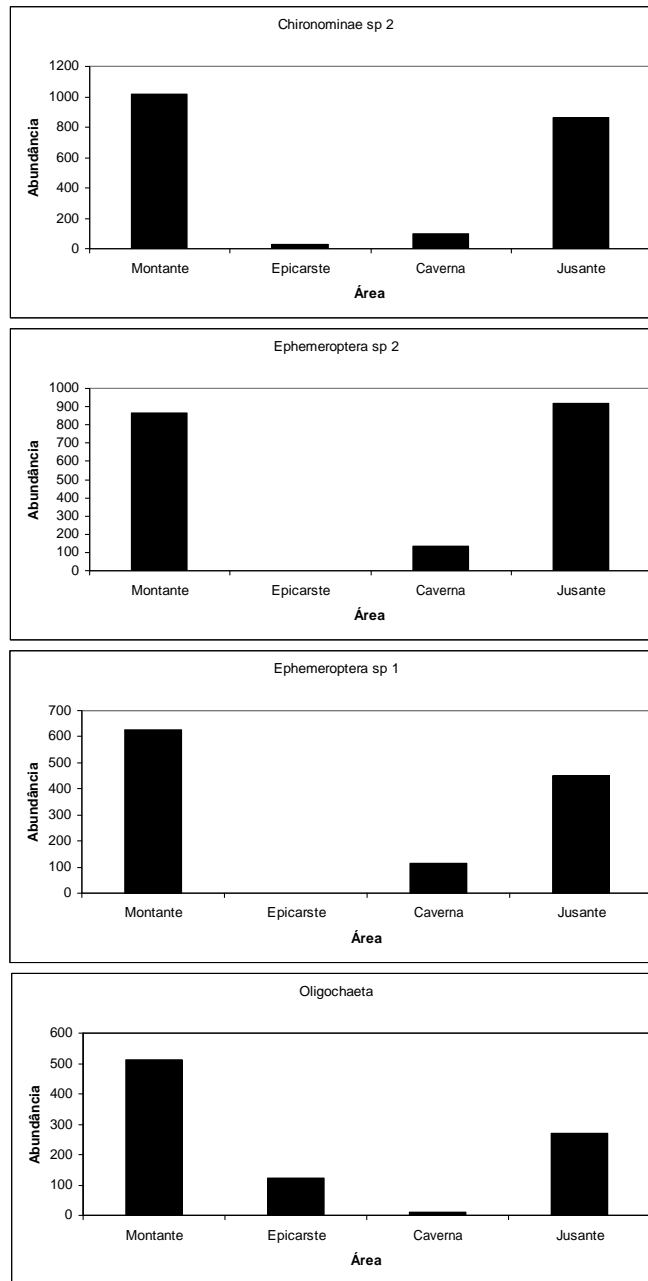


FIGURA 9 Abundância absoluta das espécies mais representativas: Chironominae sp2, Ephemeroptera sp2 e sp1 e Oligochaeta, entre as quatro áreas amostradas, montante, epicarste, caverna e jusante.

À medida que foram comparados os valores de similaridade entre os pontos montante-caverna e caverna-jusante, percebeu-se uma convergência na posição em que as similaridades atingiram seus valores mais baixos (Figura 10). Assim, os pontos medianos da caverna podem ser destacados como locais onde foi encontrada a maior dissimilaridade. Na gruta do Mandembe, o ecótono de uma entrada sobrepõe-se ao da outra, fazendo com que o conduto principal da caverna seja referido como uma grande zona de ecótono.

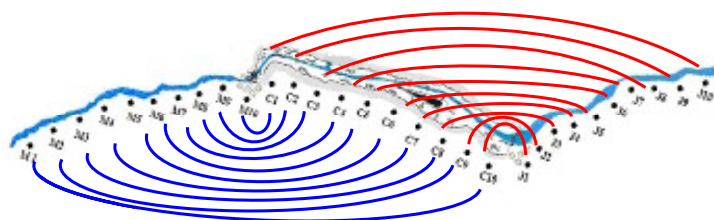
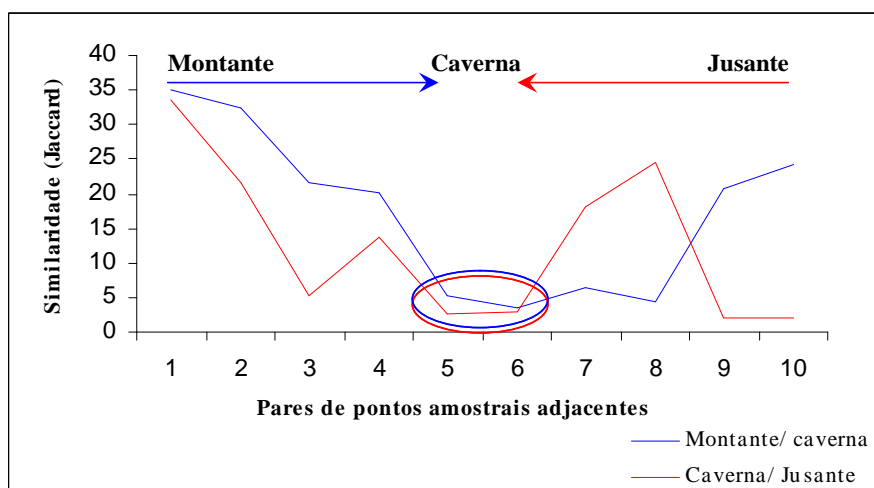


FIGURA 10 Gráfico demonstrando a diminuição da similaridade na região central da caverna pela comparação entre pares de pontos equidistantes montante-caverna e caverna-jusante.

Foram encontrados, de forma geral, elevados valores de diversidade e equitabilidade nas quatro áreas analisadas, considerando-se o total de espécies e indivíduos coletados em cada uma das áreas (Tabela 4). A área a montante da

gruta do Mandembe foi a que apresentou os maiores valores dos índices supracitados, seguida pela região a jusante da caverna.

TABELA 4 Valores dos índices biológicos nas quatro áreas analisadas

Índice	Montante	Epicarste	Caverna	Jusante
Riqueza	156	43	90	153
Abundância	9598	302	1522	6704
Diversidade H'	3,739	2,429	3,133	3,606
Equitabilidade J'	0,7405	0,6459	0,6963	0,7168

Embora a diversidade tenha se mostrado elevada em todas as áreas, a região epicárstica apresentou a maior média de diversidade dentre as quatro áreas (Figura 11).

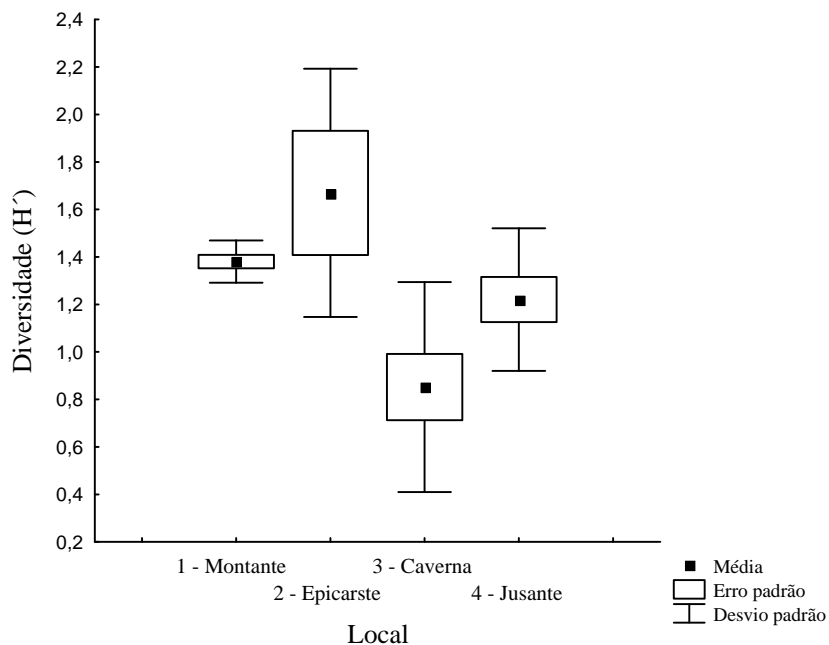


FIGURA 11 Média dos valores de diversidade encontrados nas quatro áreas amostradas no riacho do Mandembe

### **Relações entre variáveis ambientais e comunidade de invertebrados aquáticos**

O Fator 1, extraído da primeira análise de PCA na qual estão incluídas as áreas a montante, caverna e a jusante, foi negativamente correlacionado com a riqueza  $F_{(1,28)}=4,30$ ;  $R = -0,36$ ;  $p<0,047$  e a equitabilidade  $F_{(1,28)}=4,43$ ;  $R= -0,37$ ;  $p<0,044$  (Figura 12 A e B). Não houve correlação significativa entre a diversidade e Fator 1 e nem entre essas variáveis com o Fator 2.

Já o Fator 1, extraído da segunda análise de PCA (a qual incluiu as áreas a montante, epicarste, caverna e a jusante) foi positivamente correlacionado com a riqueza  $F_{(1,32)} = 9,75$ ;  $R = 0,48$ ;  $p<0,038$  (Figura 12 C). Contudo, não foi encontrada correlação significativa com a diversidade e a equitabilidade. Já o Fator 2 da análise do PCA foi positivamente correlacionado com a diversidade  $F_{(1,32)} = 6,90$ ;  $R = 0,42$ ;  $p<0,013$  (Figura 12 D), não havendo correlação significativa entre riqueza e equitabilidade.

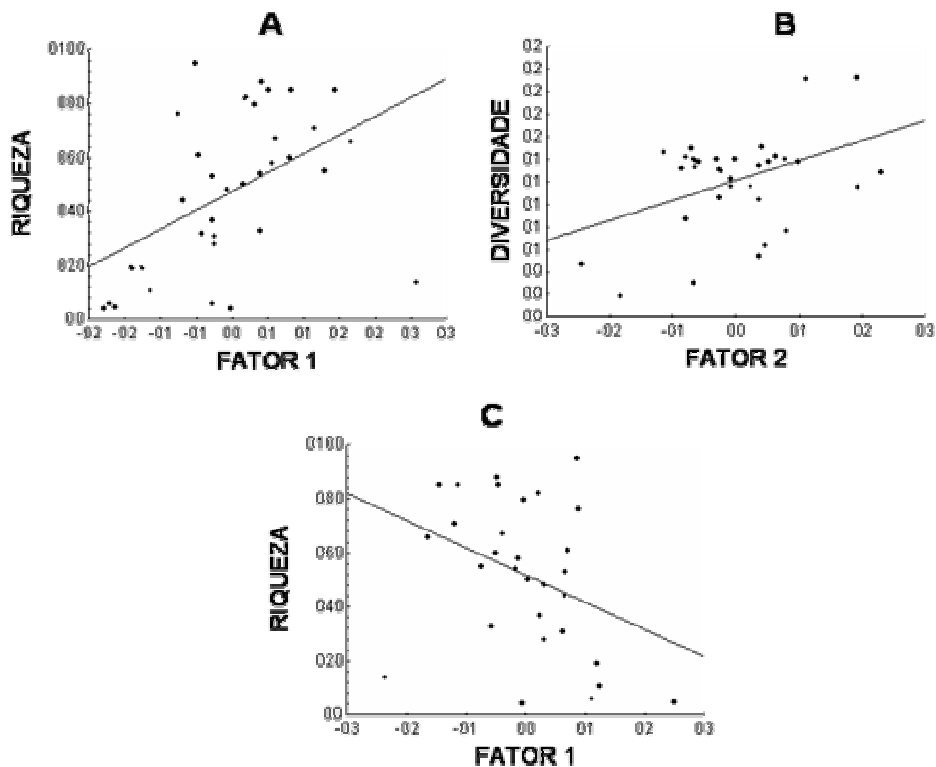


FIGURA 9: (A) Correlação entre riqueza e Fator 1, da primeira análise de PCA; (B) correlação entre diversidade e Fator 2 da segunda análise do PCA; (C) correlação da riqueza com o Fator 1 da segunda análise de PCA.

## 5 DISCUSSÃO

### Variáveis ambientais nos diferentes “compartimentos” analisados

Por meio dos resultados encontrados nas análises dos parâmetros físico-químicos, foi possível inferir que o ribeirão do Mandembe apresenta-se como um local que ainda conserva características prístinas. Os valores de alguns dos parâmetros físico-químicos medidos nos ambientes epígeos atendem à Resolução nº 20 do CONAMA (1986), que estabelece os padrões de qualidade para o uso da água. Além disso, trabalhos realizados nos meses de estação seca e

em cursos d'água com características semelhantes também apresentam valores aproximados aos encontrados no presente estudo, ou seja, córregos típicos de áreas altitudinais, pouco profundos e sombreados com vegetação ripária mais preservada (Guereschi & Melão, 1998; Galdean et al., 2000; Callisto et al.; 2001; Goullart et al., 2002; Bueno et al., 2003; Moretti, 2005; Ribeiro & Uieda, 2005).

Por outro lado, trabalhos que abrangem análises físicas e químicas de ecossistemas aquáticos subterrâneos são menos freqüentes que os realizados em águas epígeas. Geralmente, sistemas aquáticos calcários são caracterizados por serem relativamente estáveis, onde a água apresenta elevada “dureza” alcalina e um pH relativamente alto. A concentração de oxigênio em ribeirões cavernícolas é usualmente alta, embora poças possam ser caracterizadas pela menor concentração de oxigênio dissolvido (Gilbert, et al., 1994; Galas et al., 1996; Jasinska et al., 1996). Já os estudos que contemplam águas subterrâneas brasileiras, assim como os citados acima, foram realizados somente em cavernas de litologia calcária (Bichuette & Santos, 1998; Souza-Silva, 2003). Dessa forma, a realização de uma análise comparativa torna-se difícil pelo fato de sistemas quartzíticos e calcários serem influenciados por fatores muitas vezes distintos.

No presente estudo, a considerável redução dos valores de temperatura da água após a entrada no meio cavernícola, possivelmente, é justificada pela ausência de luz e de calor observada nesses ambientes. A manutenção dos baixos valores de temperatura após a ressurgência do rio pode estar relacionada às características da área epígea a jusante, onde se encontram, predominantemente, trechos bastante sombreados pela mata de galeria e por paredes rochosos. Tais características são menos freqüentes na região a montante, na qual a incidência de luz solar é mais acentuada, o que pode estar influenciando um valor de temperatura levemente mais alto. Por sua vez, os



elevados valores de temperatura encontrados no epicarste, possivelmente, estão relacionados ao direto contato da drenagem tributária com a rocha (durante a sua percolação), o que possibilita a conservação da temperatura da água bem mais alta que nos outros ambientes avaliados.

Observou-se que a velocidade do fluxo da água é elevada, principalmente em alguns pontos no interior da caverna. Tal fato é, certamente, reflexo do considerável desnível topográfico da cavidade (18 metros). Já os pontos amostrados no epicarste consistiam de poças (interconectadas pela pequena drenagem), justificando a ausência de correnteza nesses locais. A máxima saturação de oxigênio no trecho que percorre a caverna e em alguns pontos situados a montante pode estar relacionada às maiores médias de velocidade de correnteza encontradas nessas duas regiões. Já os valores de saturação de oxigênio no epicarste, a princípio, se opõem à idéia da relação negativa entre esse parâmetro com temperatura e positiva com a velocidade da correnteza (Esteves, 1998). Normalmente, seria esperado que os valores de saturação de oxigênio fossem mais baixos nesse local. No entanto, características típicas da rocha quartzítica do epicarste, como talvez a sua porosidade, poderiam estar proporcionando maior oxigenação da água. Tal fato merece ser testado, podendo, certamente, ser alvo de pesquisas futuras.

Os pontos epígeos a jusante onde ocorreram as maiores médias de condutividade elétrica caracterizam-se como áreas de remanso, distintas principalmente pela presença de maiores quantidades de matéria orgânica vegetal. A presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions pode elevar a capacidade da transmissão de corrente elétrica na água (Esteves, 1998). Já a maior média dos valores de pH ocorreu no epicarste, local também caracterizado por apresentar áreas de remanso e presença de grande quantidade de matéria orgânica, como o guano de morcego. Tal fato pode estar

provocando a alteração do equilíbrio entre os íons ( $H^+$ ) e ( $OH^-$ ), pela presença natural de ácidos carbônicos e húmicos dissolvidos na água (Esteves, 1998).

Os resultados encontrados na primeira análise do PCA demonstraram a existência de uma influência gradual entre valores de cada parâmetro físico-químico por meio do contínuo montante/caverna/jusante. Sendo assim, evidenciou-se que uma área é determinante nos padrões encontrados no ambiente seguinte. Foi possível demonstrar a interdependência entre os diferentes compartimentos na determinação dos parâmetros analisados. Dessa forma, pela primeira análise de PCA, entende-se que o trecho epígeo a montante da cavidade é o principal contribuinte para os valores de pH e de temperatura. Estes parâmetros continuam influenciando, porém de forma gradual, o trecho de riacho que entra pelo sumidouro. Por sua vez, o ambiente hipógeo encontra-se determinado principalmente pelos altos valores de saturação de oxigênio. Tais valores ainda mantêm efeito, mesmo quando o trecho de riacho se torna novamente epígeo pela ressurgência. Por fim, a área a jusante da caverna é a principal contribuinte dos valores de condutividade elétrica da água. Além disso, por meio dos resultados encontrados no PCA, verificou-se uma possível tendência de que os últimos pontos a jusante passariam a ser novamente determinados pela temperatura e pelo pH. A eventual existência desta tendência “tautológica” indica a necessidade de estudos posteriores que compreendam um maior trecho amostral e coletas em diferentes estações do ano.

A inclusão do compartimento epicárstico na segunda análise do PCA seguiu o mesmo padrão geral de consecutivas determinações e interdependências entre os sucessivos trechos amostrados. Contudo, foi possível inferir que o principal contribuinte dos valores de temperatura e pH na área da caverna é o epicarste e não mais a área a montante, como antes elucidado. Dessa forma, comprova-se a importância da drenagem tributária (de origem em águas

de percolação) na determinação das condições encontradas no conduto principal da caverna.

A ocorrência de padrões de consecutivas interdependências corrobora com o proposto por autores que indicam que variações dentro de um sistema aquático apresentam-se como um contínuo gradiente de condições físicas e biológicas (Vannote et al., 1980). Assim, a existência de um gradiente pode levar a um contínuo padrão de veiculação, transporte, utilização e estoque de matéria orgânica ao longo de um rio (Minshall et al., 1983; Cummins et al., 1984).

No entanto, ainda que relatada a observação da continuidade do sistema lótico, ao penetrar em uma caverna, um riacho pode modificar a sua dinâmica, conforme os resultados encontrados no presente estudo. Mesmo existindo interdependência na determinação de variáveis entre sucessivos compartimentos, o sistema não se ajusta aos modelos propostos para ecossistemas aquáticos completamente epígeos. Portanto, torna-se clara a necessidade da adequação dos modelos “tradicionais”, desenvolvidos para os padrões encontrados em ambientes lóticos (Vannote et al., 1980; Junk & Wantzen, 2004), àqueles associados a sistemas cársticos.

### **Estruturação da comunidade de invertebrados aquáticos**

A composição da comunidade de invertebrados aquáticos encontrada nos ambientes epígeos do presente estudo assemelha-se à maioria dos trabalhos já realizados em riachos tropicais. Isto é, prevaleceram espécies pertencentes ao filo Arthropoda, sendo a classe Insecta a mais representativa (Guereschi & Melão, 1998; Galdean et al., 2000; Moulton & Magalhães, 2003; Bueno et al., 2003; Morreti, 2005; Ribeiro & Uieda, 2005).

Por outro lado, além de raros, os estudos que abrangem a ecologia de comunidades de invertebrados aquáticos em ambientes subterrâneos brasileiros

contemplam somente ambientes calcários. No entanto, percebe-se, nos sistemas subterrâneos, a tendência prevalente nos ambientes epígeos, ou seja, dominância do filo Arthropoda e, principalmente, da Classe Insecta (Trajano 1996; Bichuette & Santos, 1998; Majer et al., 2003; Souza-Silva, 2003).

Entretanto, comparações entre a composição e a estrutura de comunidades de invertebrados aquáticos devem ser realizadas com cautela, uma vez que diferentes autores podem utilizar unidades taxonômicas distintas para a avaliação dos dados. Segundo Esteves (1998), um dos principais fatores responsáveis pela lacuna de conhecimentos sobre os invertebrados bentônicos deve-se à dificuldade de identificação de tais organismos. Outro fato a ser considerado compreende as diferenças de esforço amostral empregadas em cada estudo. Melo (2004) aponta que talvez seja esse o principal fator limitante às investigações da diversidade de invertebrados bentônicos.

A composição de espécies na comunidade em estudo mostrou-se distinta entre as quatro áreas amostradas, apesar da predominância de alguns organismos. Espécies como Chironominae sp2 e Ephemeroptera sp1 e sp2 destacam-se como importantes componentes do sistema lótico como um todo. Diptera-Chironomidae quase sempre se apresenta como dominante em ambientes lóticos devido à sua tolerância a situações extremas e por sua grande capacidade competitiva (Bueno et al., 2003; Moretti, 2005). Apesar de a classificação dos organismos em grupos tróficos funcionais ser uma ferramenta muito útil na análise de padrões alimentares, os hábitos alimentares da maioria dos invertebrados tropicais ainda permanecem desconhecidos.

Cummins et al. (2005) relatam que os organismos pertencentes aos grupos Ephemeroptera e Chironomidae, provavelmente, são caracterizados como coletores-catadores, alimentando-se da matéria orgânica particulada fina obtida no interstício dos sedimentos. Esse fato pode proporcionar a sobrevivência dessas espécies mesmo em locais nos quais a disponibilidade de

matéria orgânica grossa é restrita, como no ambiente cavernícola. Espécies já conhecidas como predadoras tenderam a desaparecer após a entrada no sumidouro. Nota-se que, em geral, houve pequena participação de espécies fragmentadoras em todas as áreas amostradas. A maior parte do processamento da matéria orgânica particulada grossa em córregos tropicais é atribuída à ação microbiana e não aos invertebrados fragmentadores, o que condiz com o observado (Moulton & Magalhães, 2003; Moretti, 2005). No entanto, existe a possibilidade de que muitos organismos distintos como coletores possam, eventualmente, se comportar como fragmentadores durante alguns estágios do seu ciclo de vida, indicando a dominância de consumidores generalistas nas cadeias tróficas de pequenos córregos neotropicais (Covich, 1988).

A estruturação da comunidade encontrada nos trechos epígeos a montante e a jusante foi bastante similar quando comparada à presente no ambiente cavernícola. Beisel et al. (2000) e Boyero (2003) sugerem que a heterogeneidade do habitat está diretamente relacionada à alta riqueza de insetos em ambientes lóticos temperados. Há evidências de que habitats aquáticos mais complexos poderiam suportar um número maior de taxa. A presença de macrófitas aquáticas, perifíton e outros diversos materiais advindos da vegetação ripária propicia maior complexidade física do que nos locais onde há somente rochas ou sedimentos minerais (Voelz & McArthur, 2000). Dessa forma, presume-se que as áreas epígeas possuam maiores valores de riqueza e diversidade quando comparadas ao ambiente subterrâneo, devido à ocorrência da maior variedade de habitats nos trechos amostrados.

Além disso, embora neste estudo não tenha sido quantificada a matéria orgânica presente no substrato, esta era visivelmente mais abundante nos sistemas epígeos que no ambiente cavernícola. Culver & Sket (2000) citam que, em geral, a riqueza encontrada em cavernas é relativamente menor que a de ambientes externos devido a várias razões, tais como a reduzida fonte de

recursos, a reduzida extensão das regiões de ecótono entre superfície e meio subterrâneo e a reduzida diversidade de hábitats.

Pode-se concluir que grande parte das espécies em estudo é sensível às fortes pressões ambientais cavernícolas, tais como ausência de luz e menor disponibilidade de recursos alimentares. O reflexo deste efeito sobre a comunidade é observado quando, após o sumidouro, há redução geral na riqueza e no número de indivíduos da comunidade aquática. Desse modo, entende-se que a caverna realmente funcione como um “filtro”, no qual a maioria das espécies presentes no meio epígeo a montante não consegue avançar até o ambiente epígeo a jusante. Tal afirmação corrobora, em parte, com as hipóteses previamente levantadas de que o compartimento hipógeo apresenta importante interferência sobre o contínuo espacial do riacho, afetando diretamente a comunidade aquática.

No entanto, é importante mencionar a instantânea recuperação da comunidade no sistema a jusante que rapidamente retorna a uma condição próxima à observada a montante logo nos primeiros pontos após a ressurgência. Dessa forma, se o impacto da passagem pela caverna no contínuo do riacho fosse realmente muito intenso, seria esperado encontrar um retorno gradual às condições prevalentes no trecho após a ressurgência, fato não observado nesse estudo. Quando há o retorno de condições em que há abundância de recursos tróficos e presença de luz, a comunidade rapidamente volta a se mostrar semelhante àquela observada no trecho à montante da caverna.

Estudos realizados com invertebrados aquáticos em cavernas brasileiras sugerem que a fauna hipógea realmente caracteriza-se como menos complexa que a externa. Trajano (1996), estudando a biologia da Gruta Olhos d'Água, MG (calcária), admite que a fauna aquática e terrestre da caverna é relativamente pobre, tendo em vista a sua extensão e a heterogeneidade de hábitats. A baixa diversidade foi relacionada à forte sazonalidade local que dificulta o

estabelecimento de populações variadas. No entanto, pelo menos para a fauna terrestre, a baixa diversidade encontrada pode ser reflexo somente da aplicação de métodos insatisfatórios de coleta, já que Ferreira (2003) encontraram, somente nos primeiros 400 metros da caverna, uma riqueza quase três vezes maior que a observada por Trajano (1996) em toda a extensão da cavidade.

Além disso, o estudo realizado por Bichuette & Santos (1998) na Guta do Paiva, SP, conclui que a fauna cavernícola de invertebrados macroscópicos aquáticos não se apresenta muito diversificada. Foi encontrado um total de 19 táxons, sendo que a ordem Trichoptera foi a mais abundante seguida pela ordem Díptera. Segundo os autores, a maioria dos grupos observados, aparentemente, não possuía uma relação ecológica com a caverna. No entanto, virtualmente qualquer grupo faunístico presente em cavernas exibe (em maior ou menor grau) algum tipo de relação ecológica com o sistema (físico e biológico). Mesmo espécies acidentais, notoriamente não pré-adaptadas ao sistema, podem, por exemplo, ser predadas por outras espécies subterrâneas.

No presente estudo, percebeu-se que, das espécies carreadas pela água que entram acidentalmente no ambiente subterrâneo poucas conseguem ser encontradas em pontos mais interiores da caverna. Espécies como Ephemeroptera sp2 e sp3 e Chironominae sp2 destacam-se por terem sido coletadas em pontos mais distantes da entrada (sumidouro). Tal fato difere do encontrado em levantamentos biológicos que indicam que Ephemeroptera é pouco representativo em ambientes cavernícolas, apresentando baixa diversidade no meio hipógeo (Pinto-da-Rocha, 1995; Bichuette & Santos, 1998).

Da mesma forma, as espécies Simuliidae sp6 e Trichoptera sp17, apesar de terem sido amostradas em pontos diferentes das espécies anteriormente citadas, também podem ser destacadas como abundantes e possivelmente mais aptas a sobreviver dentro das condições limitantes da caverna. Além disso, Ephemeroptera sp1 e sp2 e Chironominae sp2 colonizaram a caverna também

contra a corrente do curso d'água, ou seja, via jusante. Tal fato indica que essas espécies podem entrar voluntariamente no ambiente cavernícola, destacando-se por, possivelmente, apresentar características que proporcionem a sua sobrevivência no meio hipógeo.

Em contrapartida, percebe-se que no presente estudo, o epicarste compreendeu a área que apresentou a maior média de diversidade entre os quatro ambientes amostrados. Tal fato pode estar relacionado à presença de uma colônia de morcegos situada no conduto deste tributário, demonstrando que a presença desse recurso alimentar pode estar contribuindo para a manutenção de uma comunidade mais diversificada. A presença de organismos em camadas de águas epicársticas perenes indica que essas populações podem apresentar-se como permanentes nesses locais (Camacho, 1992).

No presente estudo, percebe-se que a comunidade presente no compartimento epicárstico tem importância fundamental na manutenção da diversidade da Gruta do Mandembe. Verificou-se que o conduto principal da caverna é somente uma parte da estrutura funcional do aquífero e que muitas das espécies presentes no epicarste podem ser carreadas deste ambiente para a drenagem principal.

Majer et al. (2003) realizaram um estudo compreendendo a fauna de invertebrados aquáticos em um sistema cárstico formado por quatro cavernas calcárias em São Domingos, GO. Admitiu-se que a riqueza relativamente elevada (56 táxons) foi relacionada, provavelmente, à elevada disponibilidade de matéria orgânica carreada para o interior das cavernas através dos sumidouros. Nesse estudo, os grupos mais abundantes foram os pertencentes à ordem Trichoptera, seguidos pelos das ordens Díptera-Chironomidae e Odonata.

Já Souza-Silva (2003) avaliou a dinâmica da disponibilidade de recursos na Lapa do Córrego dos Porcos (Damianópolis, GO). Nesta caverna, conclui-se que os principais recursos alimentares utilizados pela fauna aquática eram raízes



presentes no sedimento e nos detritos depositados nas redes de contenção. Foi encontrado um total de 880 indivíduos agrupados em 70 morfoespécies que estavam associadas a detritos orgânicos das redes de contenção. A ordem Coleoptera foi a mais rica, com 21 espécies, seguida pela ordem Díptera, com 18 espécies e Trichoptera, com 5 espécies. Já nas raízes submersas, foram encontrados 1.162 indivíduos reunidos em 111 morfoespécies. A ordem Coleoptera apresentou 27 espécies, seguida pelas ordens Diptera (26 espécies) e Trichoptera (10 espécies).

No presente estudo, a ordem Diptera foi representada pelo maior número de espécies, seguida por Acari e Coleoptera, diferente do encontrado por Souza-Silva (2003). Neste caso, a presença de raízes submersas como recurso variado pode ser explicada como um importante componente para a manutenção de variadas espécies e populações abundantes. Dessa forma, a comunidade de invertebrados aquáticos descrita por Souza-Silva (2003) pode ser considerada mais complexa que as encontradas na gruta do Mandembe.

A partir da determinação da zona de ecótone, percebeu-se que o conduto principal da gruta do Mandembe pôde ser considerado como uma grande zona de transição. Tal fato foi comprovado pela sobreposição de ecótones imposta pelas duas entradas da caverna. O ecótone entre os ambientes hipógeo e epígeos é relacionado como um filtro seletivo ou como uma membrana permeável, e somente espécies pré-adaptadas ao ambiente cavernícola são aptas à sua passagem (Hansen et al., 1988; Prous et al., 2004). Essa afirmação corrobora com o já indicado anteriormente, no qual a gruta do Mandembe foi avaliada como um “filtro” no contínuo espacial do riacho, afetando diretamente a comunidade aquática. Cabe ressaltar que, assim como enfatizado por Prous et al. (2004), o método utilizado para a demarcação da zona de transição permite a definição de um ecótone momentâneo. Eventuais expansões ou retrações podem

ser determinadas por variações, como, por exemplo, mudanças ambientais externas.

Os resultados encontrados no presente estudo diferem, em parte, do proposto por Prous et al. (2004), no qual o limite da zona de ecótone foi definido pelos locais nos quais as similaridades corresponderam a zero (total dissimilaridade entre os sistemas adjacentes). Na gruta do Mandembe, os valores não atingiram total dissimilaridade pelo fato de a caverna possuir duas entradas. Dessa forma, do meio da caverna em diante, a similaridade começou a aumentar, devido à proximidade da outra boca e à conseqüente aproximação do meio epígeo. Isto foi visualizado tanto para o ecótone jusante-caverna quanto para o montante-caverna.

#### **Relações entre variáveis ambientais e comunidade de invertebrados aquáticos**

A correlação negativa entre riqueza e equitabilidade com o Fator 1, explicado principalmente pela velocidade da correnteza, indica que as espécies cavernícolas são fortemente influenciadas por essa variável ambiental.

Edler & Dodds (1996) demonstraram que locais de maior correnteza tendem a possuir uma menor quantidade de indivíduos de uma população de isópodes em cavernas. Neste mesmo estudo, foi demonstrado que os isópodes aquáticos subterrâneos movem-se com maior dificuldade em águas correntes com velocidade mais elevada. Oliveira et al. (1997), estudando a fauna de invertebrados aquáticos em ambientes lóticos tropicais epígeos, verificaram que o aumento da velocidade da correnteza nas estações chuvosas também altera a abundância de vários grupos.

No entanto, a permanência de representantes de Ephemeroptera na caverna, mesmo em locais com maiores valores de velocidade da correnteza, pode ser explicada pelo fato de algumas famílias requererem ambientes limpos, bem oxigenados e com correnteza de moderada a forte (Bueno et al., 2003). Tal

grupo pode ser caracterizado por possuir adaptações morfológicas, como corpo achatado, liso e alongado, com pernas que se projetam lateralmente. Tais características possibilitam o aumento da fixação no substrato e reduzem a probabilidade de serem arrastados pela correnteza (Merritt & Cummin, 1996).

A área a jusante da caverna também recebe influência do Fator 1 que, neste caso, é justificado, principalmente, pela condutividade. Na área jusante, entende-se que a riqueza e a equitabilidade diminuem em locais nos quais a condutividade elétrica é menor. Tal fato pode ser explicado pelo fato de os valores de condutividade serem determinados pela presença de substâncias dissolvidas na água (Esteves, 1998). Assim, locais onde ocorreu um menor acúmulo de matéria orgânica vegetal e, possivelmente, menor quantidade de substâncias dissolvidas na água apresentaram baixa riqueza e equitabilidade na área jusante.

Na segunda análise de PCA, houve correlação positiva entre riqueza e o Fator 1 que, por sua vez, influencia principalmente a caverna. Percebe-se que o aumento do número de espécies na caverna está relacionado, principalmente, à máxima saturação de oxigênio dissolvido na água. Tal resultado condiz com variados estudos que confirmam que locais mais oxigenados comportam maior diversidade de organismos aquáticos (Strayer 1985; Minshall, 1967; Vannote et al., 1980; McCafferty, 1981; Allan, 1995; Esteves, 1998).

Na mesma análise também houve correlação positiva entre diversidade e Fator 2. Neste caso, o Fator 2 influencia, principalmente, o epicarste. Dessa forma, nota-se que a diversidade do epicarste está, principalmente, relacionada ao aumento da temperatura e do pH e à baixa velocidade da correnteza local. O contato do tributário direto com a rocha, provavelmente, é a principal causa da elevada temperatura da água do epicarste. Já os valores de pH podem estar sendo determinados pela presença de matéria orgânica, como o guano de morcego, na

água. Tais fatores, adicionados à menor velocidade da correnteza no tributário, contribuem para a manutenção de uma diversificada fauna local.

Dessa forma, entende-se que o conhecimento dos padrões ecológicos encontrados em ambientes cavernícolas pode fornecer informações essenciais para a sua conservação. Assim, os resultados encontrados no ambiente aquático que percorre da gruta do Mandembe e região de entorno podem ser utilizados como subsídios para a elaboração de estratégias de conservação da biodiversidade de ambientes hipógeos com características similares.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J. D. **Stream Ecology** - structure and function of running waters. Michigan: Kluwer Academic, 1995. 388 p.

BARR, T. C. Observations on the ecology of caves. **American Naturalist** Chicago, v.101, n. 992, p. 474-489, 1967.

BEISEL, J. N.; POLATERA, P. U.; MORETEAU, J. C. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. **Hydrobiologia**. 422/423 p. 163-171, 2000.

BICHUETTE, M. E. ; SANTOS, F. H. S. Levantamento e dados ecológicos da fauna de invertebrados da Gruta dos Paiva, Iporanga, SP. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 14 – 19, 1998.

BOYERO, L. The quantification of local substrate heterogeneity in streams and its significance for macroinvertebrate assemblages. **Hydrobiologia**. v. 499, p. 161-168, 2003.

BUENO, A. A. P; BOND-BUCKUO, G.; FERREIRA, B. D. P. Estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos em dois cursos d'água do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 1, p. 115-125, 2003.

BUSS, D.F.; BAPTISTA D.F. NESSIMIAN, J. L. 2003. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade de água de rios. **Caderno de Saúde Pública**, v.19, n. 2, p.465-473, 2003.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita, Lago Batata (Pará, Brasil). *Oecologia Brasiliensis*. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 1995. v. 1, p. 281-291.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F. A. R. Habitat Diversity and Benthic Functional Trophic Groups at Serra do Cipó Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n. 2, p. 259-266, 2001.

CAMACHO, A. I. (Ed.). **The natural history of biospeleology**. Madrid: SCIC, 1992. 680 p. (Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA Resolução n 20 de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 30 de julho de 1986. 20p.

COVICH, A. P. Geographical and historical comparisons of neotropical streams: biotic diversity and detrital processing in highly variable habitats. **Journal of North American Benthology**, v.7, p. 361-386, 1988.

CULVER, D. C. **Cave life evolution and ecology**. Cambridge/Massachusetts/London/England: Harvard University, 1982.189p.

CULVER, D. C. SKET, B. Hotspots of Subterranean Biodiversity in Cave and Wells. **Journal of Cave and Karst Studies**, v.62, n.1, p. 11-17, 2000.

CUMMINS, K. W.; MERRITT, R. W.; ANDRADE, P. C. N. The use of Invertebrate Functional Groups to Characterize Ecosystem Attributes in Selected Streams and Rivers in Southeast Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, n. 1, p. 69-89, 2005.

CUMMINS, K. W.; MINSHALL, W. G.; SEDELL, J. R.; GUSHING, C. E.; PETERSEN, R. C. Stream ecosystem theory. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 22, p.1818-1827, 1984..

CUMMINS, K.W; WILZBACH, M.A.; GATES, D.M.; PERRY, J.B.; TALIAFERRO, W.B. Shredders and riparian vegetation. **Bioscience**. Washington, v. 39, n. 1, p. 24-30, 1989.

DEVÁI, G. Ecological background and importance of the change of chironomid fauna in shallow Lake Balaton. **Hidrobiologia**, 191 p. 189-198, 1990.

DOBSON, M.; A.G. HILDREW. A test of resource limitation among shredding detritivores in low order streams in southern England. **Journal Animal Ecology**, v. 61, p. 69-77, 1992.

EDLER, C.; DODDS, W.K. The ecology of a subterranean isopod, *Caecidotea tridentata*. **Freshwater Biology**, v. 35, p. 249-259, 1996.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP, 1998. 575p.

FERREIRA, R. L. **Plano de manejo biospeleológico**: proposição para a viabilização de manejo biospeleológico e paleontológico para o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Januária/Itacarambi-MG. 2003.

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

GALAS, J.; BEDNARZ, T.; DUMNICKA, E.; STARZECKA, A. & WOJTAN, K.. Litter decomposition in a mountain cave water. **Archive Hydrobiology**, v. 138, n. 2, p. 199-211, 1996.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F.A.R. Lotic ecosystems of Serra do Cipó, southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 3, p. 545-552, 2000.

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

GORDON, N.D. **Stream hydrology**: an introduction. Chichester: J. Wiley, 1993.

GOULART, M.; FLACH, L.; MELO, A. L.; CALLISTO, M. Qual a relação entre parâmetros ambientais e a diversidade de heterópteros aquáticos?. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 24. Itajaí. **Livro de Resumos...** Itajaí: UNIVALI: 2002.

GRAENING , G.O. **Ecosystem dynamics of an ozark cave**. 2000. 99 p. (Ph.D.)  
- University of Arkansas, Arkansas.

GUERESHI, R. M.; MELÃO, M. G. G. Monitoramento Biológico da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho pelo uso de Macroinvertebrados Bentônicos. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8., 1998, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1998. v. 8, p. 1199-1216.

HANSEN, A. J.; DI CASTRI, F.; NAIMAN, R. J. Ecotones: what and why? **Biol. Int. Special Issue**. v. 17, p. 9-46, 1988.

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

JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; MCCOMB, A. J. Root mats in ground water: a fauna-rich cave habitat. **Journal of North American Benthological Society**, Glenview, v.15, n. 4, p. 508-519, 1996.

JUNK, W. J.; WANTZEN, K. M. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications – an update. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE MANAGEMENT OF LARGE RIVERS FOR FISHERIES, 2., 2004, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 2004. p. 117-140, v.2.

JUNQUEIRA, M. V.; AMARANTE, M. C.; DIAS, C. F. S.; FRANÇA, E. S. Biomonitoramento da qualidade das águas da Bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. **Acta Limnologica. Brasiliensia.**, v. 12, p. 73-87, 2000.

MAGURAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. London: Cromm Helm, 1988. 179p.

MAJER, A. P.; SANTOS, F. B.; BASILE, P. A.; TRAJANO, E. Invertebrados Aquáticos de Cavernas da Área Cárstica de São Domingos, Nordeste de Goiás. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 15, n. 4, p 126-131, 2003.

McCAFFERTY, W. P. **Aquatic entomology: the fishermen's and ecologist's illustred guide to insects and their relatives**. Boston: Jones an Barlett, 1981.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W. **An introduction to the aquatic insects of North America**. 3<sup>rd</sup>ed. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt, 1996. 862 p.

MELO, L. Diversidade de macroinvertebrados em riachos p.69-90. *In*: L. CULLEN JÚNIOR; R RUDRAN; C. VALLADARES-PADUA (Eds). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora UFPR e Fundação o Boticário de Proteção à Natureza, 667p.

MINSHALL, G. W. Role of allochthonous detritus in the trophic structure of the Woodland springbrook community. **Ecology**, Whashington, v. 48, n. 1, p. 139-149, 1967.

MINSHALL, G. W.; PETERSEN, R. C.; CUMMINS, K. W.; BOTT, T. L.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E.; VANNOTE, R. L. 1983. Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. **Ecological Monographs**, v. 53, p. 1-25, 1983.

MOULTON, T. P. MAGALHÃES, S. A. P. Responses of leaf processing to impacts in streams in Atlantic Rain Forest, Rio de Janeiro, Brazil – A test of the Biodiversity-Ecosystem Functioning Relationship? **Brazilian Journal Biology**, v. 63, n. 1, p. 87-95, 2003

MORETTI, M. S. **Decomposição de detritos foliares e sua colonização por invertebrados aquáticos em dois córregos na Cadeia do Espinhaço (MG)**. 2005. 63 p. Dissertação. (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, L. G.; BISPO, P. C.; SÁ, N. C. Ecologia de comunidades de insetos bentônicos (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), em córregos do Parque Ecológico de Goiânia, Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 14, p. 867-876, 1997.

PÉREZ, G. R. **Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia**. Antioquia: Fondo Fen.Colombia/Colciencias/Universidade de Antioquia, 1988. 132p.

PETERSEN, R. C.; CUMMINS, K. W. Leaf pack processing in a woodland stream. **Freshwater Biology**, v. 4, p. 343-368, 1974.

PINTO-DA-ROCHA. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**. p.61-173, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LUMINÁRIAS-MG. **Luminárias: 54 anos de emancipação política**. Luminárias - MG, 2005.



- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Delimitation of epigean-hypogean ecotone zone in two limestone caves in southeastern Brazil. **Austral Ecology**, v. 29, p. 374-382, 2004.
- RIBEIRO, L. O.; UEIDA, V. S. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um Riacho de Serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 3, p. 613-618, 2005.
- RICHARDSON, J. S. Seasonal food limitation of detritivores in a montane stream: an experimental test. **Ecology**, v. 72, p. 873-887, 1991.
- SOUZA-SILVA, M. S. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SIMON K. S. **Organic matter and trophic structure in karst groundwater**. 2000. 91 p. (Ph.D.) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- STRAYER, D. The benthic micrometazoans of Mirror lake, New Hampshire. **Archive Hydrobiology**, v. 3, p. 287-426, 1985.
- TRAJANO, E. Biologia da Gruta Olhos D'Água Itacarambi, MG. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 8, n. 4, p.85-89,1996.
- TRAJANO, E. Cave faunas in the atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000.
- VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. **Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.
- VOLEZ, N. J.; MCARTHUR, V. An exploration of factors influencing lotic insect species richness. **Biodiversity and Conservation**, v. 9, n. 11, p. 1543-1570, 2000.
- WALLACE, J. B.; EGGERT, S. L.; MEYER, J. L.; WEBSTER, J. R. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. **Science**, v. 277, p. 102-104, 1997.

WEBSTER, J. R.; BENFIELD, E. F. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. **Annual Review of Ecology and Systematics.**, v. 17, p. 567-594, 1986.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis.** New Jersey: Prentice Hall/Upper Saddle River, 1999.

## **CAPÍTULO II**

### **ENRIQUECIMENTO TRÓFICO COMO SUBSÍDIO PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS CAVERNÍCOLAS**

## RESUMO

SILVA, Ana Paula Bueno. Enriquecimento trófico como subsídio para a conservação da biodiversidade de invertebrados aquáticos cavernícolas. In: \_\_\_\_\_. **Enriquecimento trófico em ambientes subterrâneos e suas aplicações para a conservação da biodiversidade de invertebrados aquáticos**. 2008. Cap 3. p. 81-142. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

Ambientes cavernícolas são considerados, em sua maioria, naturalmente oligotróficos e, como consequência, as comunidades se encontram estruturadas de maneira mais “simplificada”. Porém, ainda não havia sido evidenciado qual o efeito do aumento artificial na quantidade de recursos alimentares sobre uma comunidade cavernícola. Da mesma forma, desconheciam-se os efeitos da simulação de pressões ecológicas, tais como baixa quantidade de recurso e de entrada de luz sobre uma comunidade epígea. O presente estudo foi realizado com o objetivo de compreender, por meio de experimentos, as implicações da disponibilidade de recursos alimentares no controle da comunidade de invertebrados epígeos e hipógeos componentes do Ribeirão do Mandembe, em Luminárias, MG. O incremento da quantidade de recurso alimentar vegetal no interior da caverna foi realizado por meio da instalação de plotes de enriquecimento dispostos em diferentes pontos do riacho hipógeo. Os métodos utilizados para o incremento foram estritamente embasados nos processos de aporte de recursos alimentares vegetais ocorridos no trecho a montante do riacho externo à caverna. Foi possível verificar que, pelo acréscimo de recursos alimentares diversificados, a comunidade hipógea poderia potencialmente igualar-se à epígea, em número de espécies, comprovando a existência da relação entre disponibilidade de recurso e estrutura da comunidade. Os resultados indicam que a escassez de recursos alimentares é uma importante pressão seletiva que atua sobre a comunidade aquática cavernícola em estudo, porém, fatores, como ausência de luz, também restringem o estabelecimento de organismos. A criação de um ambiente que simulou as pressões ecológicas comuns em meios subterrâneos, como pouca entrada de luz e de recursos tróficos, também resultou em modificações na estruturação da comunidade epígea. Houve permanência no valor de riqueza espécies, porém, diminuição nos valores de abundância absoluta. Este estudo se destaca por ser o primeiro trabalho no mundo envolvendo um experimento de enriquecimento trófico em um sistema subterrâneo. Por meio dele pretendeu-se entender processos ecológicos de dinâmica trófica, procurando oferecer subsídios para a

conservação da fauna de invertebrados aquáticos subterrâneos em cavernas com características similares à estudada.

---

\*Comitê Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (Orientador), Dayse Lucy Resende – UFLA e Maria Elina Bichuette - UFSCar

## ABSTRACT

SILVA, Ana Paula Bueno. Trophic enrichment aiming at biodiversity conservation of aquatic invertebrates in caves. In: \_\_\_\_\_. **Trophic enrichment in underground environments and its applications in the biodiversity conservation of aquatic invertebrates**. 2008. Chapt. 3, p. 81-142. Dissertation (Master Program in Applied Ecology) – Federal University of Lavras, Lavras, MG\*.

Caves are considered to be naturally oligotrophic environments, and as a result, the communities are structured in a more “simplified” way. But, until now, there was no evidence of the effect of artificial increase in food resources over cave communities. The effects of ecological pressures (such as low quantity of food resource and light penetration over epigeal communities) on epigeal communities were also unknown. The present study aimed to better understand, by means of experiments, the influence of food resource availability on the control of invertebrate communities present in the epigeal and hypogean areas of Mandembe stream (Ribeirão Mandembe), located in Luminárias, MG. Enrichment plots were used in different areas of the hypogean stream in order to increase the quantity of vegetable matter (food resource) in the cave. The methods were based on the import processes, of vegetable food resource, occurring at the upstream area outside the cave. It was possible to verify a potential leveling between number of species present in the hypogean community and the epigeal community, proving a relation between resource availability and community structure. The scarcity of food resource is, therefore, an important selective pressure that influences the aquatic community in the studied cave. Although other factors, such as absence of light, may also restrict the establishment of organisms. A structure simulating ecological pressures (low penetration of light and trophic resources), presented by underground environments, was built in the epigeal environment and caused structural changes on the epigeal community. There were no changes on the species richness, but there was a decrease on the values of absolute abundance. This is the first study registered in the world that involves an experiment with trophic enrichment in an underground system. The main objective of this study was to understand the trophic dynamics of ecological processes in order to provide more information for the conservation of aquatic invertebrate fauna in caves with similar characteristics to the studied cave.

\*Guidance Committee: Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (Major Professor), Dayse Lucy Resende – UFLA e Maria Elina Bichuette - UFSCar

## 1 INTRODUÇÃO

As cavernas, ou cavidades naturais subterrâneas, podem ser caracterizadas como ambientes de elevada estabilidade ambiental, devido à ausência permanente de luz, às altas taxas de umidade do ar e também por apresentarem temperatura geralmente constante, aproximando-se das médias anuais do entorno (Poulson & White, 1969; Barr & Kuehne, 1971).

A ausência permanente de luz solar exclui a possibilidade da ocorrência de produtores fotossintetizantes em locais profundos do meio cavernícola (Culver, 1982). Dessa forma, a maior parte da produção nos ecossistemas subterrâneos é, geralmente, de origem secundária, na qual o alimento alóctone é importado das áreas epígeas. Conseqüentemente, as teias alimentares hipógeas são fundamentadas em detritos, havendo, assim, o predomínio de organismos decompositores (Simon, 2000; Souza-Silva, 2003; Ferreira, 2004).

O transporte da matéria orgânica para o meio subterrâneo é realizado por agentes biológicos ou físicos, de maneira contínua ou intermitente (Culver, 1982). Essa movimentação de nutrientes e detritos do meio epígeo para o meio hipógeo é freqüente e, em alguns casos, 100% da matéria orgânica é importada (Culver, 1982, Howarth 1983). Fezes ou cadáveres de animais que transitam nas cavernas com certa regularidade ou dos que entram ali casualmente, assim como a presença de raízes vegetais, podem ser importantes fontes de recursos alimentares, tanto para as comunidades terrestres quanto para as aquáticas (Ferreira, 2004). O alimento também pode penetrar na caverna por meio da água de percolação, de aberturas verticais nos tetos e de paredes (Gilbert et al., 1994).

No caso de cavernas percorridas por cursos d'água, detritos compostos por troncos, galhos, folhas, bactérias e animais epígeos acessam o ambiente por meio de sumidouros (Simon, 2000). No meio hipógeo, tais detritos são

depositados ao longo dos cursos d'água, constituindo importantes fontes de matéria orgânica. Estes depósitos são lentamente decompostos por bactérias, fungos e demais invertebrados detritívoros (Barr, 1967; Galas et al., 1996; Simon, 2000). Salienta-se que o tipo e a qualidade dos recursos tróficos, bem como a sua forma de disseminação pelos sistemas subterrâneos, são determinantes na composição e na abundância da fauna cavernícola (Ferreira, 2004). Além disso, tais recursos alóctones mantêm populações de organismos de todos os níveis tróficos presentes nas cavernas (Ferreira & Martins, 1999; Trajano, 2000).

As cavernas são comumente caracterizadas como ambientes com elevada tendência ao oligotrofismo, já que, geralmente, as vias de importação de recursos alimentares não são eficientes o bastante para o transporte de grandes quantidades de alimento (Culver, 1982). Desse modo, a baixa quantidade dos recursos aportados aos ecossistemas subterrâneos constitui um fator limitante ao estabelecimento de grandes populações (Ferreira, 2004).

Vários estudos indicam a tendência, em cavernas, de haver um menor número de espécies explorando os recursos alimentares, geralmente limitadas a teias tróficas mais simplificadas. Considera-se, então, que a fauna de invertebrados cavernícolas seja menos complexa quando comparada à fauna do meio epígeo (Culver, 1982; Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Trajano, 2000). Tal consideração deve-se, em grande parte, à idéia de que uma das principais (senão a principal) pressões seletivas presentes em cavernas é a escassez alimentar, que acaba reduzindo a riqueza e a abundância de espécies nos ambientes subterrâneos. Essa redução de espécies leva a uma simplificação nas teias tróficas desses ambientes.

Porém, trabalhos relacionados à caracterização dos processos biológicos de produção, transferência e processamentos de nutrientes em cavernas são raros. Esses estudos são fundamentais para a compreensão da dinâmica trófica



desses ambientes, sendo imprescindíveis para o efetivo entendimento de como as comunidades subterrâneas se estruturam. Dessa forma, tais estudos acabam sendo fundamentais por fornecerem subsídios para a conservação da fauna cavernícola (Sarbu, 1996; Simon, 2000; Graening, 2000; Souza-Silva, 2003).

Além disso, a definição da intensidade com que cada pressão seletiva atua sobre as comunidades subterrâneas é de suma importância para a preservação de inúmeras espécies associadas a estes ambientes. Embora muitas destas pressões sejam conhecidas e qualificadas (por exemplo, ausência de luz e escassez alimentar), inexistem estudos que quantificaram o real efeito de cada uma delas sobre comunidades cavernícolas como um todo.

## **2 OBJETIVOS**

Tendo em vista a necessidade da determinação do real efeito da escassez alimentar sobre a estruturação das comunidades associadas a sistemas subterrâneos, o presente trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar as respostas da comunidade de invertebrados aquáticos frente às variações na disponibilidade de recursos alimentares em trechos de riacho epígeo e hipógeos. Para tal, pretendeu-se responder às seguintes questões:

1) Quais as taxas de importação e lixiviação da matéria orgânica vegetal nos sistemas epígeo e hipógeo?

2) O aumento na quantidade de matéria orgânica vegetal no trecho hipógeo do riacho acarretaria em variações na composição e na estrutura da comunidade aquática cavernícola?

3) A simulação de pressões ecológicas, como diminuição da quantidade de luz e de recursos alimentares em um trecho do riacho epígeo, influenciaria na composição e estrutura da comunidade local?

4) A estruturação da comunidade de invertebrados aquáticos cavernícolas está estritamente relacionada à escassez de recursos alimentares?

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **Local de estudo**

O trabalho foi realizado no riacho que percorre a gruta do Mandembe, localizada, geograficamente, nos pontos S21°32'38,1'' e W44°47'57,3'' no município de Luminárias. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, com verão úmido e inverno seco apresentando temperaturas médias anuais de 19,61°C e precipitação média anual de 1.529,7mm (Prefeitura Municipal de Luminárias, 2005).

A caverna, de litologia quartzítica, apresenta projeção horizontal de 244 metros e desnível de 18 metros, sendo o conduto principal atravessado, em toda a sua extensão, pelo ribeirão do Mandembe (Figura 1). Além disso, existe um conduto secundário que apresenta algumas partes com teto baixo, por onde percorre um tributário que se comunica com o conduto principal da caverna. Este tributário recebe águas provenientes de infiltração via solo e, posteriormente, a rocha, estando associado a um sistema epicárstico. Tanto os trechos de riachos epígeos quanto os trechos de riacho hipógeo apresentam áreas de remanso e corredeiras e o substrato é composto, basicamente, por folhijo de fundo, seixos de areia e laje de pedra. A vegetação do entorno é, predominantemente, de mata de galeria, constituída por espécies mais desenvolvidas e frondosas que acompanham os trechos a montante e a jusante da caverna.

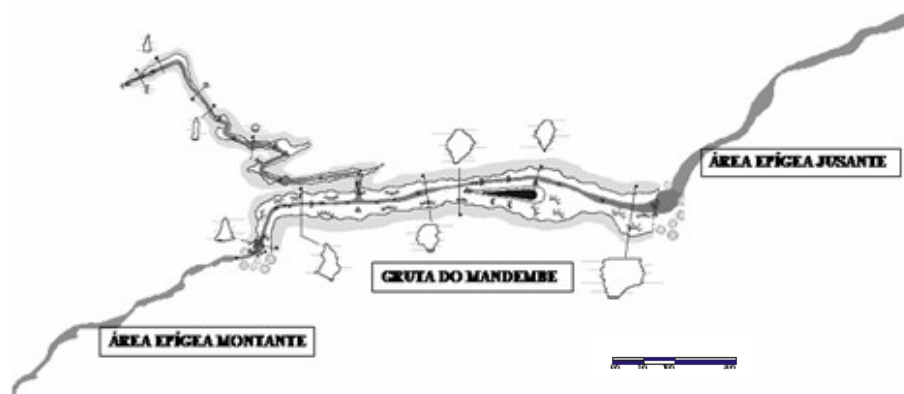


FIGURA 1 Mapa da gruta do Mandembe, com destaque dos trechos epígeos e hipógeos do riacho

## Procedimentos

### Premissas teóricas e planejamento do experimento

Experimentos nos quais foram realizadas manipulações de detritos vegetais em riachos localizados em regiões temperadas já demonstraram a influência do aporte, do estoque e da exportação da matéria orgânica na eficiência dos ecossistemas aquáticos (Bãnuelos et al., 2004). Além disso, trabalhos que analisaram o aumento da deposição de detritos em ambientes lóticos indicaram que a maior disponibilidade de recursos alimentares eleva a diversidade nesses ambientes (Palmer et al., 2000). Além disso, estudos realizados também em ambientes lóticos temperados confirmam que a exclusão de detritos em riachos reduz a quantidade de invertebrados, fazendo com que várias espécies desapareçam simultaneamente (Wallace et al, 1997; Eggert & Wallace, 2003).

Sabe-se que os ambientes cavernícolas são considerados, em sua maioria, naturalmente oligotróficos e, como consequência, a fauna se estrutura

de maneira mais simplificada (Culver, 1982; Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Trajano, 2000; Ferreira, 2004). Porém, ainda nenhum estudo evidenciou qual o efeito de um possível aumento na quantidade de recursos tróficos sobre uma comunidade aquática cavernícola. Da mesma forma, nenhum experimento já demonstrou qual o resultado da simulação de pressões ecológicas comuns em ambientes cavernícolas sobre uma comunidade aquática epígea.

A partir dessas premissas apontadas, buscou-se compreender, por meio da realização de um experimento, as implicações das variações na disponibilidade de recursos alimentares na determinação de alterações nas comunidades de invertebrados aquáticos, tanto cavernícolas quanto epígeos. Presumiu-se que a importação artificial de recursos alimentares para um riacho cavernícola poderia acarretar as seguintes possibilidades (seguidas por suas respectivas hipóteses):

**A) a fauna cavernícola poderia permanecer inalterada perante o experimento** (neste caso, a quantidade de recursos tróficos não consiste de uma pressão seletiva primordial para as comunidades subterrâneas, isto é, existem outras variáveis mais importantes que a escassez alimentar regulando as comunidades);

**B) a riqueza da fauna hipógea poderia diminuir diante à alteração** (a quantidade de recursos tróficos, neste caso, compreenderia uma pressão seletiva negativa para as comunidades subterrâneas, contrariando as afirmações da literatura);

**C) a riqueza da fauna hipógea poderia aumentar, porém continuar sendo menor quando comparada à fauna epígea** (a quantidade de recursos tróficos, neste caso, consiste de uma pressão seletiva importante para as comunidades subterrâneas, mas existem outras pressões seletivas também regulando as comunidades);

**D) as faunas epígea e hipógea poderiam tornar-se semelhantes em termos de número de espécies** (a quantidade de recursos tróficos, neste caso, consiste da principal pressão seletiva atuando sobre as comunidades subterrâneas);

**E) a riqueza da fauna hipógea poderia aumentar, ultrapassando a riqueza encontrada na fauna epígea** (neste caso, o ambiente cavernícola seria bem mais atrativo que o externo. A riqueza subterrânea só é menor que a encontrada nos ambientes epígeos devido à escassez alimentar).

Da mesma maneira, entendeu-se que a criação de um ambiente que simulasse as pressões ecológicas comuns em sistemas subterrâneos, tais como pouca entrada de luz e de recursos alimentares, levaria às seguintes respostas da fauna de invertebrados aquáticos:

**A) a comunidade poderia permanecer inalterada perante o experimento** (pressões seletivas, tais como escassez alimentar e baixa entrada de luz, não influenciam a comunidade epígea, ou seja, outros fatores além destes são responsáveis pela regulação da comunidade);

**B) a riqueza poderia aumentar diante da alteração em comparação à fauna anteriormente observada** (a presença de luz e de recursos tróficos em um riacho compreenderia uma pressão seletiva negativa para as comunidades aquáticas, contrariando as afirmações da literatura);

**C) a riqueza poderia diminuir, quando comparada à fauna anteriormente observada** (neste caso, a oferta de recursos tróficos e a entrada de luz no ambiente consistem em pressões seletivas fundamentais para as comunidades epígeas).

### **Ajuste da proposta inicial**

Com base nas idéias propostas, teve início, em outubro de 2006, o processo de instalação dos componentes estruturais relativos ao experimento. A princípio, pretendia-se que o trabalho fosse executado ao longo de 12 meses, compreendendo tanto a estação seca quanto a chuvosa. Entretanto, a ocorrência de fortes fluxos de inundação nos meses da estação chuvosa impossibilitou a manutenção do experimento nesse período. No mês de dezembro de 2006, a magnitude de um desses fluxos de inundação foi vivenciada pelos pesquisadores envolvidos no projeto, durante um dos trabalhos de campo. A partir do intenso fluxo presenciado, pôde-se compreender a inviabilidade do projeto perante as imposições naturais do local, conforme demonstrado na Figura 2. Durante o episódio presenciado, o nível da água subiu cerca de 2 metros no interior da caverna, em menos de 5 minutos. Os pesquisadores ficaram presos na cavidade por cerca de 40 minutos, até que o nível da água baixasse, permitindo o acesso ao meio externo. Tais fluxos resultam da canalização das drenagens epígeas para o confinado espaço subterrâneo, o que eleva com extrema velocidade a vazão da drenagem hipógea. O fato surpreende em decorrência da situação topográfica da caverna, inserida em um alto de serra, em uma porção bastante inicial da drenagem. Dada a localização da caverna, não era esperado um fluxo de tamanha magnitude.

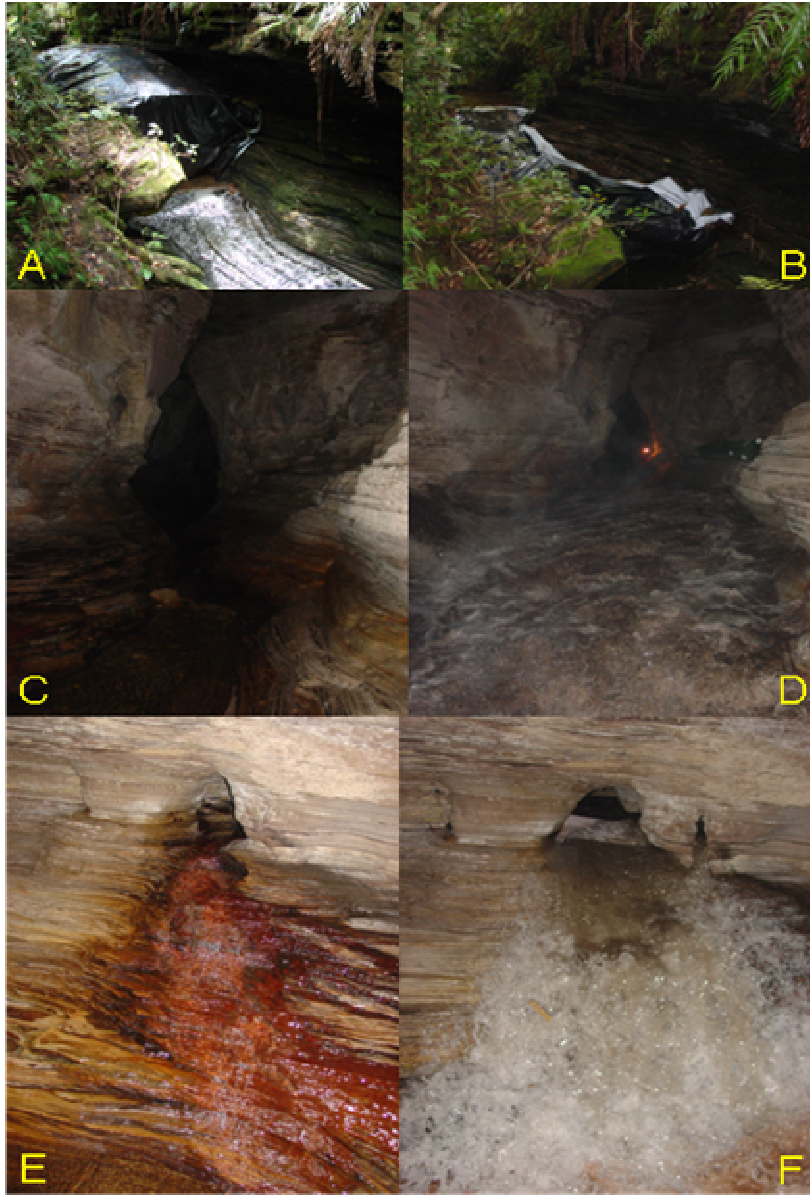


FIGURA 2: A) Estrutura de exclusão instalada em outubro e B) estrutura destruída em um pulso de inundação (fotografia tirada no mês de dezembro); C) riacho que percorre a gruta do Mandembe e D) detalhe do mesmo local em um momento de um pulso de inundação; E) tributário que encontra o trecho hipógeo do riacho do Mandembe e F) mesmo local em um momento de pulso de inundação.

Diante da impraticabilidade de manter a instalação do experimento e do risco de visitar a caverna durante o período chuvoso, optou-se por diminuir o tempo de execução do estudo. Assim, o experimento foi novamente instalado em abril de 2007, permanecendo intacto até o mês de outubro, quando as estruturas voltaram a ser novamente destruídas pela ação dos fluxos de inundação (Figura 3). Portanto, o experimento foi executado ao longo de seis meses e os procedimentos aplicados são descritos à frente.



FIGURA 3: Plote de enriquecimento destruído pela ação dos fluxos inundação da caverna

### **Instalação do experimento**

#### **Importação de detritos ao riacho epígeo**

Para a quantificação dos detritos importados para um trecho do riacho epígeo, foram instaladas redes ao longo do canal do riacho, que forneceram a quantidade de matéria orgânica mensal que se desprendeu diretamente da vegetação da mata de galeria. A queda direta da matéria orgânica foi verificada em seis pontos do riacho, situados no trecho a montante da caverna. Dessa forma, foram instaladas seis redes, somando um total de área 16,75m<sup>2</sup>, dispostas na secção transversal do riacho e fixadas em árvores presentes no entorno (Figura 4A).



Todo o material retido nas redes foi acondicionado em sacos plásticos, secado e, posteriormente, separado em categorias de folhas, gravetos e fragmentos. A categoria fragmentos abrangeu diminutas flores e frutos de difícil separação. A quantificação mensal da taxa de importação de material orgânico coletado pelas redes foi feita por meio do peso seco, sendo o material acondicionado em estufa (70°C, durante 24 horas) e pesado em balança digital.

A taxa de produção da serapilheira foi avaliada mensalmente, utilizando-se coletores distribuídos no entorno da mata de galeria a montante da gruta. No total, 11 coletores com formato de cone e medidas de 40cm de diâmetro e 60cm de profundidade foram posicionados em diferentes locais no chão da mata (Figura 4B). Todo o material retido nos coletores foi secado, separado nas mesmas categorias previamente citadas e pesado conforme descrito acima.

### **Transporte de detritos no riacho subterrâneo**

De modo a reter a passagem da matéria orgânica particulada transportada pelo riacho, foram instaladas, na secção transversal do curso d'água, três redes de contenção na caverna. A rede 1, instalada na entrada da gruta, forneceu a quantidade de matéria orgânica importada mensalmente para o interior da cavidade (Figura 4C). A rede 2, instalada próximo à ressurgência do riacho, reteve os detritos exportados da caverna (Figura 4D). Finalmente, a rede 3, instalada no conduto secundário, nas proximidades do contato entre a drenagem tributária e a principal, forneceu a quantidade de detritos importados por essa via (Figura 4E). Mensalmente, todo material retido nas redes foi acondicionado em sacos plásticos, levado ao laboratório e separado em categorias de folhas, troncos e fragmentos. A medida da taxa de importação de detritos foi obtida por meio do peso seco (70°C, 24 horas).

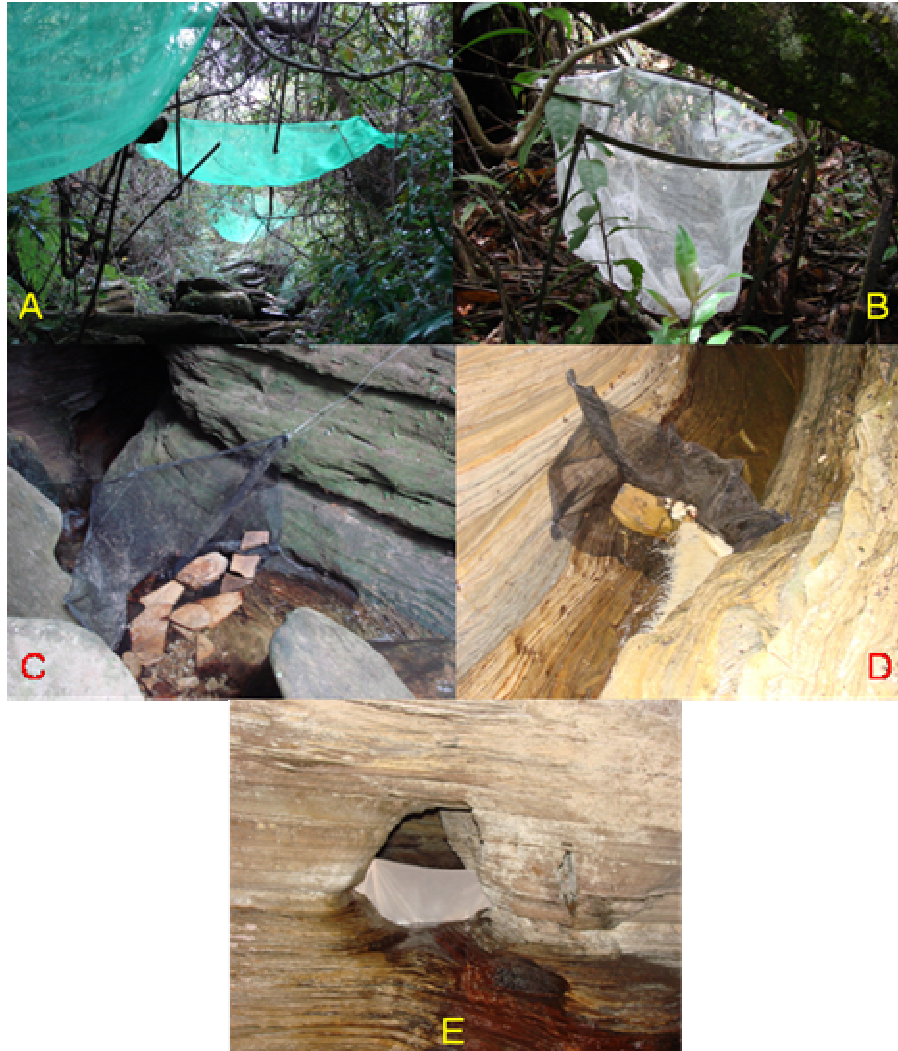


FIGURA 4 A) Redes externas dispostas ao longo do riacho e B) coletores de serapilheira; C) rede 1 próxima ao sumidouro D) rede 2 próxima à ressurgência; E) rede 3 na drenagem tributária.

### **Alterações tróficas no ambiente hipógeo**

Para avaliar a influência da disponibilidade de recursos alimentares sobre a comunidade de invertebrados aquáticos, realizou-se um enriquecimento artificial da quantidade de recurso vegetal disponível no interior da cavidade. Para tal, a matéria orgânica fornecida à fauna foi distribuída igualmente em quatro “plots” de enriquecimento. Cada plote apresentava 20 centímetros de altura, 50cm de largura e 2 metros de comprimento. A armação era composta por tubos soldáveis de PVC 20mm, sendo envolvidos em toda a sua extensão por uma tela de náilon do tipo “mosquiteiro”, com abertura de malha de 1cm<sup>2</sup>. Todas as extremidades e conexões foram coladas com adesivo de PVC e reforçadas com Poliepox. A instalação no fundo do riacho da caverna foi feita em locais mais propícios ao acesso e à manutenção dos plots.

Os quatro plots permaneceram no fundo do riacho, atados a arames galvanizados que, por sua vez, estavam ligados a pinos de ferro fixados diretamente à rocha. Também foi usado o peso de pedras dispostas sobre os plots para mantê-los submersos. Uma abertura central permitia acesso ao interior dos plots para a introdução de matéria orgânica e a retirada de amostras. Após a manipulação, tal abertura era mantida fechada presa por um arame (Figura 5). O plote 1 situou-se mais próximo ao sumidouro, seguido pelo 2, o 3 e o 4, situado mais próximo à ressurgência. Além disso, na extremidade de cada plote, foi instalada uma rede, na qual era indicada a taxa mensal de lixiviação de matéria orgânica.



FIGURA 5: (A) Plote de enriquecimento ainda vazio; (B) preenchimento do plot com folhas e gravetos previamente pesados; (C) plote já cheio, com 14kg de matéria orgânica; (D) processo de instalação do plote no piso da caverna; (E) plote fixado por arame na rocha e prensado por pedras e (F) redes instaladas na porção a jusante do plote.

Para a quantificação e a qualificação da matéria orgânica inicial a ser introduzida no interior dos plotes de enriquecimento, utilizou-se a metodologia descrita a seguir.

1. Primeiramente, foi medida a área ocupada pelo riacho epígeo a montante da cavidade, no trecho compreendido entre a abertura da caverna e o ponto distante 100 metros desta (correspondente à extensão do conduto principal da caverna percorrido pelo riacho). Tal medição foi feita a partir da fórmula de Simpson, que integra as medidas dos comprimentos de segmentos paralelos tomados de forma equidistante sobre o eixo longitudinal do riacho (Ferreira & Martins, 1998). Verificou-se que a área ocupada pelo trecho de riacho epígeo media 188,87 m<sup>2</sup>.

2. Utilizando-se o mesmo método, mediu-se também a área ocupada pelo trecho de 100 metros do riacho hipógeo. A extensão total do trecho cavernícola é de 77,28 m<sup>2</sup>, ou seja, 2,44 vezes menor que a área epígea montante.

3. A partir da medida do peso seco de detritos coletados em seis pontos no fundo do riacho, fez-se uma projeção da quantidade média acumulada em toda a área de piso do trecho externo do riacho. O material foi coletado manualmente em cada ponto, dentro de uma área padronizada (0,25 m<sup>2</sup>), definida por uma armação de plástico feita com tubo PVC 20mm. Os detritos foram acondicionados em sacos plásticos, levados ao laboratório onde foram secos e pesados, somando um total de 1,1 kg para os seis pontos.

4. Com base nos valores de peso seco de detritos e da área ocupada pelo trecho epígeo montante, deduziu-se que a quantidade média de detritos acumulados no fundo do riacho correspondia a 138,5 kg. A partir deste valor total de detritos acumulados no meio epígeo, projetou-se também a quantidade de matéria orgânica a ser incorporada no interior da caverna. Tal quantidade foi determinada pela diferença na área ocupada pelo riacho entre sistemas epígeo e hipógeo. Dessa forma, a quantidade a ser incorporada na caverna corresponderia a 56,6 kg, ou seja, cerca de 14 kg por plote.

5. A partir da categorização da matéria orgânica das redes externas instaladas sobre o riacho, estabeleceu-se que folhas e gravetos seriam os recursos introduzidos nos plotes, pelo fato de serem mais abundantes no sistema epígeo. Pelo peso seco coletado no sedimento, determinou-se que, do material incorporado aos plotes, 45,8% seria composto de folhas e 54,2% de gravetos.

6. Toda a matéria orgânica (26,4 kg de folhas e 29,6 kg de gravetos) foi homogeneamente distribuída em cada plote de enriquecimento, posicionado em diferentes pontos da cavidade.

7. Durante os seis meses de experimento, a matéria orgânica nos plotes foi repostada mensalmente. A quantidade de material adicionada a cada plote foi determinada pela quantidade coletada pelas redes externas instaladas sobre o trecho epígeo a montante do riacho. Esse valor levou em consideração a área total ocupada pelas redes externas em relação à área do riacho epígeo. Dessa forma, as redes perfaziam 8,87% da superfície do riacho e cada cálculo de incremento considerou a quantidade de matéria orgânica coletada no mês anterior. Portanto, tal valor variou mensalmente ao longo do período de execução do projeto.

8. A matéria orgânica que mensalmente foi repostada à caverna era coletada da vegetação e incorporada aos plotes sem nenhum processo de secagem ou esterilização. Optou-se por coletar o material úmido não processado, de forma a simular o que ocorre no sistema natural, isto é, o transporte de materiais externos tal qual se encontram na serapilheira. Inferiu-se que espécies terrestres provavelmente associadas à matéria orgânica certamente morreriam ao serem introduzidas no ambiente aquático. Eventuais espécies que excepcionalmente pudessem sobreviver à submersão seriam consideradas como “incorporadas” ao experimento de enriquecimento. Uma vez que tais espécies terrestres são eventualmente aptas à sobrevivência no meio aquático, elas também poderiam ser naturalmente veiculadas pela água para o sistema hipógeo,

mantendo populações nos recursos submersos (como o caso de certas espécies de ácaros, por exemplo).

9. Mensalmente, foi avaliada a resposta das comunidades de invertebrados aquáticos, frente ao enriquecimento trófico, por meio da coleta de três réplicas amostrais retiradas de cada plote de enriquecimento. Tais amostras foram retiradas manualmente, sendo padronizado um peso de 1,5 kg por plote. Tal peso era mensalmente repostado em cada plote. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados, fixadas em formol 5% e transportadas ao Laboratório de Zoologia da Universidade Federal de Lavras. Posteriormente, as amostras foram lavadas com o auxílio de um sistema de peneiras metálicas (de 2mm e 0,250mm), de modo a separar o material grosso (folhas grandes e gravetos) do material mais particulado. Todos os organismos encontrados foram conservados em álcool 70%, identificados até o nível taxonômico possível por meio de chaves de identificação (Pérez, 1988) e separados em morfoespécies.

As alterações na riqueza, na abundância e na diversidade foram medidas e comparadas antes e após a influência do aumento na quantidade de recursos no interior da cavidade.

### **Alterações tróficas no ambiente epígeo**

Para a simulação de condições ecológicas equivalentes às encontradas em um meio cavernícola, foi construído no riacho epígeo, um ambiente de exclusão de entrada de luz e com baixa disponibilidade de recursos alimentares. A exclusão da entrada de luz e de matéria orgânica vegetal foi feita por meio da instalação uma estrutura metálica coberta por lona preta (Figura 6). Toda a área do piso de fundo do riacho foi limpa, de modo a retirar a matéria orgânica presente no local onde seria construída a estrutura de exclusão. Tal aparato apresentou dimensões de 8 metros de comprimento, largura média de 2,95

metros e altura média de 2 metros (a partir do fundo do riacho) (Figura 6D). O arcabouço, composto por vergalhões de ferro  $\frac{1}{4}$  nervurados, foi fixado diretamente ao paredão rochoso (Figura 6A). As junções dos vergalhões foram amarradas com arames e as extremidades do arcabouço foram amarradas às árvores da vegetação do entorno para melhor sustentação do aparato. A lona preta dupla face cobriu toda a extensão da estrutura, sendo presa nas laterais pelo peso de pedras, de forma a tentar evitar ao máximo, o aporte de recursos alimentares pela vegetação e a entrada de luz no ambiente (Figura 6E). As extremidades do aparato foram cobertas em toda a sua altura pela lona, de modo que a entrada no ambiente para a coleta de material biológico era feita pela porção final mais a jusante, na qual a lona podia ser levantada. Além disso, foram instaladas duas redes de contenção, uma rente ao aparato e outra próximo a ele, como forma reter a chegada de detritos e abrandar de entrada de alimento carregado pela água (Figura 6B e C).





FIGURA 6 (A) Arcabouço da estrutura com os vergalhões unidos por arame e fixados à rocha; (B) instalação da rede de contenção para a barragem de entrada de matéria orgânica; (C) detalhe da rede de contenção sobreposta pela lona; (D) vista do interior da estrutura na posição jusante para montante, com dimensões de altura e largura; (E) vista superior, demonstrando a extensão da estrutura na posição jusante para montante e (F) vista parcial da estrutura na posição montante para jusante.

Mensalmente, avaliou-se a resposta das comunidades bentônicas frente à alteração de recursos tróficos pela coleta de três réplicas amostrais do sedimento de fundo deste ambiente de exclusão. Os procedimentos de coleta foram

semelhantes ao já anteriormente descrito. As alterações na estruturação da comunidade foram medidas e comparadas antes e após a influência da diminuição na quantidade de recursos e na entrada de luz no trecho epígeo. A comparação foi feita a partir dos resultados já previamente encontrados nos pontos J8 e J9 (Capítulo I), situados no local onde foi construída a estrutura de exclusão.

A localização de todo o experimento no local de estudo, abrangendo os itens importação de detritos ao riacho epígeo, transporte de detritos no riacho subterrâneo, alterações tróficas no ambiente hipógeo e alterações tróficas no ambiente epígeo, encontra-se sumarizada na Figura 7.

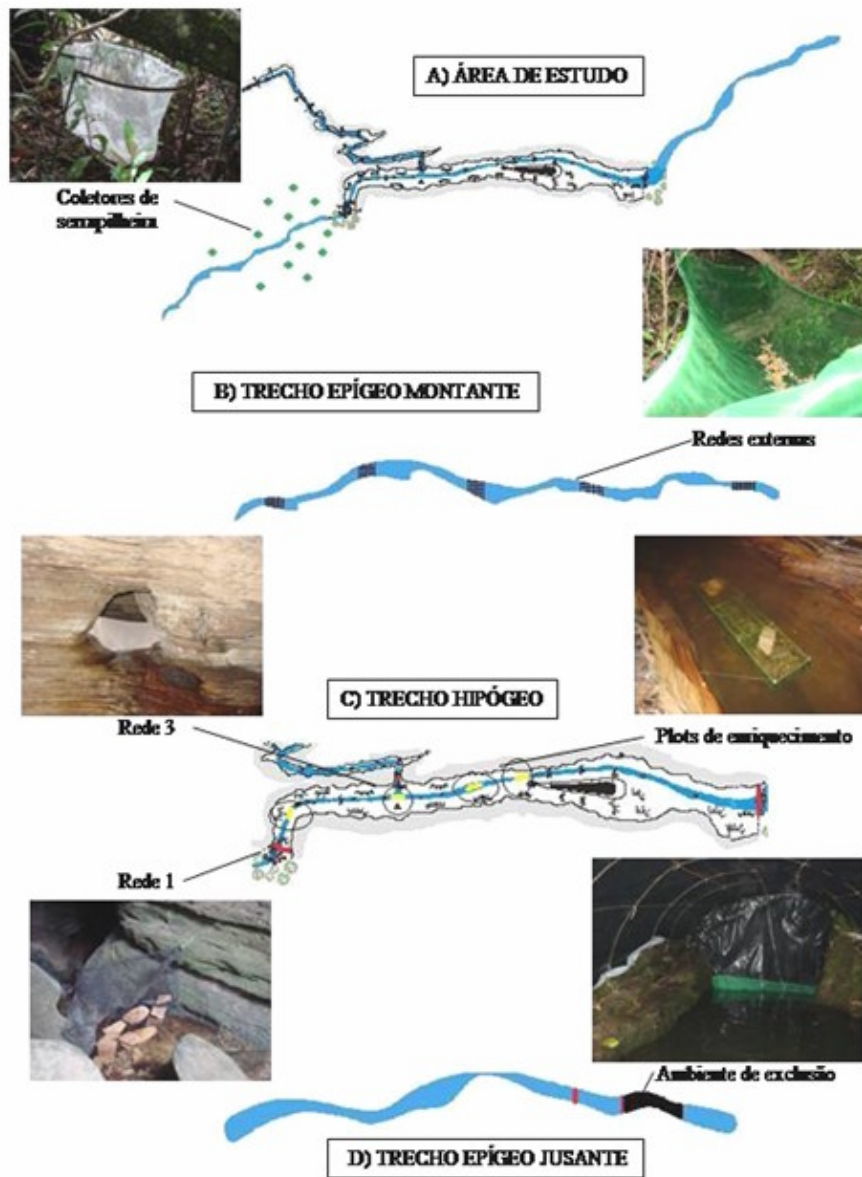


FIGURA 7: A) Vista geral do local do experimento, em destaque foto dos coletores de serapilheira; B) trecho de riacho epígeo a montante da gruta, foto das redes externas dispostas ao longo do canal do córrego; C) trecho de riacho hipógeo no interior da gruta do Mandembe, em destaque, fotos das redes de contenção 1 e 3 e dos plots de enriquecimento e D) trecho de riacho epígeo a jusante da gruta; em destaque, foto do ambiente de exclusão.

### **Análise dos dados**

Para a averiguação das possíveis alterações nos valores de riqueza de espécies antes e após a realização dos experimentos, foram utilizados como referência os resultados encontrados no Capítulo I. Como o número de pontos de coleta epígeos (20 pontos) foi superior ao da caverna (10 pontos), buscou-se encontrar um valor médio de riqueza que representasse a área epígea como um todo e que fosse comparável ao número de amostras do conduto principal da caverna. Para tal, somou-se a riqueza de todos os pontos epígeos ímpares (M1, M3, M5, M7, M9, J1, J3, J5, J7 e J9) e de todos os pontos epígeos pares (M2, M4, M6, M8, M10, J2, J4, J6, J8 e J10) das áreas a montante e a jusante. Também foram realizados três sorteios consecutivos, com 10 pontos cada (5 montante e 5 jusante), obtendo-se os respectivos valores de riqueza de cada sorteio. A partir desse método aleatório, foram encontrados cinco valores de riqueza, dos quais foi extraído um valor médio de 160 espécies, utilizado como valor de referência. Tal método também foi repetido com a realização de cinco sorteios, dessa vez abrangendo 14 pontos epígeos (7 montante e 7 jusante), para também encontrar um valor médio de riqueza. Esse valor de 175 espécies, referente ao ambiente epígeo, foi usado para a comparação com o ambiente hipógeo, incluindo, desta vez, os 4 pontos amostrados na drenagem tributária (epicarste).

A determinação do aumento da riqueza cavernícola durante o experimento foi realizada a partir da presença de novas espécies, isto é, com o primeiro registro na caverna. Espécies encontradas no interior dos plotes de enriquecimento foram consideradas novas, ou seja, ainda não amostradas no ambiente subterrâneo, a partir da comparação com os resultados obtidos no Capítulo I. Assim, espécies que não haviam sido coletadas na área hipógea foram definidas como as responsáveis pelo processo de enriquecimento.

Todos os cálculos foram feitos analisando-se somente o conduto principal e, posteriormente, considerando também o compartimento epicárstico. Os procedimentos para a averiguação do processo de enriquecimento de espécies, seguidos por um exemplo hipotético (entre parênteses e em itálico), estão detalhados a seguir:

1. primeiramente, foi determinado que o número de espécies externas correspondia ao total de espécies presentes no meio epígeo (100% das espécies) para fins de comparação com a fauna hipógea durante o experimento. A partir do número de espécies cavernícolas, fez-se a projeção do percentual hipógeo em relação ao número de espécies epígeas (por exemplo, se o número de espécies epígeas fosse igual 100 e o número de espécies hipógeas fosse igual a 50, a riqueza hipógea corresponderia a 50% da epígea);

2. foi contabilizado o número de ocorrências de espécies encontradas nos plotes de enriquecimento. As espécies que foram coletadas pela primeira vez, ou seja, não registradas no levantamento do Capítulo I, foram somadas ao valor bruto epígeo. Tais espécies foram assim incorporadas levando em consideração que sua provável origem seria realmente o ambiente epígeo e não o hipógeo. Isso se justifica pelo fato de o trecho de riacho epígeo apresentar maior variedade de micro-habitats e recursos tróficos diversificados, podendo compreender um número muito maior de espécies que o ambiente cavernícola (continuando com o mesmo exemplo citado acima: se tivessem sido encontradas 15 espécies novas nos plotes, das quais 5 representassem espécies registradas pela primeira vez durante todo o período amostral, tais espécies seriam acrescidas ao grupo de espécies epígeas. Dessa forma, para a base de cálculo, o valor bruto epígeo passaria a ser de 105 espécies);

3. o número de espécies novas encontradas nos plotes foi somado ao valor de espécies anteriormente encontrado na caverna. Foi calculado o novo valor percentual hipógeo em relação ao epígeo após o enriquecimento (pelo

exemplo, com a soma das espécies novas encontradas nos plotes, a caverna passaria a ter 65 espécies com o enriquecimento. Tal valor passaria a corresponder a 61,9% do total epígeo (105 espécies). Neste caso, haveria um aumento de 11,9% da riqueza da caverna a partir do enriquecimento);

4. foram determinadas quantas espécies presentes nos plotes já existiam na caverna, antes do experimento. Esse valor foi subtraído pelo valor total das espécies hipógeas, a fim de se determinar o número de espécies cavernícolas que não colonizaram os plotes de enriquecimento. Tal escolha levou em consideração que o substrato orgânico escolhido para o experimento foi seletivo. (assim, se nos plotes tivesse sido encontrada uma riqueza total de 35 espécies e, destas, 15 tivessem sido consideradas “novas”, o restante (20 espécies) já existia no ambiente cavernícola. Dessa forma, se, antes do enriquecimento, havia 50 espécies na caverna, das quais 20 foram encontradas nos plotes, conclui-se que 30 espécies cavernícolas não colonizaram os plotes);

5. determinou-se a porcentagem de espécies cavernícolas que colonizaram os plotes, ou seja, que foram atraídas pela matéria orgânica vegetal incorporada ao sistema e a porcentagem de espécies que não responderam à adição desse recurso (dessa forma, constatou-se que, das espécies cavernícolas (50 espécies), 40% colonizaram os plotes (relativo às 20 espécies) e o restante, 60%, não respondeu à adição do recurso vegetal, relativo às 30 espécies);

6. foi projetada a porcentagem de aumento de riqueza potencial na caverna, caso o enriquecimento trófico também tivesse sido realizado pelo incremento de outros tipos de recursos alimentares além dos vegetais (como guano e caracas animais). Projetou-se, dessa forma, uma atração de 100% dos organismos epígeos possíveis de se estabelecerem na caverna (projeção esta feita tomando como base a proporção de espécies atraídas pelos plotes no interior da caverna), caso uma gama mais diversificada de recursos tivesse sido incorporada ao sistema. Tal cálculo foi realizado a partir da porcentagem de aumento real,

comparada à porcentagem das espécies cavernícolas que colonizaram os plotes (seguindo o exemplo, o enriquecimento proporcionou um aumento real de 11,9% de espécies, referente àquelas atraídas pelo recurso vegetal. Tais espécies seriam comparáveis aos 40% de espécies do sistema subterrâneo atraídas pela matéria vegetal. Dessa forma, a partir da provável adição de recursos alimentares variados, considerou-se que os 60% de espécies “restantes” poderiam ser atraídas. Assim, incorporando ao aumento “real” esta possibilidade, o aumento potencial de espécies passaria a ser de 29,75%);

7. com a determinação de que a riqueza epígea corresponde ao valor de 100% das espécies (item1), calculou-se o número de espécies novas a partir do aumento potencial de espécies com o enriquecimento de recursos variados (assim, já que o número de espécies epígeas corresponde a 105 - relacionado a 100% de riqueza -, o número de espécies esperado com o aumento potencial de 29,75% seria de 31,2 espécies, valor arredondado para 31 espécies);

8. por fim, foi obtido o valor total de aumento de espécies por meio da soma da riqueza da caverna (encontrada antes do experimento) com a riqueza que possivelmente seria encontrada com o enriquecimento de variados tipos de recursos alimentares (somaram-se, portanto, 50 espécies com 31, totalizando um potencial aumento de 81 espécies).

Esse mesmo método foi repetido com os valores inferidos por dois estimadores de riqueza (Jackknife 2 e Chao 2). Esses cálculos também levaram em consideração a análise somente do conduto principal da caverna e a análise conjunta considerando o conduto principal e o tributário (epicarste).

O método Jackknife 2 estima a riqueza total somando a riqueza observada (número de espécies coletadas) a um parâmetro calculado a partir do número de espécies raras e do número de amostras. Tal método considera uma espécie como rara utilizando *uniques* (número de espécies que ocorrem em apenas uma amostra) e *duplicates* (número de espécies que ocorrem em duas

amostras). Já no método Chao 2, a riqueza estimada corresponde à riqueza observada, somada ao quadrado do número de espécies representadas por apenas um indivíduo nas amostras (*singletons*), dividido pelo dobro do número de espécies com apenas dois indivíduos (*doubletons*). Essa equação é adaptada para utilizar o número de espécies que ocorrem, respectivamente, em uma ou em duas unidades amostrais (*uniques e duplicates*) (Santos, 2004).

Além disso, foi feita uma análise de componentes principais (PCA), abrangendo os valores de matéria orgânica vegetal encontrados nas redes externas, nas redes de contenção da entrada, da saída e do epicarste. Os coletores de serapilheira foram excluídos destas análises porque não estavam diretamente inseridos no sistema. Da mesma forma, foi realizada a mesma análise (PCA) entre os valores de abundância de espécies em todas as coletas nos plotes de enriquecimento. Todas as espécies que só foram coletadas uma vez foram excluídas da análise. Para cada plote também foram calculados os índices biológicos de diversidade e de equitabilidade pelo índice de Shannon-Wiener (Zar, 1999, Magurran, 1988).

Foram obtidos os dados meteorológicos captados nos meses de maio a outubro de 2007, na Estação Climatológica de Lavras, sendo essa a mais próxima do município de Luminárias. A quantidade de matéria orgânica presente nas redes externas dispostas ao longo do canal do riacho foi correlacionada, por meio de regressões lineares, aos dados meteorológicos. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram logaritimizadas (Log). Todas as análises deste estudo foram feitas com a utilização dos softwares Statistica for Windows - Stasoft (2006) ® e “Biodiversity Pro-<sup>©</sup>” (1997).



## 4 RESULTADOS

### Importação de detritos ao riacho epígeo

As seis redes instaladas ao longo do canal no trecho a montante da caverna forneceram a quantidade de matéria orgânica mensal que é aportada diretamente da vegetação da mata de galeria para o riacho. Dentre as seis coletas realizadas, as folhas se apresentaram como o recurso mais intensamente importado para o riacho, perfazendo cerca de 71% do total encontrado (Tabela 1).

TABELA 1 Peso seco, em gramas, da matéria orgânica presente nas redes externas no trecho epígeo a montante do ribeirão do Mandembe

<b>Redes externas</b>	<b>1ª coleta</b>	<b>2ª coleta</b>	<b>3ª coleta</b>	<b>4ª coleta</b>	<b>5ª coleta</b>	<b>6ª coleta</b>
Folhas	151,233	266,394	332,836	353,609	479,194	300,606
Gravetos	140,093	66,928	17,387	28,993	84,222	49,215
Fragmentos	42,703	22,359	26,291	47,891	115,758	53,422
<b>TOTAL</b>	<b>334,029</b>	<b>355,681</b>	<b>376,514</b>	<b>430,493</b>	<b>679,174</b>	<b>403,243</b>

Um resultado semelhante também pôde ser verificado entre os 11 coletores dispostos no interior da mata de galeria, nos quais a maior representatividade da matéria orgânica foi devido à queda de folhas na serapilheira (com 72% do total), conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 2 Peso seco, em gramas da matéria orgânica, presente nos coletores de serapilheira no interior da mata de galeria do entorno do ribeirão do Mandembe

<b>Coletores de serapilheira</b>	<b>1ª coleta</b>	<b>2ª coleta</b>	<b>3ª coleta</b>	<b>4ª coleta</b>	<b>5ª coleta</b>	<b>6ª coleta</b>
Folhas	95,758	31,516	58,196	65,924	354,832	38,087
Gravetos	45,49	10,994	3,978	5,209	85,529	0,576
Fragmentos	36,525	0,0	0,0	2,075	40,678	7,83
<b>TOTAL</b>	<b>177,773</b>	<b>42,51</b>	<b>62,174</b>	<b>73,208</b>	<b>481,039</b>	<b>46,493</b>

### Transporte de detritos no riacho subterrâneo

A rede de contenção instalada no sumidouro do ribeirão do Mandembe (rede 1) apresentou a matéria orgânica mais homoganeamente distribuída entre as categorias folhas, gravetos e fragmentos, quando comparadas às redes externas e aos coletores de serapilheira. As folhas contribuíram com 37% do peso seco total de recurso importado à caverna nas coletas, seguida pelos gravetos, com 34,6% e fragmentos, com 28,3%. Já a rede instalada próximo à ressurgência (rede 2) indicou que o recurso mais intensamente exportado do ambiente subterrâneo são os gravetos, totalizando 74% do peso seco obtido nas coletas.

Na 5ª coleta (realizada no mês de setembro), houve o rompimento das redes 1 e 2, e a importação e exportação da matéria orgânica vegetal à caverna não pôde ser medida. Nesse mesmo mês, também se verificou a ocorrência de uma grande elevação na quantidade de matéria orgânica aportada às redes dispostas no canal do riacho e nos coletores de serapilheira, conforme demonstrado na Figura 8.

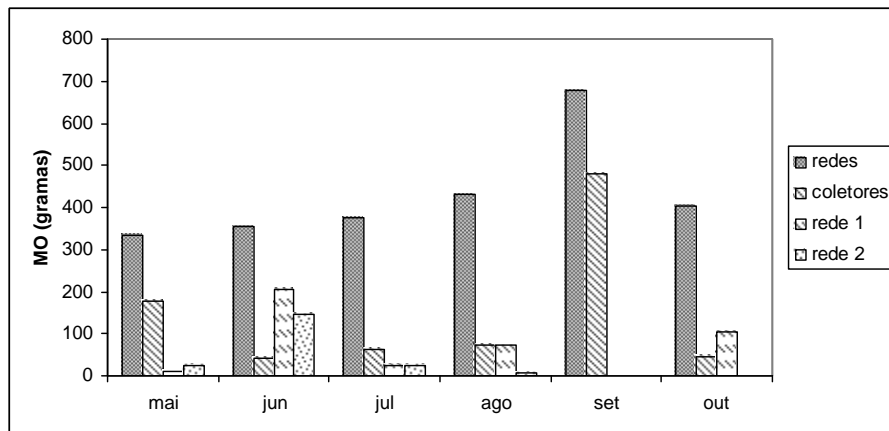


FIGURA 8 Variação da quantidade de detritos (peso seco em gramas) capturados nas redes dispostas ao longo do canal epígeo, dos coletores de serapilheira e das redes de contenção situadas no sumidouro e na ressurgência, durante as 6 coletas mensais.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias dos dados meteorológicos captados na Estação Climatológica de Lavras. Por meio da análise dos dados referentes aos meses de coletas, foi possível observar um aumento nos valores de velocidade do vento, também ocorrido no mês de setembro (Figura 9).

TABELA 3 Dados meteorológicos, entre os meses de maio e outubro de 2007, na estação mais próxima do município de Luminárias. Fonte: Estação Climatológica Principal de Lavras. Convênio INMET/UFLA.

Dados	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temp. °C	18,1	17,3	17,1	18,9	21,0	22,7
Precip. mm	30,4	5,9	17,6	0,0	0,0	130,1
Umid. rel. %	70,0	66,0	67,0	55,0	51,0	59,0
Vel. vento m/s	2,2	2,2	2,2	2,7	3,1	2,7

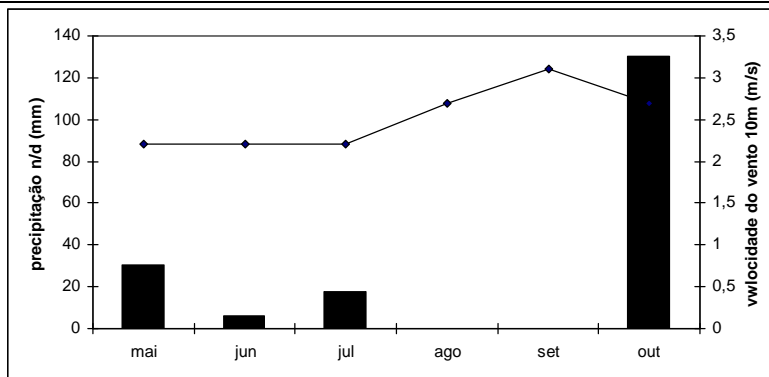
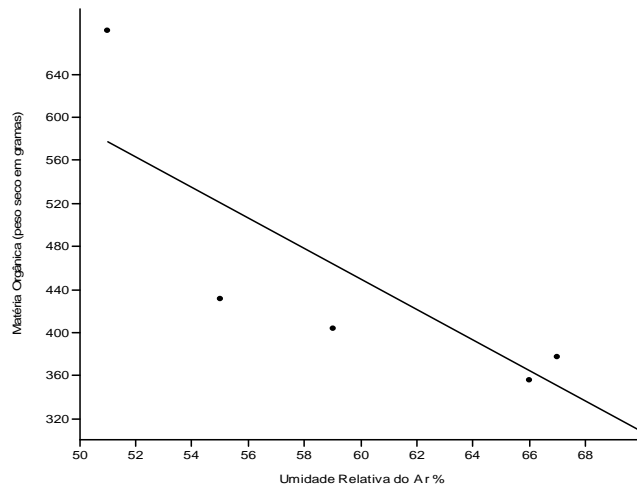


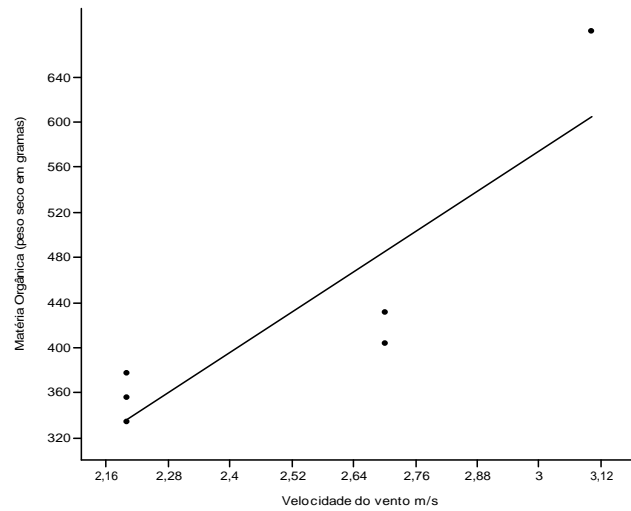
FIGURA 9 Variação da precipitação média mensal, representada por barras e velocidade do vento, representada pela linha, na estação mais próxima do município de Luminárias. Fonte: Estação Climatológica Principal de Lavras. Convênio INMET/UFLA.

A quantidade de matéria orgânica encontrada nas redes externas dispostas no canal do riacho foi positivamente correlacionada com a velocidade do vento  $F = 14,58$ ;  $R = 0,89$ ;  $p < 0,0018$  (Figura 10B) e negativamente correlacionada com a umidade relativa do ar  $F = 9,62$ ;  $R = -0,84$ ;  $p < 0,036$

(Figura 10A). No entanto, não foi encontrada correlação entre temperatura média e precipitação com os dados de matéria orgânica.



(A)



(B)

FIGURA 10 (A) Correlação matéria orgânica (peso seco, em grammas) e umidade relativa do ar (%) e (B) correlação entre matéria orgânica (peso seco, em grammas) e velocidade do vento (m/s).

A rede 3, instalada nas proximidades do contato entre a drenagem tributária e a principal do riacho hipógeo, forneceu a quantidade de matéria orgânica fina (FPOM) importada para a caverna (Figura 11). A variação mensal da quantidade de detritos mostrou-se bastante dissimilar entre o período amostrado, não demonstrando qualquer padrão semelhante ao observado nas variações das redes 1 e 2.

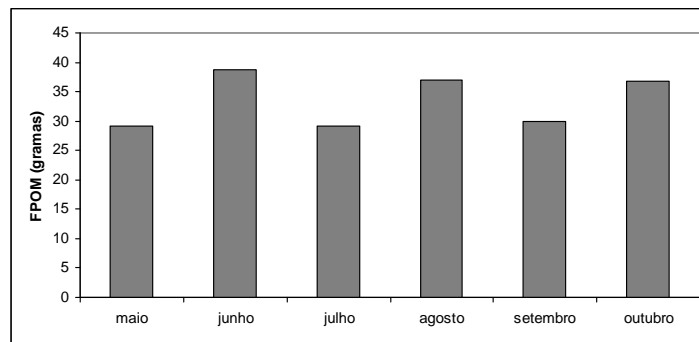


FIGURA 11 Quantidade de matéria orgânica fina (peso seco em gramas) capturada pela rede 3 ao longo das 6 coletas mensais

As redes instaladas na porção a jusante de cada plote informaram a taxa mensal de lixiviação da matéria orgânica em cada local (Figura 12). Foi possível verificar baixos valores mensais nas taxas de lixiviação e pouca variação geral entre os plotes.

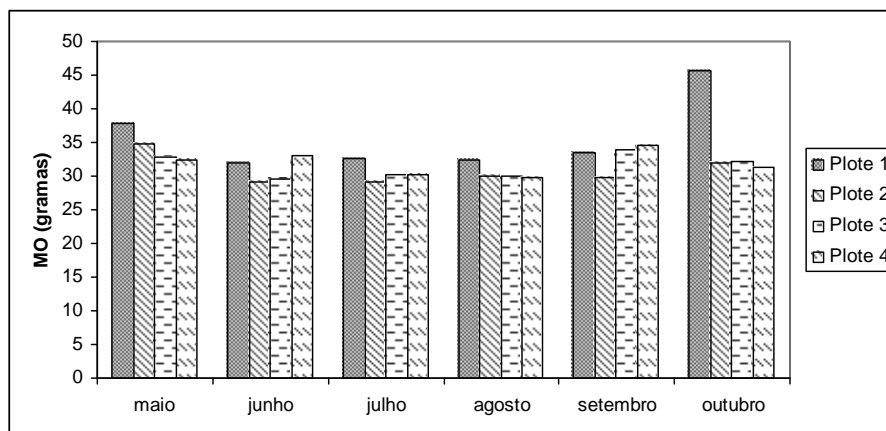


FIGURA 12 Lixiviação mensal da matéria orgânica (peso seco, em grammas) de cada plote

O efeito das alterações tróficas na fauna efetivamente incorporada ao ambiente hipógeo:

O incremento artificial de recursos alimentares na caverna impôs variações na composição e na estrutura da fauna cavernícola, em comparação à anterior composição faunística existente na cavidade (resultados mostrados no Capítulo I). Durante a avaliação mensal da resposta da comunidade de invertebrados aquáticos frente ao experimento de enriquecimento trófico, foi encontrado um total de 2.283 indivíduos distribuídos em 79 espécies. A classe Insecta permaneceu como sendo a mais rica, com 44 espécies, das quais 27 pertenciam à ordem Diptera (21 espécies da família Chironomidae), seguida pela ordem Acari, com 26 espécies. Já as espécies mais abundantes foram representadas pelos *Oligochaeta sp1*, com 481 indivíduos, seguidos pelos *Chironominae sp10* (345 indivíduos), *Tanypodinae sp2* (223 indivíduos) e *Chironominae sp1* (170 indivíduos).

Das 79 espécies encontradas no interior dos plotes de enriquecimento, 37 foram consideradas como novo registro, ou seja, ainda não haviam sido

amostradas no ambiente subterrâneo a partir da comparação com os resultados obtidos no Capítulo I.

A análise que considerou somente a drenagem principal da caverna, excluindo, portanto, a região epicárstica, demonstrou que, das 37 espécies novas encontradas nos plotes, 19 já haviam sido coletadas no ambiente epígeo e 18 foram registradas pela primeira vez. Esse registro adicional foi acrescido ao valor bruto da riqueza epígea, que passou de 196 (Capítulo I) para 214 espécies.

Antes do experimento, as espécies presentes no conduto principal perfaziam 46% da riqueza total encontrada na região epígea. Com o experimento de enriquecimento trófico, foi possível verificar que esse número elevou-se para 59,3% do valor total de espécies epígeas. Dessa forma, admite-se que houve um acréscimo de 13,3% na riqueza de espécies hipógeas com o incremento de matéria orgânica vegetal nos plotes. Como resultado, a comunidade de invertebrados aquáticos cavernícolas, antes caracterizadas por apresentarem com 90 espécies, a partir do enriquecimento alimentar, passou a ser representada por 127 espécies.

Já que das 79 espécies encontradas nos plotes 37 eram “novas”, pode-se inferir que 42 espécies já estavam presentes no conduto principal da caverna. Tal valor demonstra que 46,7% das 90 espécies já existentes na caverna colonizaram os plotes de enriquecimento. O restante, correspondente a 48 espécies cavernícolas (ou seja, 53,3% do total), não foi atraída pela matéria orgânica vegetal adicionada ao ambiente. Pela projeção da porcentagem potencial de 100% de atração, a expectativa do aumento de espécies passaria de 13,3% para 28,5%. Esse valor corresponde a um aumento no valor bruto de 61 espécies (e não 37) com o incremento de variados tipos de recursos alimentares na caverna. Esse valor, somado à riqueza de 90 espécies encontradas antes do experimento, indicaria que a caverna passaria a ter um total de 151 espécies.

Tal valor de 151 espécies se encontra bastante aproximado do valor referencial de riqueza média epígea, de 160 espécies. Dessa forma, pela análise somente do curso principal do riacho hipógeo, percebe-se que, a partir de um incremento alimentar variado, é possível demonstrar que as faunas epígea e hipógea realmente poderiam se tornar semelhantes (ou equiparadas) em número de espécies.

Incluindo o compartimento epicárstico no mesmo método de análise, percebeu-se que, das 37 novas ocorrências nos plotes, 17 espécies já haviam sido registradas no ambiente epígeo e 20 (como não haviam sido evidenciadas nos ambientes epígeo e hipógeo), foram registradas pela primeira vez. Pelo mesmo motivo anteriormente justificado, tal número foi acrescido ao valor bruto epígeo (216), considerando essas espécies como de origem externa.

Verificou-se que o número de espécies nos dois compartimentos cavernícolas representava 57% do total de espécies da região epígea. Tal número foi elevado para 68,9% do total de espécies epígeas, com a realização do experimento. Percebe-se, assim, que conduto principal e epicarste, quando analisados conjuntamente, provocam um aumento de riqueza de 11,9% do total de espécies epígeas. Assim, a comunidade de invertebrados aquáticos hipógeos, antes caracterizada por apresentar-se com 112 espécies, a partir do enriquecimento alimentar, passou a ser representada por 149 espécies.

Um total de 42 espécies, das 79 novas encontradas nos plotes, estava presente nas áreas hipógeas. Assim, 37,5% de 112 espécies foram atraídas pelo recurso alimentar vegetal, sugerindo que o restante (62,5% das espécies remanescentes) não colonizou os plotes de enriquecimento. Por meio da projeção de 100% de atratividade, realizada pelo incremento alimentar diversificado, a perspectiva de aumento de riqueza passaria a ser potencialmente de 31,7% e não mais de 11,9%. Tal valor seria representado por um aumento potencial da riqueza em 69 espécies e não mais 37, como o observado pelo



enriquecimento de somente um tipo de recurso alimentar. Portanto, a riqueza, considerando os dois compartimentos cavernícolas, passaria a ser representada por 181 espécies. Tal número ultrapassa a média referente ao ambiente epígeo de 175 espécies. Dessa forma, pela análise conjunta do conduto principal e do epicarste, é possível notar que, por meio de um incremento alimentar variado, a fauna hipógea apresentaria um número de espécies mais elevado que o ambiente epígeo.

### **O efeito das alterações tróficas nas estimativas da fauna incorporada ao ambiente hipógeo**

Os estimadores não-paramétricos Jackknife 2 e Chao 2 demonstraram que os valores de riqueza esperados para as áreas epígea, hipógea (incluindo ou não o epicarste) e nos plotes de enriquecimento foram maiores que os valores observados (Tabela 4).

TABELA 4 Valores esperados (esp) e observados (obs) entre dois estimadores de riqueza nas áreas: epígea, hipógea (incluindo ou não o compartimento epicárstico) e nos plotes de enriquecimento.

<b>Estimador</b>		Jackknife 2	Chao 2
<b>Montante e jusante</b>	Esperado	284	277
	Observado	196	196
<b>Caverna e epicarste</b>	Esperado	185	169
	Observado	112	112
<b>Caverna</b>	Esperado	134	119
	Observado	90	90
<b>Plotes</b>	Esperado	109	101
	Observado	79	79

#### **Estimador Jack-Knife 2**

Na avaliação que considerou somente o curso principal do riacho hipógeo, inferiu-se que houve, nos plotes de enriquecimento, a presença de 51

espécies novas. Dessas, 26 foram consideradas como epígeas e 25 como novos registros de espécies. Tal registro foi adicionado ao valor estimado epígeo de 284 (Tabela 4), passando a ser representado por 309 espécies.

A partir dos valores esperados, verificou-se que, antes do enriquecimento, as espécies presentes somente do curso principal do riacho hipógeo corresponderiam a 47,1% do total de espécies epígeas. Com o experimento, tais espécies passariam a representar 55,3% do total do valor epígeo. Tal aumento, de 8,2%, indica que a riqueza hipógea passaria de 134 espécies (Tabela 4) para 185 espécies, com o experimento de enriquecimento trófico.

Por esse estimador, seriam encontradas, nos plotes, 109 espécies (Tabela 4), dentre as quais 51 já consideradas como novas e 58 consideradas como existentes no conduto principal da caverna. Dessa forma, 43,3% das espécies seriam encontradas nos plotes, sugerindo que o restante, de 56,7% das espécies, não colonizariam os mesmos. Em um processo de colonização realizada por 100% de atratividade, a expectativa do aumento de riqueza passaria de 8,2% para 18,9%.

Dessa forma, o aumento potencial da riqueza a partir do valor estimado passaria de 51 para 59. Tal fato significa que a caverna passaria de 134 para 193 espécies por meio de um incremento alimentar diversificado. O valor de referência epígeo é de 284 espécies, indicando que, pelo estimador Jackknife 2, mesmo com a adição de recursos alimentares variados, a fauna cavernícola ainda permaneceria com menor número de espécies que a epígea.

Já na análise que compreende o compartimento epicárstico e o conduto principal, deduziu-se que, das 51 espécies novas nos plotes, 24 foram consideradas como já epígeas e 27 como novos registros. Assim, a riqueza epígea passaria de 284 (Tabela 4) para 311 espécies.

Por meio do uso dos valores estimados para a riqueza da caverna e do epicarste, inferiu-se que as espécies hipógeas representavam 65,1% do total epígeo, passando a 75,9% com o experimento de enriquecimento trófico. Esse acréscimo de 10,8% corresponderia a um aumento de 185 (Tabela 4) para 236 do valor bruto de espécies.

Das 109 espécies que seria esperado encontrar nos plotes de enriquecimento (Tabela 4), 58 já existiriam nos dois ambientes hipógeos e 51 seriam realmente novas. Portanto, 31,3% das espécies poderiam ser encontradas nos plotes de enriquecimento e 68,7% das espécies não seriam atraídas somente pela presença de recursos vegetais. Em uma atração de 100% de organismos, o aumento da riqueza passaria a ser de 34,5%.

O potencial acréscimo de riqueza a partir do valor estimado passaria de 51 para 107, caso fossem disponibilizados, na caverna, recursos alimentares diversificados. Isso indicaria que a caverna passaria a ter 292 espécies. O valor epígeo de referência é de 284 espécies pelo estimador Jackknife 2. Portanto, constata-se que, com um incremento alimentar variado, o valor da riqueza hipógea poderia superar o número de espécies epígeas.

### **Estimador Chao 2**

As análises realizadas com os valores estimados para o conduto principal da caverna indicam que, nos plotes, ocorreria um incremento de 47 espécies, sendo 23 dessas avaliadas como novas, sendo acrescentadas ao valor de riqueza de espécies epígeas. Assim, a riqueza epígea seria representada por 300 espécies e não mais por 277, conforme demonstrado na Tabela 4.

Pelos valores estimados, constatou-se que a riqueza hipógea representava 42,9% do total epígeo, aumentando para 52% com o enriquecimento trófico. O aumento de 9,1% da riqueza significaria que as espécies hipógeas aumentariam de 119 (Tabela 4) para 166 espécies.

Com o enriquecimento, seria encontrado, nos plotes, um total de 101 espécies, das quais 47 seriam consideradas novas e 54 como já existentes no conduto principal da caverna. Assim, 45,4% das espécies colonizariam os plotes e o restante (54,6%) não seria atraído pelo recurso alimentar vegetal. Em um processo 100% de atração por recursos alimentares variados, o aumento esperado de riqueza de espécies passaria de 9,1% para 20%, indicando uma adição potencial estimada em 60 espécies. Tal fato significa que a caverna passaria a ter 179 espécies, com a presença de recursos alimentares diversificados. O valor epígeo de referência estimado pelo Chao 2 é de 277 espécies, indicando que, por esse estimador, a adição de recurso alimentar não faria com que a fauna cavernícola se igualasse à epígea.

Já a inclusão do compartimento epicárstico na avaliação indica que das 47 espécies novas que seriam encontradas nos plotes de enriquecimento, 25 seriam consideradas como novo registro e assim adicionadas ao valor epígeo. O número de espécies epígeas passaria de 277 para 299. Pelo valor estimado de riqueza da caverna e epicarste, verificou-se que as espécies hipógeas corresponderiam a 61% da riqueza total externa e com o incremento de matéria orgânica vegetal, esse valor representaria 72,2% da epígea. Assim, o aumento de 11,2% seria correspondente à riqueza de 216 espécies e não mais de 169 (Tabela 4).

A riqueza estimada a ser encontrada nos plotes corresponderia a 101 espécies, dentre as quais 47 seriam consideradas novas e 54 como já existentes nos dois ambientes avaliados. Dentre estas espécies, 27,8% poderiam ser encontradas nos plotes e 72,2% das espécies não colonizariam o recurso vegetal. Desse modo, o aumento esperado da riqueza passaria para 40,3% em um processo de 100% de atratividade, com uma disponibilidade de recursos variada. O acréscimo potencial a partir do valor estimado seria, portanto, de 120

espécies, indicando que o conduto principal e o epicarste apresentariam 289 espécies. O valor epígeo de referência é de 277 espécies pelo estimador Chao 2, sendo possível verificar que, por meio de um acréscimo alimentar, o valor da riqueza hipógea poderia superar o valor epígeo.

Com base nos resultados encontrados pelos estimadores Jackknife 2 e Chao 2, observou-se que quando somente o conduto principal da caverna foi avaliado, ambos estimadores indicaram que, mesmo com o acréscimo de recursos alimentares diversificados a fauna hipógea permaneceria menor que a epígea. Entretanto, o contrário foi verificado quando o conduto principal e epicarste foram analisados conjuntamente, informando que a riqueza hipógea poderia superar a epígea com o experimento de enriquecimento trófico.

#### **Relações entre matéria orgânica e fauna aquática**

Os fatores 1 e 2, extraídos da análise de componentes principais (PCA) realizada a partir da matéria orgânica vegetal encontrada nas redes, explicaram 97,3% da variância total, conforme demonstrado na Tabela 5 e na Figura 13A. A rede de entrada (-0,994), seguida pela rede do epicarste (-0,871), foi a rede com maior explicação no fator 1, extraído da PCA. O fator 1 foi responsável por 37,7% da variação total observada nos dados. As redes externas (-0,982) e a rede de saída (0,571) foram as de maior explicação no Fator 2 extraído da PCA

TABELA 5 Fatores extraídos do PCA feito com a quantidade de matéria orgânica das quatro redes

<b>Redes</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>
Redes externas	-0,06199	-0,98187
Rede de entrada	-0,99404	0,010917
Rede de saída	-0,79639	0,571155
Rede do epicarste	-0,87107	-0,46477
<b>% Variância</b>	<b>37,70%</b>	<b>59,6%</b>

Por meio da realização de um segundo PCA considerando a abundância dos indivíduos de cada espécie encontrados nos plotes de enriquecimento, foi

possível perceber o agrupamento de algumas espécies. Na Figura 13B, verificou-se a formação de três grupos principais formados, principalmente, pela quantidade de matéria orgânica que penetrou no sistema em cada um dos locais. O primeiro grupo de espécies apresentou a tendência de ser determinado pela matéria orgânica que é aportada ao riacho. O segundo agrupamento de espécies foi influenciado pela matéria orgânica que entra na cavidade. O terceiro grupo foi influenciado pela matéria orgânica advinda pela drenagem tributária. O restante das espécies não apresentou uma tendência nítida.

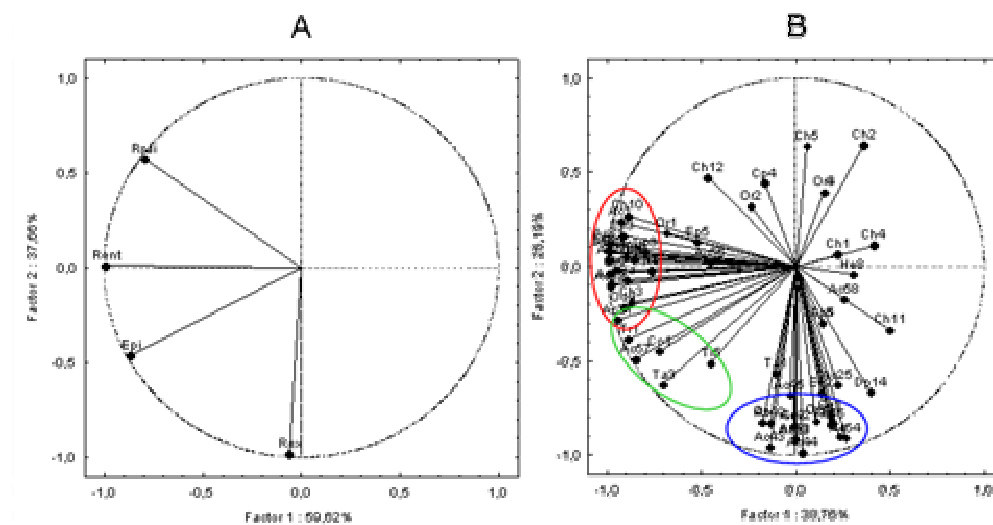


FIGURA 13 (A) Primeiro PCA realizado com as redes dispostas no sistema estudado e (B) segundo PCA realizado com a abundância de espécies. Em destaque, em vermelho, o grupo de espécies influenciadas no local explicado pela rede de entrada; em azul, grupo de espécies influenciado no local, explicado pela pelas redes externas; em verde, grupos influenciados no local explicado pela rede do epicarste.

Por fim, verificou-se, também, correlação positiva entre a quantidade total de matéria orgânica presente nos quatro plotes de enriquecimento e a riqueza de espécies  $F = 4,81$ ;  $R = 0,42$ ;  $p < 0,04$  (Figura 14).

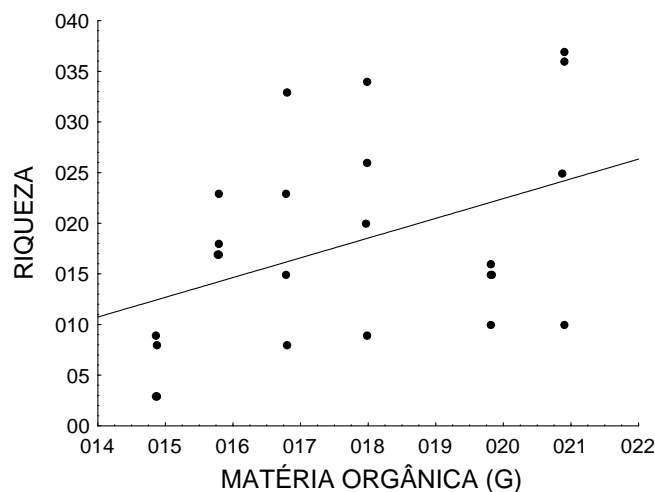


FIGURA 14: Correlação entre matéria orgânica vegetal e riqueza de espécies nos plotes de enriquecimento.

### Alterações tróficas no ambiente epígeo

Com a construção de um ambiente que simulou as condições ecológicas equivalentes às do meio cavernícola, percebeu-se que a estruturação da comunidade no local tornou-se extremamente diferenciada da encontrada anteriormente (pontos J8 e J9, Capítulo I). A riqueza permaneceu inalterada, ou seja, o número de 37 espécies foi listado antes e após a realização do experimento. Contudo, as espécies encontradas foram, em sua maioria, dissimilares, tendo somente 13 permanecido no ambiente, sendo as demais 24 espécies substituídas durante o experimento. Dessa forma, houve a substituição de 65% das espécies com a redução da quantidade de recursos alimentares e luz. Nota-se que, antes da instalação do experimento, foram encontrados 211 indivíduos distribuídos entre os pontos J8 e J9, em uma única coleta. Durante o período amostral, foram realizadas 6 coletas, nas quais se encontrou uma abundância total correspondente a 161 indivíduos. Neste caso, verifica-se a

perda de 74,5% da abundância relativa após a instalação do ambiente de exclusão.

Espécies como Ephemeroptera sp1 e sp2, Chironominae sp2 e Ephemeroptera sp3 puderam ser destacadas por apresentarem o maior número de indivíduos antes da instalação da estrutura de exclusão. Porém, com a realização do experimento, representantes da ordem Ephemeroptera praticamente desapareceram das amostras, sendo que Chironominae sp 2 passou a ser a espécie mais abundante.

## **5 DISCUSSÃO**

### **Transporte de detritos para o riacho epígeo e subterrâneo**

A serapilheira atua na superfície do solo como um sistema de entrada e saída de nutrientes, por meio dos processos de produção e de decomposição. Assim, o acúmulo de serapilheira pode ser considerado como a mais significativa forma de transferência energética, indicando a forte interação entre a vegetação e o solo em florestas tropicais (Ewel, 1976; Martins & Rodrigues, 1999).

Por meio da quantificação da matéria orgânica vegetal retirada dos coletores dispostos na mata, foi possível perceber que as folhas foram os componentes predominantes da produção de serapilheira. Tal contribuição da fração foliar na serapilheira foi próxima ao valor de 70%, como sugerido por Meentmeyer et al. (1982).

Da mesma maneira, o folhiço também compreendeu a categoria mais representativa no aporte de matéria orgânica vegetal para o riacho. Tal fato é comum em ambientes lóticos temperados, onde folhas provenientes da vegetação ripária são as maiores componentes da importação alóctone, sendo consideradas como a maior fonte de energia para os organismos heterotróficos



(Webster et al., 1999). Em um tratamento experimental de exclusão de detritos advindos de vegetação decídua e de eucalipto para um riacho temperado, Bañuelos et al. (2004) também verificaram que a maioria do aporte de CPOM ao ambiente aquático era composta por folhas.

A correlação positiva entre a quantidade de matéria orgânica nas redes externas e a velocidade do vento indica que a provável causa do rompimento das redes de contenção foi o grande aporte de detritos ao riacho no mês de setembro. Martins & Rodrigues (1999), estudando clareiras naturais de uma floresta estacional semidecídua paulistana, encontraram os maiores valores de produção de serapilheira na estação seca e com pico também no mês de setembro. A maior deposição da fração foliar no final da estação seca foi atribuída a uma resposta da vegetação ao estresse hídrico, já que a queda de folhas reduz a perda de água por transpiração. Em adição, a ocorrência de ventos fortes em setembro pode ter atuado como fator de remoção mecânica, causando, assim, um maior transporte e deposição destes materiais no riacho. Da mesma forma que verificado no presente estudo, Martins & Rodrigues (1999) também encontraram correlação negativa entre os valores de umidade relativa do ar e quantidade e produção de serapilheira, sugerindo que tal fato também pode estar relacionado ao estresse hídrico vegetal meses secos.

A matéria orgânica retirada da rede de contenção instalada na entrada da caverna (rede 1) apresentou uma contribuição alóctone mais homogênea distribuída entre as categorias folhas, gravetos e fragmentos. Webster et al. (1999) verificaram que, quando a matéria orgânica cai no ambiente aquático, ela pode ser decomposta ou ser transportada rio abaixo. Admite-se que gravetos, folhas e FPOM que eventualmente caem em um riacho são mais prováveis de serem transportados que quebrados por processos biológicos (Webster et al., 1999).

No entanto, sabe-se que folhas realmente apresentam maiores coeficientes de decomposição que gravetos, sendo, conseqüentemente, mais facilmente decompostas (Wallace et al., 1999; Eggert & Wallace, 2003). Normalmente, as menores taxas de decomposição estão associadas a recursos que apresentam elevadas razões C/N, lignina, taninos e dureza foliar (Pereira et al., 1998; Hoorens et al., 2003). Além disso, a maioria do material orgânico presente na rede 2 (localizada próximo à ressurgência do riacho) foi composta, principalmente, por gravetos. Conclui-se que estes penetram no ambiente subterrâneo antes de começarem a ser metabolizados e são transportados por distâncias bem maiores que as folhas.

Tal fato difere do observado por Simon (2000), no qual o transporte de folhas e gravetos não alcançou longas distâncias na caverna estudada. Tal fato, combinado com as taxas de decomposição, sugerem que a matéria orgânica grossa (CPOM) é eficientemente retida no sistema em estudo.

No presente estudo, como já verificado, folhas são as maiores contribuintes de material alóctone ao ribeirão do Mandembe. Neste caso, presume-se que, dentre os detritos lixiviados para o interior da caverna, a categoria “fragmentos” pode se dever à prévia decomposição de folhas no riacho epígeo. Entende-se, dessa forma, que, possivelmente, a maior parte da matéria orgânica fragmentada que penetra no ambiente cavernícola seria originalmente composta pelo folhiço transformado em sua grande parte em FPOM. Tal fato corrobora com o encontrado em outros estudos, nos quais as folhas foram lixiviadas para o interior das cavernas em quantidades maiores do que troncos, independente da estação do ano (Simon, 2000; Souza-Silva, 2003).

Entretanto, Souza-Silva (2003) admite que a maior parte das folhas transportadas para o ambiente cavernícola em estudo encontrava-se intacta, fato justificado pelas características morfológicas das entradas. Gibert et al. (1994) indicam que a entrada em um sumidouro funciona como um local de confluência

de águas aumentando a magnitude dos fluxos e resultando em colunas d'água mais espessas. O aumento da energia de transporte facilita, dessa forma, a transposição de obstáculos principalmente para os detritos mais maleáveis, tais como folhas (Gibert et al., 1994). Esse fato não se aplica, no entanto, à gruta do Mandembe, já que, durante a estação seca, uma associação de características do riacho epígeo como baixa profundidade, baixa velocidade da água e presença de grandes seixos podem diminuir a importação de folhas intactas ao ambiente cavernícola.

Já a rede 3 (disposta na drenagem tributária) não apresentou um padrão aparente de aporte de matéria orgânica particulada entre os meses de coleta. Não foi encontrada, também, nenhuma relação perceptível entre os eventos ocorridos nos sistemas epígeo/hipógeo aos ocorridos no tributário. Tal fato poderia ser esperado, já que o compartimento epicárstico pode ser considerado um ambiente cuja dinâmica não necessariamente acompanha a observada no conduto principal da caverna. Conseqüentemente, esse ambiente é influenciado por fatores distintos daqueles prevalentes no conduto principal. Simon et al. (2007) também afirmam que, considerando suas distintas origens, a composição do carbono orgânico dissolvido (DOC) difere entre epicarste e riachos que percorrem cavernas calcárias.

### **Alterações tróficas no ambiente hipógeo**

A análise dos resultados encontrados a partir do enriquecimento de recursos alimentares na caverna demonstrou que a composição da fauna permaneceu semelhante à encontrada no conduto principal antes do experimento (Capítulo I). Portanto, grupos predominantes pertencentes ao filo Arthropoda, como a classe Insecta (representada principalmente pelos Díptera Chironomidae) e a ordem Acari foram constantes em todas as coletas. Assim, mesmo com a presença adicional de recursos, a comunidade de invertebrados aquáticos

permaneceu similar em composição à evidenciada na maioria dos trabalhos já realizados em riachos tropicais epígeos e subterrâneos (Trajano 1996; Bichuette & Santos, 1998; Guerreschi & Melão, 1998; Galdean et al, 2000; Bueno, et al, 2003; Majer et al, 2003; Moulton & Magalhães, 2003; Souza-Silva, 2003; Morreti, 2005; Ribeiro & Uieda, 2005).

Todas as análises realizadas para a verificação de acréscimo de espécies pelo experimento de enriquecimento (compreendendo as análises somente com os valores brutos e as realizadas com os valores dos estimadores de riqueza) foram feitas com o objetivo de compilar o maior número de possíveis respostas da comunidade frente ao enriquecimento trófico.

As seis diferentes respostas que possibilitaram a verificação de acréscimo de espécies pelo experimento de enriquecimento acarretaram em três tendências. Uma das análises demonstrou que a riqueza hipógea e a epígea ficariam bastante próximas. Três análises indicaram que a riqueza hipógea poderia se tornar maior que a epígea e duas análises informaram que a riqueza hipógea poderia ainda continuar menor que a epígea.

Assim, ao serem extraídos os valores obtidos pelos estimadores de riqueza Jackknife 2 e Chao 2 no conduto principal da caverna, percebeu-se que o aumento potencial de espécies hipógeas ainda não alcançaria o número de espécies epígeas. Portanto, pelo uso desses estimadores nesta área, conclui-se que a quantidade de recursos tróficos consiste de uma pressão seletiva importante para as comunidades subterrâneas, mas existem outras pressões seletivas também regulando as comunidades. O oposto ocorreu com a inclusão do epicarste nas análises dos dois estimadores. Foi indicado que o número potencial de espécies hipógeas ultrapassaria o valor estimado epígeo. Dessa forma, conclui-se que o meio cavernícola seria bem mais atrativo que o externo. Porém, cabe ressaltar a existência de erros intrínsecos a cada estimador e, dessa

forma, preferiu-se apresentar as conclusões a partir dos resultados observados por meio dos valores brutos encontrados no experimento.

Considerando o resultado que compreendeu a análise conjunta do conduto principal e epicrste, percebeu-se que a riqueza hipógea ultrapassaria a epígea com o enriquecimento. Neste caso, entende-se que o ambiente subterrâneo seria bem mais atrativo que o externo. Só não existem mais espécies em cavernas que nos ambientes epígeos, devido à escassez alimentar.

No entanto, o resultado considerado como o mais adequado para avaliar as reais implicações do enriquecimento trófico sobre a comunidade cavernícola foi aquele que compreendeu somente o conduto principal da caverna. Tal preferência foi adotada pelo fato de o experimento de enriquecimento trófico não ter sido realizado também no compartimento epicárstico.

Assim, o real efeito do enriquecimento trófico evidenciado pelas análises que abrangeram somente o conduto principal da caverna foi demonstrado pelo acréscimo de 37 espécies novas. Dessa forma, o conduto principal da caverna alcançou um total de 127 espécies após o enriquecimento. Tal valor bruto ainda permaneceu menor quando comparado ao valor médio externo de referência (160 espécies). Assim, uma conclusão prévia poderia ser obtida, indicando que o enriquecimento trófico levaria, sim, a um aumento do número de espécies cavernícolas, porém, a comunidade hipógea ainda permaneceria com uma riqueza menor que epígea. Portanto, poderia ser constatado que outros fatores, além da presença de recursos alimentares, também seriam responsáveis pela permanência de espécies no meio subterrâneo.

Entretanto, na gruta do Mandembe existem outras fontes alimentares, tais como guano de morcegos e andorinhões, carcaças, matéria orgânica particulada animal, dentre outros. Dessa forma, algumas espécies poderiam não ter sido atraídas pelo enriquecimento realizado somente por meio da incorporação de recursos alimentares de origem primária. Percebeu-se que

apenas o incremento de um tipo de recurso alimentar não reflete a situação do ambiente subterrâneo em estudo. Assim, ao ser determinado o número potencial de acréscimo da riqueza, houve um aumento para 151 espécies. Tal valor é muito próximo ao encontrado para a média epígea (160 espécies). A partir desse resultado, foi possível sugerir que a principal pressão seletiva que atua sobre as comunidades aquáticas cavernícolas em estudo é a escassez de recursos alimentares. Por meio da oferta diversificada de alimento, as faunas epígea e hipógea, provavelmente, tornar-se-iam semelhantes em número de espécies, comprovando a existência da relação principal entre a disponibilidade de recursos e a estruturação da comunidade.

Ressalta-se, entretanto, que as novas espécies incorporadas aos plotes de enriquecimento envolvem organismos de grupos reconhecidamente pré-adaptados às condições cavernícolas, tais como muitos Diptera (Chironomidae) e Acari. Compreende-se, dessa forma, que a escassez alimentar é definitivamente uma importante pressão seletiva nestes ambientes, mas não a única. A ausência de luz certamente restringe o estabelecimento de muitos grupos de organismos que, mesmo com recursos tróficos em abundância, não foram encontrados no sistema subterrâneo.

Bergfur et al. (2007) estudaram os efeitos do enriquecimento de nutrientes nas características estruturais e funcionais de riachos situados em ambientes temperados. Por meio do uso de *litterbags*, foi constatado que riqueza de táxons de invertebrados declinou enquanto a abundância e a densidade aumentaram com o acréscimo de nutrientes nos riachos. Greenwood et al. (2007) concluíram que o enriquecimento de nutrientes por uma contínua adição de nitrogênio e fósforo em um riacho tendeu a aumentar a biomassa de macroinvertebrados consumidores. Outros estudos abordando processos de eutrofização indicam que algumas espécies podem aumentar em abundância pela maior entrada de nutrientes em cursos d'água (Palmer et al., 2000), enquanto

outras, não associadas à decomposição de detritos, podem não responder a essa adição (Pascoal et al., 2003).

Da mesma forma que observado em ambientes lóticos, percebeu-se que mudanças na qualidade ou na quantidade do detrito que entra na caverna afetam diretamente a estrutura das comunidades. Humphreys (1991) observou que a adição de água e de matéria orgânica em uma caverna seca e pobre em recursos alimentares (e conseqüentemente em fauna) proporcionou uma progressiva recolonização de espécies.

Acredita-se que o experimento de enriquecimento trófico realizado no presente estudo, além de contribuir para a compreensão de processos ecológicos, pode fornecer subsídios para a conservação de espécies cavernícolas. Em função da total interdependência entre os compartimentos epígeos e hipógeos onde existem cavidades naturais, destaca-se a importância da manutenção dos ecossistemas do entorno como fontes de recursos para a manutenção dos sistemas subterrâneos (Ferreira & Horta, 2001). No entanto, sabe-se, hoje, que numerosas atividades antrópicas, tais como mineração e desmatamento, são extremamente danosas à integridade dos ecossistemas cavernícolas brasileiros (Ferreira, 2004).

Desse modo, o enriquecimento trófico pode compreender um método aplicado como ferramenta em processos de recuperação da fauna de invertebrados aquáticos cavernícolas quando estas se demonstrarem comprovadamente impactadas, por exemplo, pelo desmatamento da vegetação do entorno. O restabelecimento de comunidades pode ser alcançado por meio da adição de matéria orgânica em cavernas onde a entrada de recurso alimentar tenha sido reduzida por impactos humanos.

Contudo, o efeito do enriquecimento trófico sobre as comunidades hipógeas certamente está relacionado às características do ambiente em estudo. Vannote et al. (1980) estabeleceram que características estruturais e funcionais

de comunidades aquáticas são determinadas pela posição da comunidade no sistema físico no qual se inserem.

A gruta do Mandembe localiza-se em uma região de cabeceira de drenagem, onde o aporte de matéria orgânica alóctone proveniente da vegetação ripária é alto. Em cavernas associadas a cursos médios, condição pouco freqüente mas que pode ser observada em certas regiões, como em cavernas do Parque Estadual Terra Ronca (Go) e em cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (MG), o efeito do enriquecimento poderia ter sido bastante diferente do observado no presente trabalho.

Em rios de curso médio, a produção primária autóctone é maior que em riachos de cabeceira, devido ao aumento da irradiação e à baixa profundidade (Vannote et al., 1980). Assim, as comunidades são menos dependentes dos recursos aportados pela vegetação do entorno. Neste caso, a metodologia aplicada no presente estudo, na qual o ambiente subterrâneo foi enriquecido pelo acréscimo de folhas e gravetos, poderia não surtir efeito em comunidades presentes em cavernas percorridas por rios de curso médio. Tais comunidades são dependentes, principalmente, da matéria orgânica particulada fina que é carregada pela água. No entanto, como este compreende o primeiro estudo desta natureza a ser realizado, torna-se impossível prever ou determinar qual seria o real efeito do enriquecimento em sistemas inseridos em condições físicas diferenciadas, como nos exemplos anteriormente expostos.

Destaca-se, dessa forma, a necessidade de estudos posteriores abrangendo cavernas de diferentes litologias e características distintas inseridas em diferentes porções de bacias hidrográficas para a verificação dos possíveis efeitos do enriquecimento trófico em outras condições.



### **Relações entre matéria orgânica e fauna aquática**

As relações encontradas a partir dos resultados das duas PCA e a correlação positiva entre matéria orgânica nos plotes e riqueza de espécies indicam que alguns organismos agruparam-se de acordo com a quantidade de matéria orgânica que entra no sistema. O primeiro grupo de espécies foi determinado pela matéria orgânica advinda da vegetação ciliar importada ao riacho. Dessa forma, para esse grupo, a entrada de matéria orgânica no riacho epígeo, geralmente carregada ao sistema sob forma de pulsos, acarretaria em uma maior abundância externa. Tal situação promoveria, conseqüentemente, a maior possibilidade de entrada desses organismos na caverna e a colonização dos plotes. O segundo e o terceiro agrupamentos de espécies foram determinados, respectivamente, pela matéria orgânica que entra na cavidade e a que entra pela drenagem tributária. Para esses grupos, o recurso alimentar que entra de forma contínua na cavidade aparenta ser mais importante.

### **Alterações tróficas no ambiente epígeo**

A instalação do ambiente de exclusão no trecho de riacho epígeo indicou que a redução na entrada de luz e de recursos alimentares pode acarretar em mudanças na estrutura da comunidade. Apesar dos valores de riqueza terem permanecido inalterados, houve alta substituição de espécies e um decréscimo no número total de indivíduos. Tais resultados demonstram que a oferta de recursos tróficos e a entrada de luz no ambiente consistem em pressões seletivas importantes para as comunidades epígeas.

A grande substituição de espécies e a prevalência de organismos pertencentes à família Chironomidae (Chironominae sp2) indicam que esse grupo está mais apto à sobrevivência nas condições impostas pelo experimento de exclusão. Esse grupo quase sempre se apresenta como dominante em

ambientes lóticos, demonstrando-se como tolerante a situações extremas e com grande capacidade competitiva (Bueno et al., 2003; Moretti, 2005).

Espécies antes predominantes nos pontos J8 e J9 e também aquelas destacadas pela capacidade de permanência no ambiente subterrâneo, tais como Ephemeroptera sp1 e sp2, praticamente desapareceram com a exclusão. Wallace et al. (1997) admitem que muitas taxa de invertebrados bentônicos predominantes no hábitat declinam em abundância e biomassa, com a exclusão de detritos importados da vegetação ripária. Além disso, há evidências do forte efeito *bottom-up* propagado desde os detritívoros aos predadores (Wallace et al., 1997).

Outras análises indicam que a resposta da comunidade de invertebrados aquáticos frente à exclusão do aporte de detritos terrestres pode ter resultados diferentes em relação ao tipo de substrato do riacho. Foi demonstrado que a abundância total de invertebrados bentônicos em substratos mistos pode ser mais afetada que aquelas presentes em substratos mais homogêneos (Wallace et al., 1999). Além disso, as taxas de decomposição de detritos podem ser fortemente alteradas em um processo de exclusão de detritos. Com o declínio das taxas de decomposição de folhas, organismos fragmentadores e microrganismos mudam rapidamente na escolha da fonte primária de matéria orgânica e passam ter como recurso os gravetos. Assim, as taxas de decomposição de gravetos podem ser significativamente mais rápidas em um processo de exclusão de detritos (Eggert & Wallace, 2003).

Dessa forma, entende-se que a dinâmica do ecossistema epígeo pode ser fortemente alterada com a exclusão da entrada de detritos. A comunidade de invertebrados aquáticos pode responder negativamente à exclusão, tendo, no ribeirão do Mandembe, a abundância decaído bruscamente com o experimento. Tal fato evidencia que a oferta de recursos tróficos, bem como a entrada de luz

no ambiente, consiste em pressões seletivas fundamentais para as comunidades epígeas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAÑUELOS, R.; LARRAÑAGA, A.; ELOSEGI, A.; POZO, J. Effects of eucalyptus plantations on CPOM dynamics in headwater streams: a manipulative approach. **Archivie Hydrobiologie**, p. 159, n. 2, p. 211-228, 2004.

BARR, T. C. Observations on the ecology of caves. **American Naturalist** Chicago, n. 992, v. 101, p. 474-489, 1967.

BARR, T. C.; KUENHE, R. A. Ecological studies in the mammoth Cave ecosystems of Kentucky. II. The Ecosystem. **Annales de Speleologie**, Paris, v. 26, p. 47-96, 1971.

BERGFUR, J.; JOHNSON, R. K.; SANDIN, L.; GOEDKOOP, W.; NYGREN, K. Effects of nutrient enrichment on boreal streams: invertebrates, fungi and leaf-litter breakdown. **Freshwater Biology**, v. 52, p. 1618–1633, 2007.

BICHUETTE, M. E.; SANTOS, F. H. S. Levantamento e dados ecológicos da fauna de invertebrados da Gruta dos Paiva, Iporanga, SP. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 14 – 19, 1998.

BUENO, A.A.P; BOND-BUCKUO, G.; FERREIRA, B.D.P. Estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos em dois cursos d'água do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.20, n.1, p. 115-125, 2003

CULVER, D. C. **Cave Life. Evolution and Ecology**. Cambridge/Massachussets/London: Harvard University, 1982. 189 p.

EGGERT, S. L.; WALLACE, J. B. Litter and invertebrate detritivores in a resource-depleted Appalachian stream. **Archive Hydrobiology**, v. 156, n. 3, p. 315-338, 2003.

EWEL, J.J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. **Journal of Ecology**, v. 64, p.293-308, 1976.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves.

**Tropical Zoology**, v. 12, n. 2, p.231-259, 1999.

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

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

GALAS, J.; BEDNARZ, T.; DUMNICKA, E.; STARZECKA, A.; WOJTAN, K. Litter decomposition in a mountain cave water. **Archiv Hydrobiologie**, v. 138, n. 2, p. 199-211, 1996.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F.A.R. Lotic ecosystems of Serra do Cipó, southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 3, p. 545-552, 2000.

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

GRAENING, G.O. **Ecosystem dynamics of an Ozark Cave**. 2000. 99 p. (Ph.D.) - University of Arkansas, Arkansas.

GREENWOOD, J. L.; ROSEMOND, A. D.; WALLACE, J. B.; CROSS, W. F.; WEYERS, H. S. Nutrients stimulate leaf breakdown rates and detritivore biomass: bottom-up effects via heterotrophic pathways. **Oecologia**, v. 151, n. 4, p.637-649, 2007.

GUERESHI, R. M.; MELÃO, M. G. G. Monitoramento biológico da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho pelo uso de Macroinvertebrados Bentônicos. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8., 1998, São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP: 1998. v. 8, p. 1199-1216.

HOORENS, B.; AERTS, R.; STROETENGA, M. Does initial litter chemistry explain litter mixture effects on decomposition? **Oecologia** v.137, p. 578-586, 2003.

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

JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; MCCOMB, A. J. Root mats in ground water: a fauna-rich cave habitat. **Journal of North American Benthological Society**, Glenview, v. 15, n. 4, p. 508-519, 1996.

HUMPHREYS, W. F. Experimental re-establishment of pulse-driven populations in a terrestrial troglobite community **The Journal of Animal Ecology**, v. 60, n. 2, p. 609-623, 1991.

MAGURAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. London: Cromm Helm, 1988. 179p.

MAJER, A. P.; SANTOS, F. B.; BASILE, P. A.; TRAJANO, E. Invertebrados aquáticos de cavernas da área cárstica de São Domingos, Nordeste de Goiás. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 15, n. 4, p. 126-131, 2003.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MEENTMEYER, V.; BOX, E. O.; THOMPSON, R. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. **BioScience**, v. 32, p. 125-128, 1982.

MORETTI, M. S. **Decomposição de detritos foliares e sua colonização por invertebrados aquáticos em dois córregos na Cadeia do Espinhaço (MG)**. 2005. 63 p. Dissertação. (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MOULTON, T. P. MAGALHÃES, S. A. P. Responses of leaf processing to impacts in streams in Atlantic Rain Forest, Rio de Janeiro, Brazil – A Test of the Biodiversity-Ecosystem Functioning Relationship? **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 1, p. 87-95, 2003

PALMER, M. A.; COVICH, A. P.; LAKE, S.; BIRO, P.; BROOKS, J. J.; COLE, J. Linkages between aquatic sediment biota and life above sediments as potential drivers of biodiversity and ecological processes. **Bioscience**, v. 50, p. 1062–1075, 2000.

- PASCOAL C.; PINHO M.; CASSIO F.; GOMES P. Assessing structural and functional ecosystem condition using leaf breakdown: studies on a polluted river. **Freshwater Biology**, v. 48, p. 2033–2044, 2003.
- PEREIRA, A. P.; GRAÇA, M. A. S.; MOLLES, M. Leaf litter decomposition in relation to litter physico-chemical properties, fungal biomass, arthropod colonization, and geographical origin of plant species. **Pedobiologia**, v. 42, p. 316-327, 1998.
- PÉREZ, G.R. 1988. **Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia**. Fondo Fen.Colombia/Colciencias, Universidade de Antioquia. 132p.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Washington, v. 165, p. 971-981, 1969.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE LUMINÁRIAS-MG. **Luminárias: 54 anos de emancipação política**. Luminárias, MG, 2005.
- RIBEIRO, L. O.; UEIDA, V. S. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um Riacho de Serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 3, p. 613-618, 2005.
- SANTOS, L. Estimativas de riqueza em espécies p.19-41. In: L. CULLEN JÚNIOR; R RUDRAN; C. VALLADARES-PADUA (Eds). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora UFPR e Fundação o Boticário de Proteção à Natureza, 667p.
- SARBU, S. M.; KANE, T.C.; KINKE, B.K. A chemoautotrophically based cave ecosystem. **Science**, Washington, v. 272 p. 1953-1955, 1996.
- SIMON K. S. **Organic matter and trophic structure in karst groundwater**. 2000. 91 p. (Ph.D.) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- SIMON, K.S.; PIPAN, T.; CULVER, D.C. A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 69, n. 2, p. 279–284, 2007.
- SOUZA-SILVA, M. S. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia,

Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TRAJANO, E. Biologia da Gruta Olhos D'Água Itacarambi, MG. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 8, n. 4, 1996.

TRAJANO, E. Cave faunas in the atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. **Canadian Journal Fish Aquatic Science**, v. 37, p. 130-137, 1980.

WALLACE, J. B.; EGGERT, S. L.; MEYER, J. L.; WEBSTER, J. R. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. **Science**, v. 277, p. 102-104, 1997.

WALLACE, J. B.; EGGERT, S. L.; MEYER, J. L.; WEBSTER, J. R. Effects of resource limitation on a detrital-based ecosystem. **Ecological Monographs**, v. 69, n. 4, p. 409-442, 1999.

WEBSTER, J. R.; BENFIELD, E. F.; EHRMAN, T. P.; SCHAEFFER, M. A.; TANK, J. L.; HUTCHENS, J. J.; D'ANGELO, D. J. What happens to allochthonous material that falls into streams? A synthesis of new and published information from Coweeta. **Freshwater Biology**, v. 41, p. 687-705, 1999.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1999.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta dissertação sugerem que o conhecimento dos padrões ecológicos referentes aos ambientes cavernícolas pode promover a compreensão de formas adequadas para a sua conservação. A proteção e o interesse pela fauna subterrânea de uma região freqüentemente começam com a proteção e o interesse de uma caverna em particular. A conservação de ecossistemas subterrâneos é de extrema importância para a manutenção de relações ecológicas específicas desses ambientes e também para a manutenção de ecossistemas externos. Relacionada a essas informações, a preservação de conexões ripárias também merece destaque. Foi visto que, mesmo em pequenos trechos, o funcionamento normal desses sistemas depende intensamente das inter-relações entre os diferentes compartimentos.

A produção e o consumo de recursos tróficos são essenciais na manutenção da vida, principalmente em locais onde as pressões de escassez alimentar são tão evidentes e seletivas como nos ambientes cavernícolas. Assim, conhecendo o funcionamento de um ambiente, quais são suas peculiaridades e dependências, torna-se possível a proposição de formas para a sua conservação.

Também é possível perceber que o entendimento da estrutura trófica de um ambiente pode contribuir para a manutenção de seu equilíbrio. Pelo fato de as cavernas serem dependentes do ambiente externo, principalmente pelos recursos alóctones necessários à manutenção das comunidades hipógeas, a preservação do entorno é, de fato, uma necessidade.

A busca por tratamentos experimentais visando ferramentas no processo de recuperação de ambientes alterados é fundamental em estudos de ecologia aplicada. O uso do enriquecimento trófico como base para o restabelecimento de populações de invertebrados aquáticos cavernícolas pode tornar-se uma importante “ferramenta” em propostas de recuperação. Por levantar informações



biológicas e ressaltar questões sobre a dinâmica de recursos alimentares em um sistema subterrâneo, esta dissertação contém dados que podem auxiliar na elaboração de novos experimentos e fornecer subsídios para a conservação de cavernas.

## ANEXOS

Anexo 1. Abundância de espécies encontradas entre os quatro compartimentos amostrados

Grupo taxonômico		Espécie	Montante	Caverna	Jusante	Epicarste
Turbellaria	NI	sp 1	4	4	3	
Hydrozoa	NI	sp 1			4	
Nematoda	NI	sp 1	23	5	36	4
Oligochaeta	NI	sp 1	512	12	27	124
Copepoda	NI	sp 1	3	2	29	31
Acari	NI	sp 1			1	
	NI	sp 2			2	
	NI	sp 3	14	4	97	
	NI	sp 4	2		15	
	NI	sp 5	22		12	1
	NI	sp 6	13		25	
	NI	sp 7	28		65	
	NI	sp 8			3	
	NI	sp 9	5	1	1	
	NI	sp 10	1		6	
	NI	sp 11			1	
	NI	sp 12	8	1	14	
	NI	sp 13	1		3	
	NI	sp 14	32	1	5	
	NI	sp 15			1	3
	NI	sp 16			1	
	NI	sp 17			1	
	NI	sp 18			1	
	NI	sp 19			1	2
	NI	sp 20	3	1	3	
	NI	sp 21	2	1	1	
	NI	sp 22	3	4	5	2
	NI	sp 23	1		1	
	NI	sp 24	8		4	
	NI	sp 25			1	
	NI	sp 28	16		2	
	NI	sp 29	6		1	1
	NI	sp 30			2	
	NI	sp 31			1	

	NI	sp 32		1	
	NI	sp 33		3	
	NI	sp 34		1	
	NI	sp 35			1
	NI	sp 36			6
	NI	sp 37			1
	NI	sp 38	1		5
	NI	sp 39			2
	NI	sp 40	1		6
	NI	sp 41	2		
	NI	sp 42	1		
	NI	sp 43	1		
	NI	sp 44	1		
	NI	sp 45	2		
	NI	sp 46	1		
	NI	sp 47	1		
	NI	sp 48	3		
	NI	sp 49	1		
	NI	sp 50	1		
	NI	sp 51	1		
	NI	sp 52	1		
Lepidóptera	NI	sp 1	8		12
	NI	sp 2		1	
	NI	sp 3			3
	NI	sp 4			1
	NI	sp 5			1
	NI	sp 6	1		
	NI	sp 7	4		
Megaloptera	NI	sp 1	1	1	
	NI	sp 2			1
	NI	sp 3	7		3
	NI	sp 4	1		
	NI	sp 5			6
	NI	sp 6			1
	NI	sp 7			1
Hemiptera	Pleidae	sp 1	14	1	5
	NI	sp 2	1	1	
	Naucoridae	sp 3		1	1
	Notonectidae	sp 4		1	
	Veliidae	sp 5		2	
	Veliidae	sp 6		2	6
	NI	sp 7		1	

	Veliidae	sp 8	12		17	1
	Veliidae	sp 9	1		1	
	Veliidae	sp 1	12		5	
	Veliidae	sp 11			1	
	Veliidae	sp 12	4		2	
	Veliidae	sp 13			1	
	NI	sp 14			2	
	NI	sp 15				1
	NI	sp 16	1			
	NI	sp 17	2			
	NI	sp 18	4	1	1	
	NI	sp 19			1	
Plecoptera	NI	sp 1	34	2	72	
	NI	sp 2	43		26	
	NI	sp 3	29	2	6	
	NI	sp 4	2	3	6	4
	NI	sp 5	7			
Ephemeroptera	Baetidae	sp 1	628	113	449	1
	Leptophlebiidae	sp 2	866	137	919	1
	NI	sp 3	335	53	418	
	Tricorythidae	sp 4	292	5	2	1
Odonata	NI	sp 1	79		3	
	NI	sp 2		3	4	
	NI	sp 3	11		24	1
	NI	sp 4	66	29	46	
	NI	sp 5	2	2	3	
	NI	sp 6	23	5	7	
Coleoptera	Elmidae-larva	sp 1	69	2	25	1
	Elmidae-larva	sp 2	7	15	21	
	Elmidae-larva	sp 3	79	24	5	21
	Elmidae-larva	sp 4	246	67	59	11
	Elmidae-larva	sp 5	163	21	31	5
	Elmidae-larva	sp 6		4		
	Elmidae-larva	sp 7	31		4	1
	Elmidae-larva	sp 8	19		3	
	Elmidae-larva	sp 9	21		95	1
	Elmidae-larva	sp 1	224		126	1
	NI-larva	sp 11	4			
	Elmidae-larva	sp 12	6		4	
	NI-larva	sp 13	2			
	Elmidae-larva	sp 14	2			

	Elmidae-larva	sp 15	5				
Coleoptera	Elmidae-adulto	sp 1	5	1	9		
	Elmidae-adulto	sp 2	7	1	4		
	Elmidae-adulto	sp 3	12	1	6		
	Noteridae	sp 5		1		2	
	Elmidae-adulto	sp 7	44	6	5	2	
	Elmidae-adulto	sp 8	1		7	1	
	NI-adulto	sp 9				1	
	NI-adulto	sp 1				1	
	NI-adulto	sp 11				8	
	NI-adulto	sp 12			1	1	
	Elmidae-adulto	sp 13	31		7	1	
	Hydraenidae	sp 14	4		1		
	NI-adulto	sp 15	7		8	2	
	Elmidae-adulto	sp 16	1		6		
	Psephinidae	sp 17	2		2		
	Elmidae-adulto	sp 18	1				
	NI-adulto	sp 19	2				
	NI-adulto	sp 2	1				
	NI-adulto	sp 21	1				
	NI-adulto	sp 22	1				
	NI-adulto	sp 23	2				
	NI-adulto	sp 24	1				
	NI-adulto	sp 25	1				
		NI-adulto	sp 26			1	
	Trichoptera	Leptoceridae	sp 1	46	4	34	
		Hydroptilidae	sp 2	9	3	5	
Philopotamidae		sp 3	25	2	91		
Limnephilidae		sp 4		1	1		
NI		sp 5	1	27	31	1	
NI		sp 6	4		3		
Brachycentridae		sp 7	37	13	6	4	
NI		sp 8	7	3	8		
NI		sp 9	14		3		
NI		sp 1	16		63		
NI		sp 11	3	1	16		
NI		sp 12	82		14		
NI		sp 13	17		8		
NI		sp 14	7		1		
NI		sp 15	37		8		
NI		sp 16	42			1	
NI		sp 17	5	61	6		

	NI	sp 18			1	
	NI	sp 19	16			
Diptera	Ceratopogonidae	sp 1	4	15	44	
	Ceratopogonidae	sp 2	28		6	
	Ceratopogonidae	sp 3	5	3	9	
	NI	sp 1	95	7	5	2
	NI	sp 2	12		6	
	Tabanidae	sp 3			1	
	NI	sp 4	2	8	15	
	NI	sp 5	72	2	27	
	Simuliidae	sp 6	183	42	11	
	NI	sp 7			1	
	NI	sp 8			2	
	NI	sp 9			14	
	NI	sp 1			1	
	NI	sp 11		1	1	
	NI	sp 12			1	
	NI	sp 13			1	
	NI	sp 14	2		1	
	Empiidae	sp 15	36			
	NI	sp 16	1			
	Tipulidae	sp 17	7			
	NI	sp 18	1			
	NI	sp 19	5			
	NI	sp 2	1			
	NI	sp 21	1			
	NI	sp 22			1	
	Chironomidae					
	Chironominae	sp 1	274	19	158	2
	Chironominae	sp 2	119	1	864	31
	Chironominae	sp 3	3	7	29	
	Chironominae	sp 4	145	3	43	5
	Chironominae	sp 5	49	16	55	
	Chironominae	sp 6	111	13	21	
	Chironominae	sp 7	6	1	6	
	Chironominae	sp 8	46	6	53	2
	Chironominae	sp 9	23	3	8	
	Chironominae	sp 1	542	56	193	
	Chironominae	sp 11	47	4	19	
	Chironominae					
	Orthocladinae	sp 1	48	9	85	
	Orthocladinae	sp 2	379	44	174	

Orthocladinae	sp 3	116	13	58
Orthocladinae	sp 4	93	9	58
Orthocladinae	sp 5	11		12
Orthocladinae	sp 6	13	4	33
Orthocladinae	sp 7	66	2	36
Orthocladinae	sp 8	17	7	5
Orthocladinae	sp 1	4	1	6
Orthocladinae	sp 11	16	3	29
Orthocladinae	sp 12	6	1	4
<hr/>				
Chironomidae				
Tanypodinae	sp 1	81	12	11
Tanypodinae	sp 2	284	45	171
Tanypodinae	sp 3	188	19	95
Tanypodinae	sp 4	44	9	27
Tanypodinae	sp 5	36	13	49
<hr/>				
Total		9598	1522	6704
				302

NI: Taxa não identificados até família

Anexo 2. Abundância de espécies encontradas nos plotes de enriquecimento, durante os seis meses de coleta.

Grupo taxonômico		Espécie	mai	jun	jul	ago	set	out
Turbellaria	NI	sp 1	0	0	0	0	0	9
Hydrozoa	NI	sp 1	0	0	5	5	0	0
Nematoda	NI	sp 1	8	1	3	5	0	13
Oligochaeta	NI	sp 1	5	21	14	6	0	429
Copepoda	NI	sp 1	2	20	17	23	2	31
Copepoda	NI	sp 2	0	0	0	6	0	1
Ostracoda	NI	sp 1	0	0	0	9	0	3
Cladocera	NI	sp 1	0	1	0	3	0	19
Gastropoda	NI	sp 1	0	0	1	0	0	2
Acari	NI	sp 1	0	2	0	0	0	5
	NI	sp 2	0	0	0	1	0	17
	NI	sp 3	0	0	3	0	0	0
	NI	sp 6	0	0	0	0	0	1
	NI	sp 20	0	0	0	2	0	10
	NI	sp 21	0	0	1	3	0	8
	NI	sp 22	0	1	1	4	1	17
	NI	sp 23	0	2	7	35	1	7
	NI	sp 25	0	1	0	2	0	0
	NI	sp 31	0	1	0	0	0	10
	NI	sp 42	0	0	0	13	0	2
	NI	sp 43	0	0	1	3	0	1
	NI	sp 44	0	0	3	5	0	1
	NI	sp 45	0	2	1	3	0	1
	NI	sp 49	0	0	0	7	0	2
	NI	sp 52	0	1	0	0	0	0
NI	sp 53	0	1	2	10	0	2	
NI	sp 54	0	1	4	5	0	0	
NI	sp 55	0	2	1	17	0	0	



	NI	sp 56	0	0	1	0	1	1
	NI	sp 57	0	0	1	0	0	0
	NI	sp 58	0	0	1	1	0	2
	NI	sp 59	0	0	2	0	1	0
	NI	sp 60	0	0	0	1	0	0
	NI	sp 61	0	1	0	0	0	0
	NI	sp 63	0	0	0	0	0	1
Lepidoptera	NI	sp 8	0	0	1	0	0	0
Hemiptera	Veliidae	sp 8	0	0	0	0	0	4
Plecoptera	NI	sp 1	0	0	1	0	1	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	sp 2	0	8	10	14	3	3
	NI	sp 3	0	5	21	13	11	6
	NI	sp 5	0	0	0	0	2	6
Odonata	NI	sp 2	0	0	0	0	0	1
	NI	sp 4	0	1	1	0	0	1
Coleoptera	Elmidae-larva	sp 1	0	0	0	0	0	1
	Elmidae-larva	sp 3	0	0	0	2	1	5
	Elmidae-larva	sp 4	0	1	2	1	4	6
	Elmidae-larva	sp 5	0	2	1	0	1	1
Trichoptera	Leptoceridae	sp 1	0	0	2	0	0	0
	NI	sp 5	0	0	1	2	1	4
	Brachycentridae	sp 7	0	0	0	0	1	0
	NI	sp 9	0	0	1	0	0	0
	NI	sp 13	0	0	0	0	0	1
Diptera	Ceratopogonidae	sp 1	0	0	3	1	0	2
	Ceratopogonidae	sp 2	0	0	0	1	0	0
	NI	sp 1	1	0	0	0	0	0
	NI	sp 14	0	2	5	4	1	1
	NI	sp 23	0	0	1	1	1	0
	NI	sp 24	0	0	0	0	0	12
	Chironomidae							
	Chironominae	sp 1	6	30	25	18	25	55
	Chironominae	sp 2	0	46	31	8	3	3

Chironominae	sp 3	4	4	0	0	0	0
Chironominae	sp 4	1	0	2	1	0	4
Chironominae	sp 5	1	0	0	1	3	0
Chironominae	sp 8	2	4	0	0	0	1
Chironominae	sp 10	20	72	66	33	21	116
Chironominae	sp 11	0	1	0	0	0	2
Chironominae	sp 12	1	6	13	14	23	0
<hr/>							
Chironomidae							
Orthocladinae	sp 1	0	10	0	0	2	7
Orthocladinae	sp 2	2	9	10	3	8	13
Orthocladinae	sp 3	0	12	2	1	0	5
Orthocladinae	sp 4	0	6	0	0	0	0
Orthocladinae	sp 5	0	2	0	0	0	0
Orthocladinae	sp 7	0	0	0	0	1	0
Orthocladinae	sp 8	0	0	1	0	0	3
Orthocladinae	sp 11	0	1	0	0	0	0
<hr/>							
Chironomidae							
Tanypodinae	sp 1	2	15	41	33	9	12
Tanypodinae	sp 2	2	33	81	40	19	35
Tanypodinae	sp 3	2	3	3	7	15	27
Tanypodinae	sp 5	0	5	5	12	3	13
<hr/>							
Total		59	336	399	379	165	945

NI: taxa não identificados até família

Anexo 3. Abundância de espécies encontradas no ambiente de exclusão, durante os seis meses de coletas.

Grupo taxonômico		Espécie	mai	jun	jul	ago	set	Out
Hydrozoa	NI	sp 1	2	2	0	0	0	0
Nematoda	NI	sp 1	0	2	0	1	0	2
Oligochaeta	NI	sp 1	0	4	0	0	0	2
Acari	NI	sp 1	0	0	0	1	0	0
	NI	sp 3	0	4	0	0	0	0
	NI	sp 16	0	1	0	0	0	0
	NI	sp 22	0	0	0	0	0	1
	NI	sp 31	0	0	0	0	0	1
	NI	sp 40	0	0	0	1	0	0
	NI	sp 56	0	0	0	1	0	0
	NI	sp 62	0	0	0	1	0	0
Lepidoptera	NI	sp 7	1	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	sp 2	1	0	0	0	0	0
Odonata	NI	sp 4	1	0	0	0	0	0
Coleóptera	Elmidae-larva	sp 3	1	0	0	0	0	0
	Elmidae-larva	sp 4	0	2	0	0	1	0
	Elmidae-larva	sp 5	1	0	0	0	0	0
	Elmidae-larva	sp 9	1	0	0	0	0	0
	NI	sp 27	0	0	0	1	0	0
Trichoptera	Philopotamidae	sp 3	1	0	0	0	0	0
	Limnephilidae	sp 4	0	0	0	0	1	0
	NI	sp 6	2	1	1	0	0	0
Diptera	Ceratopogonidae	sp 1	0	0	0	1	0	0
	Tabanidae	sp 3	0	1	0	1	0	0
	Chironomidae							
	Chironominae	sp 1	1	1	0	0	4	5
	Chironominae	sp 2	6	6	1	3	5	8
	Chironominae	sp 4	0	1	0	2	0	0
	Chironominae	sp 5	0	0	0	2	0	0
	Chironominae	sp 9	0	0	3	0	0	0
	Chironominae	sp 10	7	2	2	1	5	0
	Chironomidae							
	Ortocladinae	sp 1	0	0	0	0	1	1
	Ortocladinae	sp 2	0	0	0	1	1	2
	Ortocladinae	sp 4	1	0	0	0	0	0
	Chironomidae	sp 1	2	0	0	0	2	0

Tanypodinae							
Tanypodinae	sp 2	1	0	0	4	5	3
Tanypodinae	sp 3	0	1	0	5	1	0
Tanypodinae	sp 5	2	1	3	5	6	3
<hr/> Total		31	29	10	31	32	28

NI: taxa não identificados até família

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.