

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**Invertebrados associados a guano de morcegos
em cavernas do Distrito Federal**

Simone Soares Salgado

Brasília – DF

2011



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Invertebrados associados a guano de morcegos em cavernas do Distrito Federal

Simone Soares Salgado

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Motta

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Brasília – DF

2011

Simone Soares Salgado

**Invertebrados associados a guano de morcegos em cavernas do
Distrito Federal**

Dissertação aprovada junto ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da
Universidade de Brasília como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo César Motta
Orientador - UnB

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira
Membro Titular - UFLA

Prof^a. Dr^a. Ludmilla Moura de Souza Aguiar
Membro Titular - UnB

Prof. Dr. José Roberto Pujol
Membro Suplente - UnB

Brasília - DF

2011

Dedico esta dissertação a minha família, a quem sempre esteve do meu lado em todos os momentos, principalmente naqueles que mais precisei.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Dr. Paulo César Motta, por aceitar a minha proposta de projeto de mestrado com fauna de cavernas, abrindo as portas para a Bioespeleologia, tão pouco estudada na Universidade de Brasília. Agradeço por toda a atenção ao longo do mestrado e pela confiança em meu trabalho, sem deixar de cumprir o papel de orientador de apoiar, exigir e chamar a atenção quando necessário. Agradeço pela convivência harmônica proporcionada por ele no Laboratório de Aracnídeos, tão essencial para que a dissertação fosse realizada com prazer em um ambiente agradável e de descontração.

À CAPES pela bolsa de mestrado e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pela concessão da licença para a realização do trabalho nas cavernas do DF. A todas as pessoas, grupos e instituições que me deram apoio para a realização do trabalho: ao Dr. Rodrigo Lopes e toda a sua equipe da Universidade Federal de Lavras, por me receber com tanto carinho e por me dar toda a ajuda necessária, esclarecendo todas as dúvidas referentes à metodologia de coleta para a execução do trabalho de campo. Aos grupos espeleológicos de Brasília, EGB e GREGEO – UnB, que contribuíram para a minha formação na área de Espeleologia, especialmente na questão de segurança em um ambiente que exige experiência, atenção e cuidados. À Dra. Gabriela Nardoto pela imensurável ajuda e contribuição para que fosse realizado um estudo tão inovador, unindo fauna cavernícola e isótopos estáveis, e que despertou em mim uma nova paixão. Por toda atenção dedicada ao longo das análises pelo Dr. Plínio Camargo e toda a equipe do Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA/USP). À professora Mercedes Bustamante por ter aberto as portas do laboratório de ecologia para a realização da metodologia laboratorial e que me incentivou a incluir no meu trabalho a metodologia de isótopos estáveis, com indicação da Gabriela. Ao Dr. Carlos Alberto e ao técnico Hilton Alves do Laboratório de Solos da Universidade Federal de Lavras, pelas análises químicas dos depósitos de guano.

Aos especialistas pela identificação dos invertebrados: Dr. Marcos Antônio dos Santos Silva (Coleoptera-UnB), MSc. Leopoldo Bernardi (Acari-UFLA), MSc. Maria Cristina G. Roperro (Formicidae-UnB), MSc. Francisco Roque (Diptera/Drosophilidae- UnB), Dr. José Roberto Pujol Luz (Diptera-UnB), MSc. Danilo Oliveira, Dr. Agno Acioli e Dr. Reginaldo Constantini (Isoptera-UnB), Dr. Antônio Aguiar (Hymenoptera-UnB), MSc. Márcio Bolfarini (Orthoptera-UNESP), Dr. Raúl Laumann (Hemiptera-Embrapa Cenargen), Dra. Paula Beatriz Araújo (Isopoda-UFRGS), Ivan Malinov (Trichoptera-UnB).

Aos inesquecíveis companheiros das saídas de campo que tanto me apoiaram: Naiara Caroline, Geraldo Freire, Raquel de Mello, Letícia Lemos, Leonardo Mendes, Ângelo Zerbini, Suzana Lima, Hernani Oliveira, João Victor Caetano, Bernardo Costa, Maurício Veredas, Maurício Macedo e André Rodrigues. E a todos os meus amigos que fizeram parte do laboratório de aracnídeos e que foram tão importantes para o meu trabalho.

Aos colegas que me ajudaram na parte metodológica, os mapas utilizados para o trabalho escrito (Fagno Tavares e Júlio Linhares); e aos colegas que me deram importante ajuda nas análises, Geraldinho, Bernardo, Roger e Thiago Marques.

Agradeço em especial a minha família, que sabe mais que qualquer um das dificuldades que tenho enfrentado em toda a minha vida de estudante em escola pública até chegar ao mestrado; das numerosas e cansativas superações dos limites, inclusive impostos por palavras: a de que eu não passaria no meu tão sonhado e disputado mestrado em Ecologia! Agradeço pelo carinho, conselhos e incentivos dos meus pais e irmãs, enfatizando sempre a importância de colocar os estudos em primeiro lugar.

Ao professor Nildo, o “feijão”, que está perdido em algum lugar do DF. Quem diria, um professor maluco de cursinho pré-vestibular foi capaz de despertar em mim o amor às cavernas antes mesmo de entrar na graduação e em grupo espeleológico, e que,

posteriormente, me fez seguir o caminho da Bioespeleologia. O meu muito obrigada por ter sido o principal responsável pela minha transformação em “mulher das cavernas”!

E em primeiríssimo lugar, agradeço a Deus! Ele que esteve comigo todos os dias da minha vida, mesmo quando me esquecia Dele ao ficar o dia inteiro no computador lendo artigos e trabalhando na dissertação. Agradeço a Ele por me encher de esperanças e forças para enfrentar os obstáculos, por colocar as pessoas certas no meu caminho, e por me surpreender a cada dia com novas oportunidades!

Sumário

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Índice de Anexos	x
Resumo	1
Abstract	3
Apresentação	5
O ambiente subterrâneo.....	5
Fonte de energia e comunidades de invertebrados em guano de morcegos.....	6
Estudos Bioespeleológicos.....	8
Objetivos gerais.....	9
Capítulo 1 – Riqueza e diversidade de invertebrados associados a guano de morcegos em cavernas do DF	10
1.1 Introdução	10
1.2 Material e métodos	14
Área de estudo.....	14
1. Gruta Sal/Fenda II.....	16
2. Gruta Labirinto da Lama.....	16
3. Gruta Dois Irmãos.....	17
4. Gruta dos Morcegos.....	18
5. Gruta Água Rasa.....	18
Amostragem, coleta e identificação.....	19
Medidas dos valores físicos, químicos do depósito de guano.....	20
Análises.....	22

1.3 Resultados	22
1.4 Discussão	34
Conclusão	41
Capítulo 2 – Origem alimentar de detritívoros e predadores nas proximidades de depósitos de guano de morcegos por meio da análise de isótopos estáveis, Gruta Labirinto da Lama – DF	43
2.1 Introdução	43
A metodologia isotópica.....	46
O uso de isótopos estáveis na detecção de padrões alimentares	49
2.2 Material e métodos	51
Caverna de estudo.....	51
Coletas e análises isotópicas.....	53
2.3 Resultados	55
2.4 Discussão	60
Conclusão	65
Referências Bibliográficas	67

Índice de Figuras

- Figura 1.1. Localização das cavernas estudadas dentro dos limites geopolíticos do DF: Gruta Sal/Fenda II, Labirinto da Lama, Dois Irmãos, Gruta dos Morcegos e Gruta Água Rasa. Fonte: Wikipédia e Google Earth.....15
- Figura 1.2. Regressão linear entre pH e umidade de sete subáreas do depósito AR₁ e depósito AR₂ ($r = 0,95$, $p=1,70 \times 10^{-4}$).....31
- Figura 1.3. Análise de agrupamento baseada na abundância de cada espécie para cada depósito das cinco cavernas estudadas (Sal/Fenda II – SF; Labirinto da Lama – LL; Dois Irmãos – DI; Água Rasa – AR; Gruta dos Morcegos – GM).....33
- Figura 2.1. Comparação entre a razão de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de recursos alimentares no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), de presas guanófagas (grilos e baratas) e de seus predadores (aranhas), na estação seca.....57
- Figura 2.2. Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de grilos cavernícolas coletados no interior da caverna em região distante da entrada (D) e próxima da entrada (P); de grilos do ambiente externo coletados em serapilheira (F) a 1m da entrada da caverna (grilos menores, sp.3) e a 10m da entrada (grilos maiores, sp.2); e grilos em gramíneas (L) a cerca de 20m da entrada (sp.1). Recursos alimentares disponíveis no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), em estação seca.....58
- Figura 2.3. Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de baratas coletadas no interior da caverna em região distante da entrada (D), próxima

da entrada (P) e na entrada (E), e recursos alimentares disponíveis no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), em estação seca.....59

Figura 2.4. Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de aranhas coletadas no interior da caverna em região distante da entrada (D), próxima da entrada (P) e fora da caverna (F), e recursos alimentares disponíveis no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), em estação seca.....60

Índice de Tabelas

Tabela 1.1. Espécies coletadas e suas abundâncias totais em depósitos de guano de morcegos hematófagos (H) das cavernas Labirinto da Lama (LL), Sal/Fenda II (SF), Gruta dos Morcegos (GM), depósitos de morcegos nectarívoros (N) da caverna Água Rasa (AR) e depósitos mistos (M) da caverna Dois Irmãos (DI).....	24
Tabela 1.2. Número (subscrito) do depósito de guano, classificado de acordo com a dieta alimentar de morcegos e coletado em dois tipos de zonas nas cavernas Água Rasa (AR), Dois Irmãos (DI), Gruta dos Morcegos (GM), Labirinto da Lama (LL) e Sal/Fenda II (SF).....	28
Tabela 1.3. Relação entre riqueza e diversidade e fatores físicos (distância (m), área (cm ²), índice de desenvolvimento de margem (IDM) e pH) de cada depósito de guano em cinco cavernas do DF. Os códigos dos depósitos constam na Tabela 1.2.....	30
Tabela 1.4. Fatores físicos (pH e umidade) de cada depósito de guano em cinco cavernas do DF (AR – Água Rasa; DI – Dois Irmãos; GM – Gruta dos Morcegos; LL – Labirinto da Lama; SF – Sal/Fenda II) e subáreas do depósito 1 da gruta Água Rasa. A umidade representa o teor de água calculado pela diferença entre o peso da amostra de guano fresco(g) e guano seco(g) após 72h em estufa.....	31
Tabela 1.5. Relação entre riqueza e diversidade e fatores químicos (N: nitrogênio, P: fósforo, C: carbono) de cada depósito de guano em cinco cavernas do DF.....	32
Tabela 1.6. Riqueza e diversidade dos depósitos nas cinco cavernas estudadas (AR – Água Rasa, DI – Dois Irmãos, GM – Gruta dos Morcegos, LL – Labirinto da Lama, SF – Sal/Fenda II), e características da caverna (D – desenvolvimento linear, FP – fator de perturbação, Hidro	

–presença ou ausência de água permanente, E – número de entradas) e vegetação do ambiente externo.....34

Tabela 2.1 Razão isotópica de nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e carbono $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da fauna guanófaga (grilos e baratas), de predadores (aranhas) e de guano coletados no interior da caverna em região distante da entrada (D), região próxima da entrada (P) e na entrada (E); e da fauna do ambiente externo em serapilheira próxima da entrada (F) e coletada em gramíneas distantes da entrada (L), no final de abril (chuva) e em setembro (seca).....56

Índice de Anexos

Anexo 1. Abundância de cada espécie e em cada depósito nas cinco cavernas estudadas (Labirinto da Lama – LL, Dois Irmãos – DI, Sal/Fenda II – SF, Gruta dos Morcegos – GM e Água Rasa - AR).....	79
Anexo 2. Mapa espeleotopográfico da caverna Sal/Fenda II, DF. Fonte: CECAV.....	82
Anexo 3. Mapa espeleotopográfico da caverna Água Rasa, DF. Fonte: Júlio Linhares.....	83
Anexo 4. Mapa espeleotopográfico da caverna Labirinto da Lama, DF. Fonte: Silva 2006a.....	84
Anexo 5. Mapa espeleotopográfico da Gruta dos Morcegos, DF. Fonte: CECAV.....	85
Anexo 6. A. Grutas próximas localizadas no noroeste do DF, APA de Cafuringa. Localização e paisagem ao redor da Gruta Sal/Fenda II (B), Labirinto da Lama (C) e Dois Irmãos (C).....	86
Anexo 7. (A) Grutas localizadas no norte do DF. Localização e paisagem ao redor da Gruta dos Morcegos (B) na APA de Cafuringa e Água Rasa (C), APA Planalto Central.....	87
Anexo 8. Invertebrados em guano de morcegos: aranha <i>Wendilgarda</i> sp. (A), isópode <i>Trichorhina</i> sp.(B), pseudoescorpião Cheliferidae sp. (C), besouro Leiodidae sp.(D), cupim <i>Nasutitermes</i> sp.(E), Formicidae (F), aranha <i>Isoctenus coxalis</i> (G), grilo <i>Endecous</i> sp. (H) e barata Blattidae (I). Gruta Labirinto da Lama (A,B, E, F, G, H, I), Gruta Água Rasa (C) e Sal/Fenda II (D):. Fotos: Paulo César Motta (A-F); André Oliveira (G,H,I).....	88

Anexo 9. Morcegos hematófagos de aves (*Diphilla ecaudata*) na gruta Sal/Fenda II (A) e seus depósitos de guano (B). Morcegos nectarívoros *Anoura geoffroyi* (C) na gruta Água Rasa (D) e seus depósitos de guano (E e F). Fotos: Maurício Macedo (A), Simone Salgado (B), Naiara Caroline (D), Ângelo Zerbini (C,E,F).....89

Resumo

O ecossistema de caverna está conectado ao solo e ao ecossistema de superfície pela entrada alóctone de energia, que em cavernas tropicais secas é representada principalmente pelo guano de morcegos. Na região neotropical, a alta riqueza de espécies de morcegos que utilizam cavernas como abrigo resulta em importação de energia por meio de depósitos de guano com qualidades distintas, uma vez que os morcegos utilizam uma grande variedade de recursos alimentares. O objetivo do primeiro capítulo foi caracterizar quantitativa e qualitativamente a disponibilidade de recurso (guano) como influência na riqueza e diversidade da comunidade de invertebrados em cinco cavernas (Sal/Fenda II, Dois Irmãos, Labirinto da Lama, Gruta dos Morcegos e Água Rasa) localizadas no Distrito Federal; e no segundo capítulo, analisar o fluxo de energia em cadeia alimentar da caverna Labirinto da Lama, por meio da determinação da origem alimentar de presas e predadores com a utilização da razão isotópica de carbono e nitrogênio.

As coletas no ambiente cavernícola de invertebrados e de amostras de guano de morcegos foram realizadas manualmente e com funil de Berlese; os animais e serapilheira do ambiente externo foram coletados manualmente, sendo os primeiros coletados com auxílio de batedor entomológico e com armadilhas de queda. Os fatores físicos e químicos dos depósitos, analisados nas cinco cavernas foram pH, área, IDM, teor de C, N e P. A análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio na caverna Labirinto da Lama foi realizada para todos os invertebrados e para amostras de guano de morcegos e da serapilheira.

Os resultados para as cinco cavernas mostraram que o aumento da riqueza e da diversidade de invertebrados não está relacionado a nenhum dos fatores físicos e químicos, devido à baixa quantidade de depósitos encontrados para cada caverna. A análise qualitativa do depósito de guano, com base no tipo de dieta alimentar do morcego, mostrou que depósitos similares com relação ao hábito alimentar dos morcegos nem sempre permitem o

desenvolvimento de comunidades similares de invertebrados. A riqueza e a diversidade de invertebrados também podem estar relacionadas às diferenças geológicas entre as cavernas estudadas e às características da vegetação do ambiente externo e seu grau de preservação. A maior riqueza encontrada na caverna Água Rasa poderia ser explicada pelo conjunto de fatores influenciadores tanto do depósito quanto das características da caverna.

Na caverna Labirinto da Lama, resultados mostraram que o guano não representa o único item alimentar para grilos *Endecous* sp. e baratas Blattidae no interior da caverna, tanto na região próxima quanto na região distante da entrada, e tanto no final da estação chuvosa quanto no final da estação seca. Por sua vez, esses grilos e baratas fazem parte da dieta da aranha *Isoctenus coxalis*, mas não representam os únicos recursos alimentares. Isso pode ser explicado pela dieta generalista e pela maior mobilidade desses grilos, baratas e aranhas, que os permitem ter acesso a outros itens alimentares. Nesse estudo, o carbono ($\delta^{13}\text{C}$) foi um importante indicador das fontes autotróficas, e o nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) um importante indicador do nível trófico dos consumidores. A teia de interações alimentares compreende animais do ambiente externo e animais do ambiente cavernícola, e que nesse estudo está representado tanto por animais silvestres (morcegos e invertebrados) quanto por animais domésticos (gado), ou seja, representa uma teia alimentar influenciada pela interferência antrópica.

Dessa forma, é importante que a fauna cavernícola seja estudada e preservada no contexto de toda paisagem na qual a caverna está inserida.

Abstract

The cave ecosystem is connected to ground and surface ecosystem by input of energy that in tropical dry cave is represented mainly by the bat guano. In the Neotropics, the high species richness of bats using caves as shelter results in energy imports by deposit of guano with different qualities, because they use a variety of food resources. The goal of the first chapter was to characterize quantitatively and qualitatively the availability of resources (guano) as an influence on the richness and diversity of invertebrate communities in five caves (Sal/Fenda II, Dois Irmãos, Labirinto da Lama, Gruta dos Morcegos and Água Rasa) located at Distrito Federal, Brazil; and in the second chapter, we analyze the energy flow in food chain in the cave Labirinto da Lama, through the determination of food sources of prey and predators using the isotopic ratio of carbon and nitrogen.

Invertebrates inside the cave and bat guano were sampled manually and with a Berlese extractor, animals and litter in the external environment were collected by hand or using beating sheet and pitfall traps. The physical and chemical aspects of guano were pH, area, IDM, and content of C, N and P. The analysis of stable isotopes of carbon and nitrogen in the Labirinto da Lama Cave was performed for all samples of invertebrates and bat guano and leaf litter.

The increase of richness and diversity are not related to any of the physical and chemical factors, due to the low number of deposits found in each cave. The qualitative analysis of the deposit of guano, based on the type of diet of the bat, showed that similar deposits in relation to the feeding habits of bats do not always allow the development of similar communities of invertebrates. The richness and diversity could be related to geological differences between the studied caves and vegetation characteristics of the external environment and its preservation degree. The greater richness found in the Água Rasa cave

could be explained by the set of influential factors both the deposit and the characteristics of the cave.

In the Labirinto da Lama cave, the results showed that guano is not the only food item for crickets *Endecous* sp. and cockroaches (Blattidae) inside the cave, both in the nearby region and the region far from the entrance, and either at the end of the rainy season or the end of the dry season. In turn, these crickets and cockroaches are part of the diet of spider *Isoctenus coxalis*, but do not represent the only food resources.

This can be explained by a generalist diet and the increased mobility of crickets, cockroaches and spiders, which enable them to access other food items. In this study, carbon ($\delta^{13}\text{C}$) was an important indicator of autotrophic sources, and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) an important indicator of the trophic level of consumers. The food web of interactions includes animals of the external environment and animals in the cave environment, represented both by wild animals (bats and invertebrates) and for domestic animals (cattle), representing a food web influenced by human interference.

Thus, it is important that the cave fauna is preserved and studied in the context of the entire landscape in which the cave is located.

Apresentação

O ambiente subterrâneo

O ambiente cavernícola é caracterizado pela ausência de luz e por uma tendência à estabilidade ambiental (Poulson & White 1969), principalmente aquela relacionada à umidade do ar e à temperatura em regiões mais distantes de entradas (Ferreira 2005). Esta geralmente aproxima-se das médias anuais do ambiente externo circundante (Barr & Kuehne 1971, Howarth 1983, Ferreira & Martins 1999b).

Porém, essa é uma caracterização geral, pois cada cavidade apresenta entradas de tamanhos, localizações e configurações da passagem diferenciadas, além de umidade variada (Howarth 1973, 1980, 1983). Cavidades muito pequenas com muitas entradas, por exemplo, apresentam elevado controle externo sobre a atmosfera cavernícola (Ferreira 2005, Ferreira *et al.* 2009). A entrada tem menor efeito em cavernas mais complexas e com passagens mais longas (Howarth 1973, Howarth 1983).

Embora apresente variações geológicas, o ecossistema de caverna de um modo geral não é um sistema fechado, pois está conectado ao solo e ao ecossistema de superfície pela entrada alóctone de energia (Howarth 1983). Entretanto, apresenta comunidades de organismos com integridade funcional, e cujo fluxo de energia e ciclagem de nutrientes ocorrem dentro do sistema (Howarth 1983). Além disso, os ecossistemas são fortemente zonais, com extensão de cada zona dependendo do tamanho, forma e localização da entrada e passagens (Howarth 1993).

Conforme os parâmetros bióticos e abióticos, cinco zonas terrestres distintas podem ser definidas (Howarth 1983, 1993): 1. zona de entrada ou fótica, onde há sobreposição entre os habitats de superfície e habitats subterrâneos; 2. zona de penumbra, desde o limite de plantas vasculares até a escuridão total; 3. zona de transição, localizada na zona escura e cujo microclima ainda sofre influência dos eventos meteorológicos de curto prazo da superfície; 4.

zona escura ou afótica da caverna que permanece relativamente estável, com o ar constantemente perto da saturação; 5. zona de ar estagnado, que fica além da zona profunda da caverna e nos espaços mais isolados dentro da rocha. Os organismos se distribuem ao longo destas zonas na caverna, conforme suas tolerâncias às condições físicas e químicas e suas necessidades de recursos alimentares (Townsend *et al.* 2006).

Fonte de energia e comunidades de invertebrados em guano de morcegos

A ausência permanente de luz em cavernas impede o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes, principais produtores dos ecossistemas exteriores (Poulson & White 1969, Ferreira & Martins 1999b, Engel *et al.* 2004, Tobler 2008). No entanto, muitas plantas geofíticas enviam suas raízes profundamente dentro de fendas em tetos de algumas cavernas (Pedro & Bononi 2007), ou emergem no solo exposto do interior de cavernas, uma vez que em regiões tropicais há estação contínua de crescimento, maior evapotranspiração, lixiviação aumentada do solo e falta de recarga da nascente de água (Howarth 1983, 1993).

Existem as bactérias quimioautotróficas que utilizam enxofre como doador de elétrons (ex. sulfeto de hidrogênio) para fixar carbono inorgânico (Sarbu *et al.* 1996, Engel *et al.* 2004). Essas bactérias vivem em sedimentos de cavernas (Fliermans & Schmidt 1977), e são importantes na nutrição de invertebrados cavernícolas (Culver 1982, Sarbu *et al.* 1996), mas em poucas cavernas a energia alimentar autóctone dessas bactérias tem importância para a fauna (Chelius *et al.* 2009), e pode ser que em outras cavernas tal recurso não seja reconhecido (Howarth 1993).

Muitos fungos podem se desenvolver na zona escura ou afótica de cavernas e podem completar todo o ciclo de vida nesse local, desde que haja disponibilidade de matéria orgânica como substrato para fornecimento de nutrientes, como guano de morcegos (Pedro & Bononi 2007, Mulec 2008, Nieves-Rivera *et al.* 2008). Esses fungos podem ser importantes fontes de alimento para a fauna cavernícola, e podem disponibilizar nutrientes por meio de suas

enzimas, contribuindo para a ciclagem de nutrientes (Pedro & Bononi 2007). Entretanto, praticamente toda a fonte de recursos na maioria dos sistemas cavernícolas advém do meio externo ou epígeo (Gomes *et al.* 2000, Chelius *et al.* 2009), denominada entrada alóctone (Howarth 1983).

Os recursos alimentares podem chegar ao meio cavernícola (hipógeo) por três vias principais: pela água, através do vento ou carreado por animais (Culver 1982). No entanto, outras vias importantes de recursos incluem a matéria orgânica veiculada pelas aberturas verticais nas cavernas ou oriundas de cadáveres ou fezes de animais (Bahia & Ferreira 2005). Segundo Tobler (2008), essa entrada alóctone de energia do ambiente terrestre é representada principalmente pela serapilheira, insetos terrestres dos habitats de superfície e guano de morcegos.

Os morcegos representam os principais agentes biológicos de importação de energia do meio externo, uma vez que produzem depósitos de guano em cavernas. Esses depósitos podem representar a fonte alimentar mais importante para muitos invertebrados, principalmente em cavernas permanentemente secas, nas quais pode não haver aporte de nutrientes por outras vias (Ferreira & Martins 1999b, Gnaspini & Trajano 2000).

Além disso, a ampla variedade de espécies de morcegos neotropicais, com dietas distintas, que utilizam cavernas como abrigo (Bredt & Magalhães 1999, 2006; Reis *et al.* 2007, Portella 2010) resulta em importação de energia com qualidades distintas. Morcegos podem utilizar uma grande variedade de recursos alimentares tais como sangue, frutas, néctar, pólen, partes florais, insetos e outros tipos de artrópodes, pequenos répteis e anfíbios, peixes e até mesmo outras espécies de morcegos (Uieda *et al.* 2006). Assim, podem ser divididos em hematófagos, frugívoros, nectarívoros, insetívoros, carnívoros e onívoros. Os primeiros são representados em cavernas principalmente por *Desmodus rotundus* (E. Geoffroy 1810) que se

alimenta de sangue de mamíferos e apresenta uma ampla distribuição em todo o território brasileiro (Uieda *et al.* 2006).

Esses distintos depósitos, conforme a dieta alimentar do morcego, formam a base trófica da estrutura da comunidade cuja colonização inicial ocorre por numerosas espécies pioneiras, que dão a partida para um processo de sucessão (Ferreira & Martins 1999b). Além disso, podem representar um ilimitado suprimento alimentar, que resulta em grandes populações de certas espécies (Gibert & Deharveng 2002, Moulds 2004). Frequentemente, depósitos de guano possuem comunidades com alta riqueza de espécies (Gibert & Deharveng 2002).

Porém, essa cadeia alimentar em guano, assim como a cadeia alimentar de todo o ecossistema cavernícola é bastante simples, tendo em vista a ausência de produtores primários e, conseqüentemente, a ausência de herbívoros. Há exceções dos animais que se alimentam de raízes (Howarth 1983, Gibert & Deharveng 2002), pois normalmente esses herbívoros representam a maioria das espécies encontradas nos ecossistemas acima do solo (Gibert & Deharveng 2002). Portanto, a deficiência funcional na base da cadeia trófica em ambiente cavernícola tem um forte impacto sobre a riqueza de espécies do sistema, e a biodiversidade subterrânea pode ser considerada como fortemente truncada basalmente (Gibert & Deharveng 2002).

Estudos bioespeleológicos

Estudos biológicos em cavernas brasileiras tiveram início somente a partir da década de 1980 e eram restritos, principalmente, a levantamentos faunísticos e à descrição de táxons (Trajano & Bichuette 2006). A biologia subterrânea vem se consolidando nos últimos anos com esforços de vários pesquisadores brasileiros em diferentes áreas, entre elas a ecologia (Trajano & Bichuette 2006). No entanto, os estudos ecológicos são ainda insuficientes para se fazer generalizações (Ferreira & Martins 1999a) e os padrões que emergiram a partir dos

estudos realizados se referem à composição das comunidades, com consistência maior para regiões muito estudadas (região Sudeste) (Trajano & Bichuette 2006).

O estudo da diversidade da fauna de invertebrados que dependem do guano como principal recurso alimentar será importante para suprir a carência de pesquisas ecológicas em cavidades subterrâneas brasileiras (Ferreira & Martins 1999a) e caracterizar o estado de conservação dessas, a fim de realizar análises comparativas e obter conclusões a respeito do estado de preservação (Ferreira & Horta 2001).

Além disso, estudos em cavernas brasileiras são importantes, tendo em vista a fragilidade e complexidade dos ecossistemas cavernícolas (Trajano 2000), associados à grande extensão e diversidade ambiental do território nacional (ICMBio – CECAV 2008).

Objetivos gerais

O objetivo geral dessa dissertação é caracterizar quantitativa e qualitativamente a disponibilidade de guano de morcegos como influência na estrutura e função da comunidade de invertebrados em cinco cavernas e analisar o fluxo de energia em cadeia alimentar de uma delas por meio da determinação da origem alimentar de presas e predadores com a utilização da razão isotópica de carbono e nitrogênio.

O Capítulo 1 trata da riqueza e diversidade de invertebrados associados a guano de morcegos e suas relações com os fatores físicos e químicos do depósito, em cinco cavernas do DF. O Capítulo 2 trata da determinação da origem alimentar de presas e predadores em uma única caverna, por meio da análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, e se há diferenças no tempo e espaço.

Capítulo 1

Riqueza e diversidade de invertebrados associados a guano de morcegos em cavernas do DF

1.1 Introdução

As espécies de morcegos em cavernas da região neotropical não se agregam para a termorregulação, pois a temperatura ambiente é quente e não há pressão seletiva do ambiente externo, como nas regiões temperadas (Gnaspini & Trajano 2000; Moulds 2004). Na região neotropical um grande número de abrigos pode estar disponível, e as populações locais podem se espalhar por toda a caverna, formando pequenas a médias colônias, e variando sua localidade (Gnaspini & Trajano 2000; Moulds 2004).

Na região do Distrito Federal há registro de várias espécies de quirópteros, que inclui hematófagos, frugívoros, carnívoros, insetívoros e nectarívoros, sendo a maioria dessas espécies residente no interior das grutas (Bredt *et al.* 1999).

O tempo de residência de uma colônia de morcegos em uma caverna pode variar de acordo com a disponibilidade do alimento no ambiente externo, e com a presença ou não de populações de outras espécies de morcegos que competem pelo espaço de fixação (Ferreira & Martins 1999b). Assim, os depósitos de guano podem ser recursos temporários, dependentes do contexto local de cada área (Ferreira 2005) e da migração dos morcegos dentro da caverna e entre cavernas (Gnaspini & Trajano 2000). Dessa forma, pode refletir na estrutura da comunidade de invertebrados associada a esse recurso (Decu 1986).

Além disso, a variabilidade de dietas alimentares de diferentes espécies de morcegos encontrados em cavernas traz, como consequência, diferenças estruturais do depósito, heterogeneidade qualitativa (compostos orgânicos provenientes da dieta - sementes indigestas, peças quitinosas de insetos) e heterogeneidade microclimática entre diferentes tipos de

depósito de guano o qual sustenta comunidades distintas de invertebrados em diferentes estágios sucessionais (Decu 1986, Gnaspini-Netto 1989a, Gnaspini-Netto 1989b). Essa riqueza taxonômica também pode ser explicada pela maior diversidade de colonização potencial de invertebrados de ecossistemas neotropicais (Ferreira & Martins 1999a).

Os depósitos de guano de morcegos podem ser agrupados em três categorias: 1. guano de morcegos frugívoros que contém sementes pequenas não digeridas, e até mesmo algumas sementes maiores com restos de polpa aderidos; 2. guano de hematófagos: possui consistência pastosa, sendo rico em compostos nitrogenados; 3. guano de insetívoros: contém restos de exoesqueleto de insetos, sendo rico em uréia e outros compostos nitrogenados (Gnaspini-Netto 1989b). Vale ressaltar que esta última categoria não é restrita a Insecta, uma vez que aracnídeos também podem fazer parte da dieta desses morcegos (Uieda *et al.* 2006).

A maior riqueza de invertebrados é encontrada, principalmente, em guano de morcegos frugívoros (Ferreira & Martins 1999b). Inclui aranhas, opiliões, ácaros, pseudoescorpiões (aracnídeos), isópodes (crustáceos), piolhos-de-cobra (diplópodes), pequenas lacraias (quilópodes) e insetos. No guano de insetívoro predominam ácaros, pseudoescorpiões, besouros, mariposas e moscas. Enquanto que em guano de hematófago predomina larvas de moscas, tatuzinhos e besouros (Ferreira & Martins 1999b).

Além da variação na qualidade do guano devido às diferentes dietas dos morcegos, as comunidades de invertebrados dependentes desse recurso respondem às características físicas e às modificações das propriedades que podem comprometer a qualidade nutritiva do guano. O guano recém-depositado é alcalino e úmido, mas se torna mais ácido e seco com o passar do tempo, apesar da elevada umidade das cavernas (Ferreira & Martins 1999b). Geralmente, a comunidade de invertebrados associada ao guano responde às mudanças de pH (Ferreira & Martins 1999b). Contudo, pode não haver relação significativa entre o pH e a riqueza e

diversidade da comunidade, pois os invertebrados exibiriam tolerância por determinada faixa de pH (Bahia & Ferreira 2005).

Além disso, tanto a riqueza quanto a diversidade de invertebrados podem variar não somente em resposta às modificações físico-químicas dos depósitos, mas também em resposta ao tamanho e forma dos depósitos e em resposta à distância da entrada (Ferreira & Pompeu 1997, Ferreira & Martins 1999b). Os depósitos maiores oferecem mais micro-habitats e, conseqüentemente, comunidades mais diversificadas. E organismos encontrados nas bordas podem ser distintos dos organismos localizados no centro dos depósitos (Ferreira & Martins 1999b).

Embora o tamanho das populações aumente com a quantidade do guano como recurso alimentar, uma elevada deposição de guano pode levar a um acúmulo que não é totalmente consumido. A qualidade parece ser mais importante para a comunidade de invertebrados. Essa qualidade pode decrescer devido à mineralização de compostos orgânicos em depósitos mais velhos e não em relação ao consumo (Decu 1986, Ferreira & Martins 1999b).

As comunidades de invertebrados no guano são estruturadas a partir de organismos detritívoros, e que constituem a base da cadeia alimentar. Esses, por sua vez, são alimentos de predadores (Ferreira & Martins 1999a; Gomes *et al.* 2000; Bahia & Ferreira 2005). Esses organismos são classificados como guanófagos e zoófagos, respectivamente (Decu 1986). Os primeiros incluem os animais que se alimentam diretamente do guano e de microorganismos e fungos que crescem sobre esse recurso (Decu 1986, Gnaspini 1992, Gnaspini & Trajano 2000).

Os predadores que se alimentam de diversas presas detritívoras nas comunidades de guano, têm maior influência para a determinação do número de espécies e de indivíduos na comunidade (Ferreira & Martins 1999b). Como o guano não é um recurso limitante, a competição tem pouca influência na dinâmica da comunidade (Bahia & Ferreira 2005).

Estudos mostram que a fauna associada ao guano é bem diferente da fauna encontrada no restante da caverna, em relação à riqueza e abundância de espécies e às interações tróficas existentes (Ferreira & Martins 1999b, Gomes *et al.* 2000, Bahia & Ferreira 2005). Além disso, alguns organismos só vivem em um tipo específico de guano, enquanto outros são comuns a vários tipos (Ferreira & Martins 1999b).

Existem ainda os organismos que não estão obrigatoriamente associados somente com o depósito do guano como recurso, e apresentam mobilidade por longas áreas na caverna em um espaço de tempo mais curto (Prous *et al.* 2004).

Tendo em vista a associação dos organismos detritívoros e predadores com o recurso guano, que pode ter distintas qualidades, o objetivo desse trabalho foi registrar os parâmetros físicos (pH, área, Índice de Desenvolvimento de Margem) e químicos (teor de carbono, nitrogênio e fósforo) do guano, relacionando-os à riqueza e à diversidade desses invertebrados associados, verificando se:

- O aumento do pH (proximidade da basicidade) e do teor de C, N e P aumentam a riqueza e a diversidade dos invertebrados colonizadores do guano;
- Depósitos mais próximos da entrada apresentam maior riqueza e diversidade de invertebrados colonizadores de guano;
- Depósitos com maior área possuem maior riqueza e diversidade de invertebrados colonizadores de guano;
- Depósitos com maior índice de desenvolvimento de margem possuem maior riqueza e diversidade de invertebrados colonizadores de guano;
- As diferenças dos depósitos de guano, relacionadas à dieta alimentar dos morcegos, permitem o desenvolvimento de diferentes comunidades de invertebrados.

1.2 Material e métodos

Área de estudo

Cinco cavernas foram escolhidas para esse estudo, todas concentradas na área norte do Distrito Federal (Figura 1.1). Dessas, quatro estão localizadas na APA de Cafuringa – Sal/Fenda II, Labirinto da Lama, Dois Irmãos e Gruta dos Morcegos e uma (Gruta Água Rasa) na APA Planalto Central.

A APA de Cafuringa ocupa uma área de 465,10 km² e contém a maior parte das ocorrências de calcário do Distrito Federal, com inúmeras cavernas. Porém esses calcários também estão presentes a leste da APA, dentro do DF. Parte dessa unidade de conservação sofreu processo de ocupação representado por fazendas de criação de gado leiteiro, sítios e comunidades rurais (Leite 2006). A atividade minerária (extração de calcário) está restrita às proximidades da comunidade da Fercal (Pereira 2006).

A APA do Planalto Central está localizada no Distrito Federal e estado de Goiás, que se estende na área limítrofe com o noroeste do DF – Bacia do Rio Maranhão, abrangendo uma área de aproximadamente 48,63 km² (Silva 2006b).

O clima predominante da região do Distrito Federal e proximidades é classificado como clima Tropical de Savana, Aw (Köppen) com duas estações definidas: quente e úmida, com precipitação pluviométrica no verão, e seca no inverno. A temperatura média é de 19°C a 28°C, e a pluviosidade média é inferior a 2000 mm/ano (Ambiente Brasil 2009). Na APA de Cafuringa não existem variações significativas da precipitação, mas as diferenças altimétricas, são responsáveis pelas variações na temperatura (Baptista 2006).

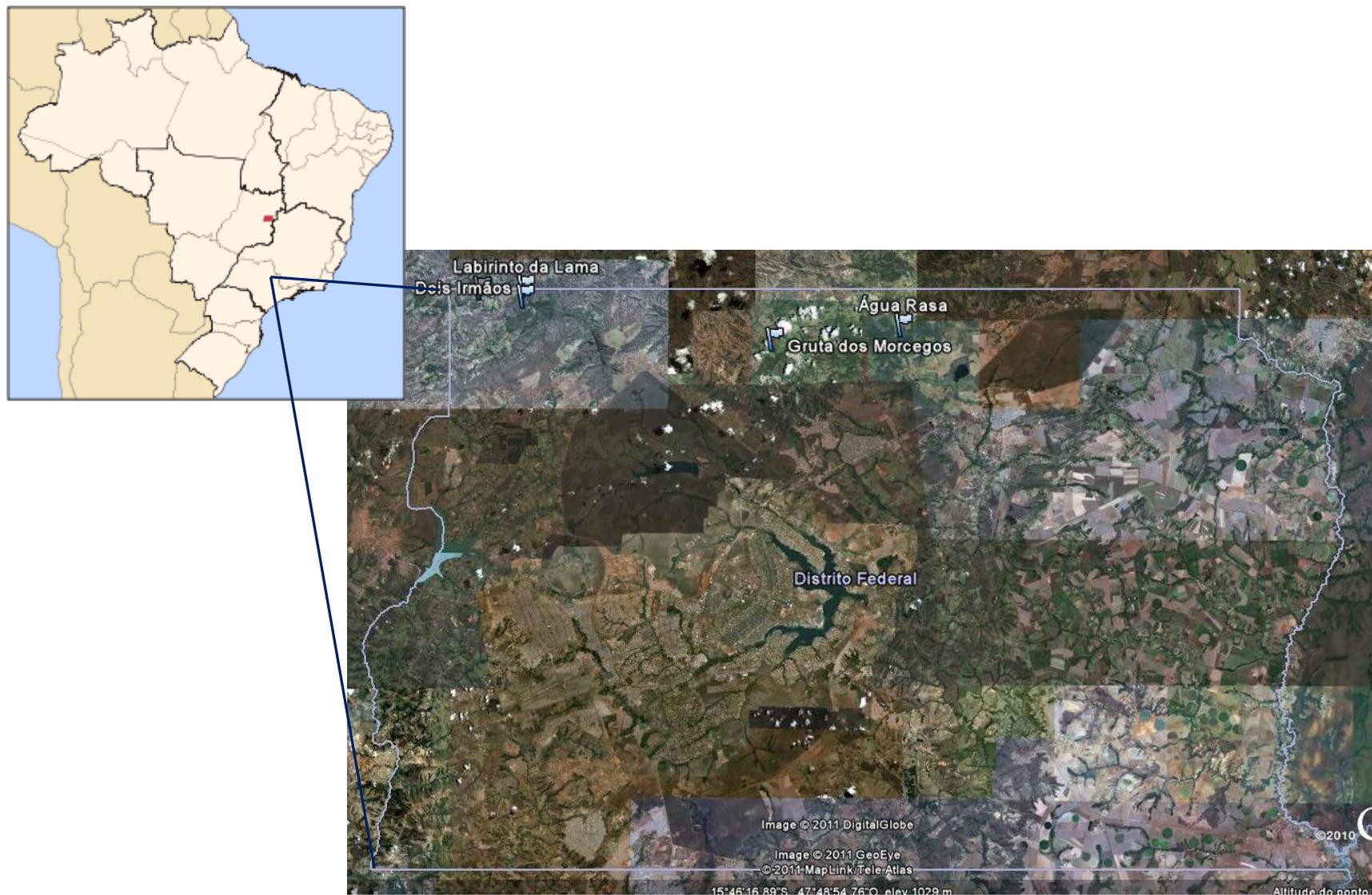


Figura 1.1 - Localização das cavernas estudadas dentro dos limites geopolíticos do DF: Gruta Sal/Fenda II, Labirinto da Lama, Dois Irmãos, Gruta dos Morcegos e Gruta Água Rasa. Fonte: Wikipédia e Google Earth.

1. *Gruta Sal/Fenda II*

O complexo Sal/Fenda II, registrada sob o número SBE DF 005 no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), é uma caverna de litologia calcária, sendo a maior caverna do Distrito Federal, com 667m de desenvolvimento horizontal segundo o método de descontinuidade UIS, assim denominado pela descoberta de uma conexão da Gruta Sal com a Gruta Fenda II. Está localizada na Região Administrativa de Brazlândia, extremo noroeste do Distrito Federal, situada na Fazenda Sarah, entre 15°30'44,32''S e 48°10'2,52''W. Encontra-se a 840m de altitude, inserida na bacia do rio Maranhão, sub-bacia do Rio do Sal. O relevo da região é bastante acidentado (Silva 2006a). A temperatura média anual é de 21°C (IBAMA 2001), e a vegetação externa é típica de cerrado com vastas áreas de pastagem e mata seca semidecídua (Bredt *et al.* 1999, IBAMA 2001, Silva 2006a) bastante alterada (Silva 2006a).

Como fator de perturbação, foi identificado indício de depredação, indicando frequente visitação (Bredt *et al.* 1999, IBAMA 2001, Silva 2006a), como se observa pela quantidade de lixo (latas de cerveja e refrigerante). Além disso, a vegetação ao redor encontra-se bastante fragmentada pela atividade agrícola e pela estrada de terra que separa essa porção de mata e a outra porção de pastagem.

2. *Gruta Labirinto da Lama*

É uma caverna de litologia calcária, situada entre 15°30'38,35''S e 48°7'27,53''W localizada na Região Administrativa de Brazlândia – DF a uma altitude de 840m, inserida na sub-bacia do Ribeirão Dois Irmãos. Está registrada sob o número SBE DF 010 no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), e apresenta desenvolvimento linear de 266m, com 12m de desnível.

Esta cavidade apresenta galerias jovens, pois os processos primários que resultam da ação do lençol freático não cessaram, estando ainda em processo de ampliação (Pereira 2006). Muitos dos condutos são preenchidos por água durante os períodos chuvosos. Esta água é

proveniente da cobertura rasa de solo, com a deposição de camada de argila no piso e nas paredes (Pereira 2006). Entretanto, nos anos de 2009 e 2010 não houve inundação, mesmo nos períodos de maior precipitação.

A entrada está localizada na base de um morro calcário, em um dos maiores afloramentos calcários da região (Silva 2006a), próximo da estrada de terra que dá acesso à Fazenda Imperial. Essa entrada apresenta uma faixa estreita e inclinada com 0,4m de altura e largura de 1m (Silva 2006a), onde a região de penumbra é praticamente imperceptível para o homem, que praticamente sai da região fótica para a região afótica. A vegetação ao redor do morro é do tipo mata seca semidecídua (Silva 2006a), conforme observado no período de seca, o qual boa parte das plantas arbóreas não apresentava folhas.

A caverna apresenta temperatura média de 23°C e elevada umidade (acima de 85%) que, somada a pouca circulação de ar (única entrada estreita) e elevada quantidade de matéria orgânica em decomposição (guano), cria um ambiente abafado e pouco oxigenado, principalmente nos condutos mais estreitos. Embora localizada a poucos metros da estrada, e sem precisar de autorização do fazendeiro, a entrada estreita e escondida favorece a conservação da caverna, uma vez que as visitas são praticamente restritas a pesquisadores.

3. *Gruta Dois Irmãos*

É uma caverna de litologia calcária, situada entre 15°31'11.78"S e 48°07'28.54"W localizada na Região Administrativa de Brazlândia – DF, inserida na sub-bacia do Ribeirão Dois Irmãos. Está registrada sob o número SBE DF 012 no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), e apresenta desenvolvimento linear de 90m, desnível de 15m e a uma altitude de 840m.

Trata-se de gruta seca, com umidade não tão elevada (cerca de 61%) e temperatura média de 25°C. A pequena entrada dá acesso a um salão principal que se encontra em uma

zona de penumbra. Tanto nos condutos inferiores jovens quanto no salão principal não foi visto fator de perturbação, pois é uma caverna pouco visitada.

A vegetação ao redor é do tipo mata seca semidecídua, com alguns fatores de perturbação, representados principalmente pela abertura da mata para trilhas e/ou passagem de pequenos carros.

4. *Gruta dos Morcegos*

É uma gruta de litologia calcária, situada entre 15°33'38,95"S e 47°52'39,70"W, localizada na Região Administrativa de Sobradinho – DF, região da Fercal, em área pertencente à Cimento Tocantins-Votorantim. Está registrada sob o número SBE DF 013 no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), e apresenta desenvolvimento linear de 93m, desnível de 7m e a uma altitude de 830m.

A entrada principal da gruta é relativamente pequena (1,70m de largura e 1,80m de altura), mas no interior, na porção norte, existe mais duas comunicações com o ambiente externo. Nesta porção há um pequeno curso de água, em atividade ao longo do ano (Silva 2006a). A temperatura média é de 24°C e a umidade relativa de 84%.

A vegetação ao redor é de mata de galeria bem preservada. Porém, o principal fator de perturbação ao ambiente cavernícola é representado pelas atividades de mineração, tendo em vista as freqüentes explosões da atividade de lavra há poucos metros da gruta. A visita não representa um risco à conservação da caverna, devido ao difícil acesso à gruta e a necessidade de autorização a entrada na fábrica Cimento Tocantins.

5. *Gruta Água Rasa*

Está localizada na Região Administrativa de Planaltina, Distrito Federal, na Fazenda Grotão entre 15°32'50,60"S e 47°45'0,40"W. A altitude é de 900m. Está registrada sob o

número SBE DF 018 no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), e apresenta projeção horizontal de 101m de desenvolvimento.

Essa gruta apresenta litologia calcária, com um salão e duas bocas. Devido à presença de um córrego que atravessa a gruta, e à presença de duas entradas relativamente grandes que formam um corredor de vento no interior da gruta, esta possui temperatura mais baixa (média de 20°C, mas com sensação térmica inferior a esta média), com relação a outras cavernas estudadas (média de 24°C), com exceção da gruta Sal/Fenda II (especialmente a gruta Sal). Esta apresenta temperatura média semelhante, porém com ventilação menor que a gruta Água Rasa. A umidade relativa da gruta Água Rasa também é bastante elevada, estando acima de 80%.

A vegetação externa é do tipo mata de galeria, preservada, pois o relevo local acidentado dificulta o estabelecimento de lavouras e pasto (Bredt *et al.* 1999). Entretanto, alguns fatores de perturbação foram encontrados próximos à mata de galeria, incluindo aberturas para passagem do gado. No interior da gruta não foram identificados fatores de perturbação (Bredt *et al.* 1999), provavelmente devido à dificuldade de acessibilidade e/ou pouco conhecimento da população.

Amostragem, coleta e identificação

Foram realizadas amostragens com coleta manual ativa no guano e com coleta de subamostras de guano de 15x15cm. A quantidade dessas subamostras foi variável para cada depósito, de forma a coletar a metade do tamanho total do depósito. As duas amostragens foram realizadas para cada tipo de depósito de guano em cada uma das seguintes cavernas: Água Rasa (guano de morcego nectarívoro); Gruta Labirinto da Lama (hematófago); Gruta Sal/Fenda II (guano de morcego hematófago); Gruta dos Morcegos (hematófago) e Gruta

Dois Irmãos (misturado). As amostragens foram realizadas em uma única vez para cada depósito de guano.

Na amostragem tipo I (coleta manual ativa no guano), os invertebrados foram coletados com o uso de pinças e pincéis de acordo com os procedimentos de Ferreira *et al.* (2000). Na amostragem II, os organismos foram separados com o auxílio de um funil de Berlese-Tullgren (Bernarth & Kunz 1981). Subamostras de depósitos de hematófagos, os quais apresentam consistência pastosa, não foram colocadas nesse funil.

Todos os exemplares de invertebrados foram fixados em frascos com álcool 70% e separados em morfoespécies. A identificação dos organismos foi feita até o nível taxonômico mais baixo possível, e em alguns casos a identificação foi limitada ao nível de família.

Os espécimes coletados foram depositados nas coleções científicas do Departamento de Zoologia da Universidade de Brasília. Alguns exemplares foram enviados para especialistas de outras Universidades a fim de identificá-los, e depositados em suas respectivas coleções.

Os organismos considerados como recurso-espaco-independentes (aranhas, grilos e baratas) (Ferreira & Martins 1999a), mesmo não obrigatoriamente associados somente com o depósito de guano como recurso, foram ainda considerados neste estudo como parte da comunidade associada ao guano.

Medidas dos valores físicos e químicos do depósito de guano

A distância da entrada até o centro de cada depósito foi medida com o auxílio de trena de fibra de vidro de 30m. A determinação do perímetro de cada depósito foi realizada com a utilização de um barbante margeando-o conforme o desenho do depósito. O tamanho do barbante utilizado e outras medidas do depósito, abaixo explicadas, foram posteriormente medidos com trena de precisão com trava de fita metálica de 3m.

A área de cada depósito foi calculada usando a fórmula de Simpson:

$A = 1/3 d (e+2i+4p)$, em que A representa a área do depósito de guano; d, distância entre cada segmento; e, extremidades do depósito de guano; i, soma dos comprimentos dos segmentos ímpares; p, soma dos comprimentos dos segmentos pares (Ferreira & Martins 1998). A forma do depósito foi quantificada usando o Índice de Desenvolvimento de Margem (IDM), uma função da área e perímetro de cada depósito: $IDM = 2p/4\pi (A)$, em que p representa o perímetro do depósito de guano e A, a área do depósito (Kent & Wong 1982).

Em depósito de guano de nectarívoro que não estava homogêneo foram criadas subáreas seguindo a delimitação de partes recentes e antigas. Essas subáreas foram medidas com a fórmula de Simpson, e cada uma delas foi amostrada para colocar em funil de Berlese, a fim de extrapolar dados de abundância para alguns dos pequenos organismos encontrados. Do mesmo modo, a amostragem para medida de pH foi realizada para cada uma das subáreas.

Para a determinação do pH, as amostras de cada depósito de guano foram colocadas em pequenos copos plásticos e pesadas em balança (Acculab V-600) até atingir 2,5g, previamente zerada. Foram acrescentados 20ml de água destilada para cada copo contendo 2,5g de guano. As amostras foram misturadas até a homogeneização, e as soluções tiveram o pH determinado com o auxílio de um medidor de pH (Hanna instruments 85/9), previamente calibrado.

O teor de carbono, nitrogênio e fósforo da amostra de guano foi realizado no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Lavras.

Análises

Análise de diversidade

Os valores de diversidade de espécies foram calculados pelo índice de Shannon-Wiener ($-\sum p_i \ln p_i$).

Similaridade entre as faunas

Para a análise de similaridade foi utilizado coeficiente quantitativo de distância, cujo cálculo foi realizado por meio da distância euclidiana, que mede a dissimilaridade entre amostras. Dessa forma, foi feita uma matriz baseada na abundância de cada espécie para cada depósito das cinco cavernas escolhidas. A partir da matriz, foi realizada uma análise de agrupamento.

1.3 Resultados

Foram coletados 1359 indivíduos pertencentes a sete espécies da Classe Arachnida; 763 indivíduos (considerando somente as formas adultas) pertencentes a 52 espécies de Insecta e 36 indivíduos isópodes (Malacostraca) pertencente a uma única espécie (*Trichorhina* sp.). (Tabela 1.1).

Entre os aracnídeos, o ácaro da espécie *Stratiolaelaps* sp. apresentou o maior número de indivíduos (1095), seguido pelo ácaro *Macrocheles* sp. com 222 indivíduos. Entre os insetos, embora o besouro Leiodidae tenha apresentado o maior número de indivíduos (128), quando se consideram as formas larvais, a mosca *Drosophila eleonora*e apresentou o maior número de indivíduos (ultrapassando 15 mil).

As espécies encontradas em quatro das cinco cavernas estudadas foram: aranha *Isoctenus coxalis*, mosca *Drosophila eleonora*e e grilo *Endecous* sp; seguido pelo pseudoescorpião Cheliferidae, besouro Bostrichidae sp.2 e formiga Ponerinae sp.1, todos encontrados em três das cinco cavernas. As quatro espécies de ácaros foram registradas somente na caverna Água

Rasa. Enquanto que apenas um indivíduo de cada uma das 13 espécies foi registrado na caverna Labirinto da Lama (6), na caverna Água Rasa (5) e na Gruta dos Morcegos (2). As formigas foram encontradas principalmente na caverna Água Rasa e Labirinto da Lama. Os himenópteros identificados foram todos considerados parasitóides (Tab. 1.1).

A presença de animais considerados fitófagos e xilófagos (Myridae, Cicadellidae e Bostrichidae) e dípteros não identificados, mas provavelmente fitófagos, foram encontrados principalmente na caverna Água Rasa (Tab. 1.1).

Os depósitos de guano coletados na gruta Dois Irmãos apresentaram características de guano de hematófago, mas contendo várias peças quitinosas de besouros. Não foi possível visualizar as espécies de morcegos, pois os depósitos estavam em trechos labirínticos e estreitos e as visitas para coleta os afugentavam (Tab. 1.2).

Tabela 1.1. Espécies coletadas e suas abundâncias totais em depósitos de guano de morcegos hematófagos (H) das cavernas Labirinto da Lama (LL), Sal/Fenda II (SF), Gruta dos Morcegos (GM), depósitos de morcegos nectarívoros (N) da caverna Água Rasa (AR) e depósitos mistos (M) da caverna Dois Irmãos (DI).

Taxon	Abundância total	Relação alimentar	LL (H)	SF (H)	GM (H)	AR (N)	DI (M)
ARACHNIDA							
Acari							
Cheyletidae							
<i>Cheyletus</i> sp.	6	Predador				+	
Histiostomatidae	13	Predador				+	
Macrochelidae							
<i>Macrocheles</i> sp.	222	Predador				+	
Laelapidae							
<i>Stratiolaelaps</i> sp.	1095	Predador				+	
Araneae							
Ctenidae							
<i>Isoctenus coxalis</i>	14	Predador	+	+	+	+	
Theridiosomatidae							
<i>Wendilgarda</i> sp.	3	Predador	+				
Pseudoscorpiones							
Cheliferidae	6	Predador	+	+		+	
INSECTA							
Blattaria							
Blattidae	5	Detritívoro	+		+		
Coleoptera							
Bostrichidae							
Bostrichidae sp.1	1	Xilófagos				+	
Bostrichidae sp.2	19	Xilófagos	+			+	+
Cucujidae	3	Onívoro*				+	
Histeridae							
<i>Paromalus</i> sp.	107	Predador, detrit.?	+			+	

Cont.

Taxon	Abundância total	Relação alimentar	LL (H)	SF (H)	GM (H)	AR (N)	DI (M)
Leiodidae	128			+			
Scarabaeidae	20	Detritívoro, coprófago				+	+
Staphylinidae						+	+
Staphylinidae sp.1	12	Predador, detritívoro?					
Staphylinidae sp.2	14	Predador, detritívoro?			+	+	
Diptera							
Diptera sp.1	2	-	+			+	
Diptera sp.2	1	-				+	
Diptera sp.3	14	-				+	
Diptera sp.4	3	-				+	
Diptera sp.5	4	-				+	
Diptera sp.6	7	-			+		
Diptera sp.7	1	-				+	
Diptera sp.8	21	-	+				
Diptera sp.9	1	-	+				
Diptera sp.10	1	-	+				
Diptera sp.11	1	-	+				
Diptera sp.12	25	-				+	+
Diptera sp.13	12	-				+	+
Diptera sp.14	1	-				+	
Cecidomyiidae							
Cecidomyiidae sp.1	22	-				+	
Cecidomyiidae sp.2	7	-				+	
Cecidomyiidae sp.3	9	-				+	
Drosophilidae							
Drosophilidae sp.	2					+	

Cont.

Taxon	Abundância total	Relação alimentar	LL (H)	SF (H)	GM (H)	AR (N)	DI (M)
<i>Drosophila eleonora</i>	22	Detritívoro	+	+	+	+	
Phoridae							
Phoridae sp.1	1	-			+		
Phoridae sp.2	7	-				+	
Phoridae sp.3	1	-			+		
Phoridae sp.4	3	-	+		+		
Psychodidae							
Psychodidae sp.1	3	-				+	
Psychodidae sp.2	8	-			+	+	
Tipulidae							
Tipulidae sp.1	9	-				+	
Hemiptera							
Cicadellidae	12	Fitófago*				+	+
Myridae	13	Fitófago			+		
Hymenoptera							
Bethylidae	1	Parasitóide	+				
Chalcidoidea sp.1	45	Parasitóide			+	+	
Chalcidoidea sp.2	13	Parasitóide				+	+
Chalcidoidea sp.3	1	Parasitóide	+				
Formicidae							
Formicinae							
<i>Camponotus</i> sp.1	19	Onívoro?				+	
<i>Camponotus</i> sp.2	28	Onívoro?	+			+	
<i>Paratrechina</i> sp.	3	Onívoro?				+	
Myrmicinae							
<i>Solenopsis</i> sp.	1	Onívoro?	+				
Ponerinae							
Ponerinae sp.1	15	Onívoro?	+			+	+
<i>Ectatoma</i> sp.	6	Onívoro?	+				

Cont.

Taxon	Abundância total	Relação alimentar	LL (H)	SF (H)	GM (H)	AR (N)	DI (M)
Isoptera							
Termitidae							
<i>Nasutitermes</i> sp.	72	-	+				
Lepidoptera							
Tineidae	20	-			+	+	
Orthoptera							
Phalangopsidae							
<i>Endecous</i> sp.	75	Onívoro	+	+	+	+	
<i>Eidmanacris</i> sp.	3	Onívoro			+	+	
Trichoptera	1					+	
MALACOSTRACA							
Isopoda							
Plathyarthridae							
<i>Trichorhina</i> sp.	36	-	+				
Total	2.158						

Apesar da classificação de *Anoura geoffroyi* (Gray 1838) como morcego nectarívoro, os depósitos de guano dessa espécie de morcego na gruta Água Rasa apresentaram várias sementes e peças quitinosas de insetos. Todos os outros depósitos da gruta Labirinto da Lama, Gruta dos Morcegos e Sal/Fenda II foram de morcegos hematófagos, sendo a maioria da espécie *Desmodus rotundus*, com exceção do depósito 1 de Sal/Fenda II que foi do hematófago *Diphylla ecaudata* (Spix 1823) (Tab. 1.2).

Com exceção do depósito 2 da gruta Água Rasa (AR₂), todos os outros depósitos estavam localizados na zona afótica ou zona escura da caverna (Tab. 1.2).

Tabela 1.2. Número (subscrito) do depósito de guano, classificado de acordo com a dieta alimentar de morcegos e coletado em dois tipos de zonas nas cavernas Água Rasa (AR), Dois Irmãos (DI), Gruta dos Morcegos (GM), Labirinto da Lama (LL) e Sal/Fenda II (SF).

Cav/Dep	Zona	Tipo
AR ₁	Afótica	Nectarívoro
AR ₂	Penumbra	Nectarívoro
DI ₁	Afótica	Misto
GM ₁	Afótica	Hematófago
GM ₂	Afótica	Hematófago
LL ₁	Afótica	Hematófago
LL ₂	Afótica	Hematófago
LL ₃	Afótica	Hematófago
LL ₄	Afótica	Hematófago
LL ₅	Afótica	Hematófago
SF ₁	Afótica	Hematófago
SF ₂	Afótica	Hematófago

O depósito 1 da gruta Água Rasa apresentou a maior riqueza, enquanto que no depósito 1 da gruta Sal/Fenda II somente duas espécies foram encontradas (Tab. 1.3 e 1.4).

Na caverna Água Rasa, o depósito 1 teve maior riqueza que o depósito 2, sendo este último localizado a menor distância da entrada oposta. Analisando somente os depósitos da Gruta Labirinto da Lama, aqueles que apresentaram maiores riquezas (LL₄ e LL₅) foram encontrados em regiões mais distantes da entrada (Tab. 1.3).

Na caverna Água Rasa e Gruta dos Morcegos foram encontrados maiores valores de diversidade para depósitos mais próximos da entrada, com relação a depósitos na mesma caverna. Mas na Gruta Sal/Fenda II houve valores contrastantes (0,07 e 1,38) entre dois depósitos com distância de apenas 1m um do outro. Analisando somente os depósitos da gruta Labirinto da Lama, o menor valor de diversidade (0,41) foi encontrado no segundo depósito mais próximo da entrada (Tab. 1.3).

Com relação à área verifica-se que na gruta Labirinto da Lama o depósito LL₂ de baixa diversidade, apresentou maior área (23.080cm²), mas com mesma riqueza de espécies que o depósito LL₃ de 1.315,8cm² (Tab. 1.3).

O maior valor de IDM (4,77) encontrado na LL₅ (7.641,1cm²) apresentou uma grande diferença tanto com o depósito de maior área (IDM=1,60) quanto com o depósito de menor área (IDM=1,20) na mesma gruta, mas apresentando uma riqueza com pouca diferença com relação aos dois últimos. Enquanto que o mesmo valor de IDM foi encontrado nos depósitos AR₁ e AR₂, mas o primeiro apresentou área duas vezes maior que o segundo e com riqueza três vezes maior, mas diversidade muito menor (Tab. 1.3).

A regressão entre IDM e área do depósito mostra que essas variáveis não foram relacionadas ($r=0,112$; $p=0,727$). Ou seja, a irregularidade encontrada nas bordas foi independente do tamanho dos depósitos.

A análise de todos os depósitos nas cavernas mostrou que o pH básico de guano recente ficou na faixa de 7.0-9.0, e o de guano mais antigo ficou na faixa de 3.0-5.0. O pH dos depósitos GM₁ (5.69) e LL₄ (6.62) apresentaram valores intermediários, mas o depósito da Gruta dos Morcegos apresentou um valor mais próximo da acidez, enquanto o depósito da gruta Labirinto da Lama apresentou valor mais próximo da basicidade, com característica mais recente. O pH do depósito AR₁ foi uma média das subáreas presentes com guano fresco e seco (Tab. 1.3). Analisando separadamente a regressão entre pH das subáreas de AR₁ e área de AR₂, e o teor de água de cada amostra, houve relação positiva ($r=0,95$, $p=1,70 \times 10^{-4}$) (Tab. 1.4, Figura 1.2).

Tabela 1.3. Relação entre riqueza e diversidade e fatores físicos (distância (m), área (cm²), índice de desenvolvimento de margem (IDM) e pH de cada depósito de guano em cinco cavernas do DF. Os códigos dos depósitos constam na Tabela 1.2.

Depósitos	Riqueza	Diversidade	Dist.	Área	IDM	pH
AR ₁	30	0,45	49,0	12.038,0	1,65	7.27
AR ₂	8	5,41	23,0	5.908,0	1,65	3.17
DI ₁	8	1,98	33,5	10.479,3	1,20	4.44
GM ₁	11	1,77	10,0	3.732,0	1,30	5.69
GM ₂	4	1,33	27,0	979,3	1,50	8.43
LL ₁	5	1,26	11,5	1.117,8	1,20	7.47
LL ₂	6	0,41	13,6	23.080,0	1,60	7.36
LL ₃	6	1,27	35,6	1.315,8	1,50	8.04
LL ₄	12	1,4	47,2	12.013,3	1,90	6.62
LL ₅	8	0,33	72,2	7.641,1	4,77	8.38
SF ₁	2	0,07	40,4	1.502,13	1,25	8.9
SF ₂	5	1,38	41,4	1.068,0	1,80	4.44

Tabela 1.4. Fatores físicos (pH e umidade) de dois depósitos de guano na mesma caverna (AR – Água Rasa). A umidade representa o teor de água calculado pela diferença entre o peso da amostra de guano fresco(g) e guano seco(g) após 72h em estufa.

	pH	Umidade
AR ₁		
área 1(mais velho)	5.41	7.1
área 1 (mais pastoso)	9.37	19.3
área 2	9.16	17.9
área 2 (mais pastoso)	8.72	20.4
área 3(mais velho)	5.27	9.2
área 3(mais pastoso)	7.36	16.9
área 4	9.02	22.6
AR ₂	3.17	3.9

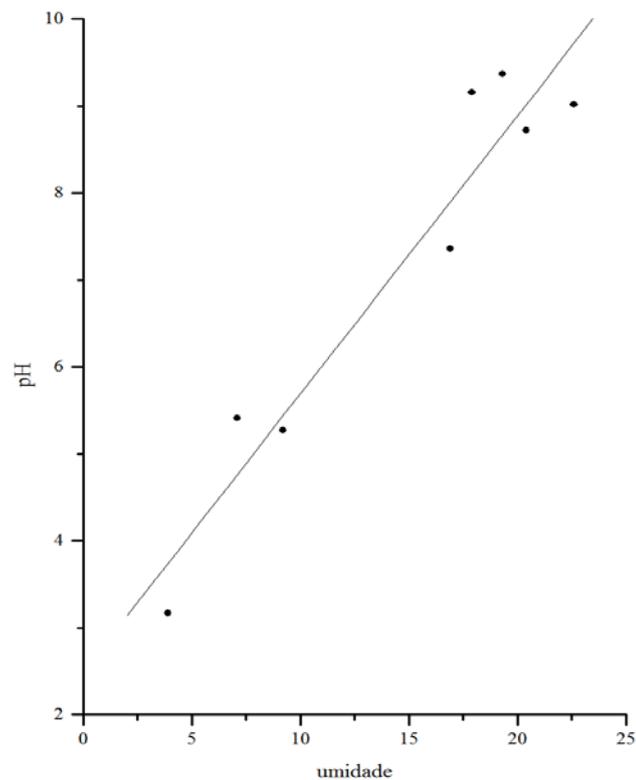


Figura 1.2. Regressão linear entre pH e umidade de sete subáreas do depósito AR₁ e depósito AR₂ ($r = 0,95$, $p=1,70 \times 10^{-4}$).

Observam-se valores mais elevados de N, P e C para os depósitos de morcego nectarívoro na Gruta Água Rasa, com pouca diferença entre os dois depósitos. Mas a riqueza do depósito 1 foi muito maior enquanto a diversidade foi muito pequena com relação ao depósito 2. O depósito 1 da gruta Sal/FendaII bastante recente e com elevado pH apresentou um alto valor de fósforo e valor médio de C com relação ao maior valor encontrado, mas havia somente 2 espécies, e com baixo valor de diversidade: centenas de besouros da família Leiodidae e somente 2 adultos de *Drosophila eleonora*e, mas nenhuma larva desse ou de outros dípteros foi encontrada (Tab. 1.5).

Tabela 1.5. Relação entre riqueza e diversidade e fatores químicos (N: nitrogênio, P: fósforo, C: carbono) de cada depósito de guano em cinco cavernas do DF.

Depósitos	Riqueza	Diversidade	N	P	C
AR ₁	30	0,45	6,55	14,1	36,5
AR ₂	8	5,41	7,10	14,4	31,0
DI ₁	8	1,98	4,50	8,3	20,0
GM ₁	11	1,77	2,70	11,2	17,0
GM ₂	4	1,33	2,10	6,5	9,4
LL ₁	5	1,26	4,80	6,4	30,0
LL ₂	6	0,41	4,80	6,4	30,0
LL ₃	6	1,27	4,30	6,6	24,0
LL ₄	12	1,4	1,00	5,4	6,3
LL ₅	8	0,33	1,80	7,2	11,0
SF ₁	2	0,07	2,90	20,0	16,0
SF ₂	5	1,38	5,30	9,1	21,0

A análise de agrupamento (Fig. 1.3) mostra que o depósito AR₁ foi o mais diferente dos demais depósitos, indicado pela grande diferença na altura em relação a outros depósitos, especialmente em relação ao depósito AR₂. Os depósitos que apresentaram maior semelhança entre si foram LL₁, GM₂ e SF₂. Entre os depósitos de morcego hematófago, SF₁ foi o mais distinto, seguido pelo LL₄.

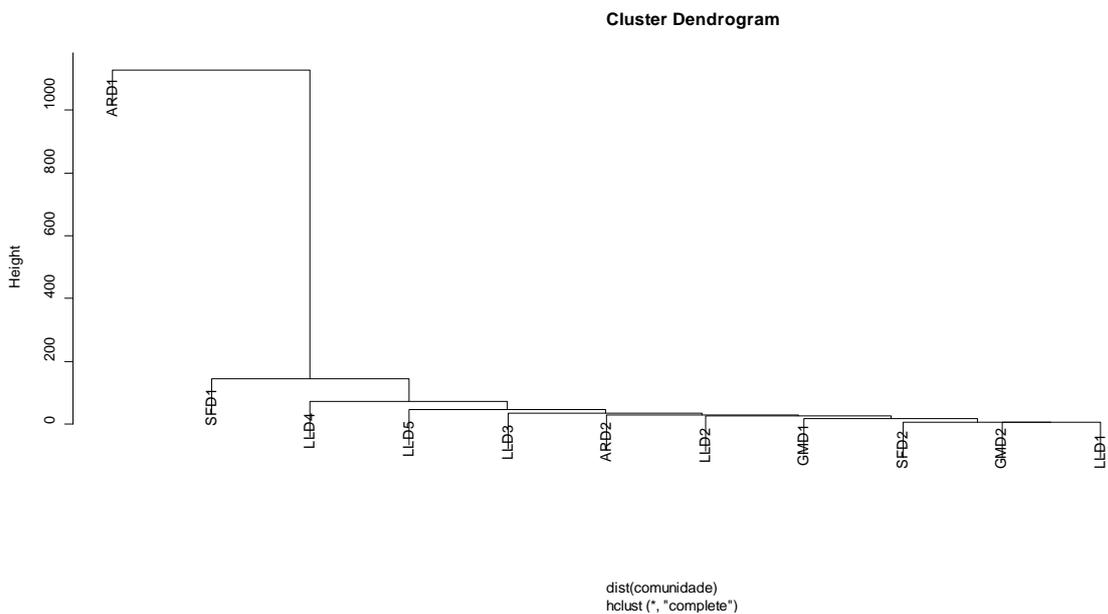


Figura 1.3. Análise de agrupamento baseada na abundância de cada espécie para cada depósito das cinco cavernas estudadas (Sal/Fenda II – SF; Labirinto da Lama – LL; Dois Irmãos – DI; Água Rasa – AR; Gruta dos Morcegos – GM).

A maior riqueza de invertebrados associados a guano, considerando todos os depósitos presentes em cada caverna, foi encontrada na caverna Água Rasa, onde não visto fator de perturbação no ambiente cavernícola, e cuja vegetação externa de Mata de Galeria estava muito preservada. Por outro lado, a diversidade foi baixa. Para a Gruta dos Morcegos, que também apresentou curso d'água, e com o mesmo tipo de vegetação externa e preservada, a diversidade foi maior (Tab. 1.6).

Entre as cavernas proximamente localizadas (Figura 1.1), sem curso permanente de água e com vegetação externa de Mata Seca, a maior riqueza e segunda maior diversidade foi encontrada na caverna Labirinto da Lama. Nesta, a qual apresentou somente uma entrada, não houve fator de perturbação no interior da caverna (Tab. 1.6).

Tabela 1.6. Riqueza e diversidade dos depósitos nas cinco cavernas estudadas (AR – Água Rasa, DI – Dois Irmãos, GM – Gruta dos Morcegos, LL – Labirinto da Lama, SF – Sal/Fenda II), e características da caverna (D – desenvolvimento linear, FP – fator de perturbação, Hidro – presença ou ausência de água permanente, E – número de entradas) e vegetação do ambiente externo.

Caverna	Riq.	Div.	D	Veg. ext.	FP	Hidro	E
AR	43	0,37	101 m	Mata de galeria/preservada	Não	Sim	2
DI	8	1,98	90 m	Mata seca/ alterada	Não	Não	1
GM	15	2,27	93 m	Mata de galeria/preservada	Mineração	Sim	2
LL	22	2,26	266 m	Mata seca/alterada	Não	Não	1
SF	5	0,21	667 m	Mata seca/alterada	Visitação	Não	1

1.4 Discussão

Os animais considerados fitófagos e xilófagos (Myridae, Cicadellidae e Bostrichidae) e dípteros fitófagos não identificados foram encontrados principalmente na caverna Água Rasa, a qual apresentava somente depósitos de morcegos nectarívoros, e a única cujos depósitos se encontravam em zona de penumbra. É provável que a qualidade desse depósito, aliado à geologia da caverna, e vegetação externa preservada, tenha contribuído para o maior número de espécies encontradas nessa caverna.

Os depósitos da caverna Água Rasa não apresentaram consistência pastosa como os depósitos de morcegos hematófagos. Essa consistência pastosa do guano de hematófago restringe a fauna praticamente à superfície, uma vez que não há espaçamento entre partículas que possam criar microambientes. Talvez a diferente consistência de guano de nectarívoro tenha sido favorável para as espécies de ácaros presentes, e que não foram registradas em depósitos das outras cavernas. Por exemplo, as espécies *Stratiolaelaps* sp. e *Macrocheles* sp. podem preda outras espécies de ácaros, e apresentaram o maior número de indivíduos em relação a outras espécies de ácaros e em relação a todos os aracnídeos registrados para todas as cavernas.

As formigas foram encontradas principalmente na caverna Água Rasa e Labirinto da Lama, contribuindo para o aumento da riqueza de espécies no ambiente cavernícola. Os demais himenópteros encontrados são todos parasitóides, provavelmente de larvas de besouros. Apesar de, provavelmente, não utilizarem o guano como recurso, esses animais podem ter importância nas interações tróficas.

A difícil identificação do depósito de guano na gruta Dois Irmãos foi devido à mistura de materiais, o que pode ser explicado pela riqueza da quiropteroфаuna, cujo levantamento recentemente realizado resultou em 18 espécies (Portella 2010).

No caso da gruta Água Rasa, a presença de sementes e fragmentos dessas e de insetos nos depósitos do morcego nectarívoro *Anoura geoffroyi* mostra que nem sempre a classificação é restritiva a um hábito alimentar. Estudo de Gardner (1977) mostra que morcegos nectarívoros complementam suas dietas ricas em carboidratos com pólen e insetos como importantes fontes de proteína. Isso foi revelado por meio de estudos com o uso de isótopos estáveis que indicaram que a espécie nectarívora *Glossophaga soricina* obteve sua fonte de proteína predominantemente de insetos, mas para fêmeas tanto os insetos quanto as

plantas foram igualmente importantes no início da estação chuvosa e no meio da estação seca (Herrera *et al.* 2001b).

A distância do depósito à entrada de caverna parece não ser o principal fator influenciador tanto na riqueza quanto na diversidade, porém poucos depósitos foram amostrados para cada caverna, o que não permitiria inferir uma relação. Os resultados de variação de riqueza com relação à distância foram encontrados por Ferreira *et al.* (2000), Bahia & Ferreira (2005). Segundo Ferreira & Martins (1999b), na maioria das cavernas o número de espécies não está relacionado à distância, pois os principais colonizadores do guano são os animais troglófilos que já estavam presentes na caverna. Além disso, depósitos mais próximos da entrada seriam mais facilmente colonizados, principalmente por espécies troglóxenas, do que aqueles depósitos mais distantes (Bahia & Ferreira 2005). Por outro lado, Ferreira & Pompeu (1997) encontraram correlação negativa, com maior riqueza e diversidade em depósitos localizados a distâncias menores da entrada. Mas nesses estudos, mais depósitos foram amostrados para cada caverna.

Os valores contrastantes da diversidade entre dois depósitos da gruta Sal/Fenda II com diferença de 1m entre eles até a entrada poderia ser explicada pela diferença quanto ao tempo de deposição, uma vez que o depósito 1 estava recente e com pH muito básico, contendo somente besouros da família Leiodidae e *Drosophila eleonora*, enquanto o depósito 2 estava seco e mais ácido, mas havia 5 espécies. No caso da gruta Labirinto da Lama, o baixo valor de diversidade em depósito próximo da entrada também foi encontrado em pH básico.

A baixa diversidade encontrada no depósito 2 da gruta Labirinto da Lama o qual teve maior área, mas com mesma riqueza de espécies que o depósito 3 da mesma gruta, ambos de morcego hematófago, pode ser explicada pela maior quantidade de larvas de *D. eleonora* encontradas. Neste caso, não a riqueza, mas a maior abundância da larva esteve relacionada com a maior área disponível de guano fresco, uma vez que houve pouca diferença nos valores

de pH entre os dois depósitos. Essa maior abundância da larva contribuiu para a diminuição do valor da diversidade do depósito 2.

A maior riqueza observada na gruta Água Rasa, cujos depósitos eram provenientes de morcegos nectarívoros, poderia ser explicada pela variedade de fragmentos de sementes e peças quitinosas de insetos. A mistura de características de guano de insetívoro e de frugívoro, os quais sustentam uma fauna distinta do guano de hematófago, com maior variedade para o de frugívoro (Ferreira & Martins 1999b), favoreceria a maior riqueza de espécies. Além disso, a consistência não pastosa, mas com espaçamento entre partículas também criaria micro-habitats para os pequenos invertebrados. Entretanto, o depósito que apresentou essa maior riqueza continha subáreas compostas de guano novo, velho e intermediário e pH de ácido a básico. Essas condições teriam sido mais favoráveis ao estabelecimento de muitas espécies com faixas distintas de tolerâncias e exigências alimentares. Conseqüentemente houve uma distribuição não homogênea das espécies ao longo do depósito com distintos valores de pH.

A mudança do pH do depósito de guano teve relação com o teor de água. Conforme estudos anteriormente realizados (Gnaspini & Trajano 1998, Ferreira & Martins 1998, Moulds 2004), os depósitos frescos apresentaram valores de pH elevados (básicos) e depósitos de guano mais velho e seco apresentaram valores de pH baixos (ácidos). No entanto, valores entre 5 e 7 foram considerados como intermediários, com uma proximidade na condição de acidez de até 6.0 e proximidade da basicidade acima de 6.5. Isso mostra que a elevada umidade encontrada nas cavernas de estudo não parece ter influência no depósito de guano (Ferreira & Martins 1999b), que com o tempo se tornou velho e seco.

A heterogeneidade quanto ao tempo de deposição no mesmo depósito também não permitiu seguir a metodologia de Harris (1971), a qual considera que o centro dos depósitos apresenta um pH básico, considerando que a deposição de guano recente tenderia a ser central

(Ferreira & Martins 1999b). Essa centralização na deposição não foi vista para a maioria dos depósitos.

A riqueza e a diversidade aparentemente não estão relacionadas ao formato do depósito, ou seja, não parecem aumentar com a irregularidade das bordas. Porém, o número de depósitos amostrados para cada caverna foi insuficiente. O depósito 4 da Gruta Labirinto da Lama teve o maior valor de IDM encontrado, e apresentou tanto deposição no chão quanto escorrimento na parede. Isso contribuiu para o aumento da irregularidade na borda do depósito como um todo, mas não no aumento da riqueza que foi menor que depósitos de bordas mais regulares.

O resultado encontrado de Bahia & Ferreira (2005) para a regressão entre a área e IDM em uma mesma caverna mostra uma relação negativa, ou seja, depósitos de maior área apresentaram formas mais regulares com bordas menos recortadas. No presente estudo não houve relação entre a área dos depósitos e o IDM, mas eram depósitos de tipos diferentes (hematófagos e nectarívoros) e provenientes de cavernas diferentes.

A qualidade do guano, devido aos diferentes materiais fragmentados de insetos, sementes e outros materiais encontrados em depósito de morcego nectarívoro, pode contribuir para o aumento dos valores de N, P e C da gruta Água Rasa, com relação ao depósito de guano de hematófago. A presença de elementos como N, P e C é uma importante fonte de nutrição para a fauna. Outros fatores poderiam contribuir com maior influência, ou com influência conjunta com esses elementos para o aumento da riqueza e diversidade.

Larvas de dípteros foram encontradas em todos os depósitos recentes e com subáreas recentes de elevado pH, mas não foram encontradas no depósito 1 da gruta Sal/Fenda II que apresentou as mesmas características. Esse depósito do morcego hematófago *Diphilla ecaudata* apresentou elevado valor de fósforo, que não foi encontrado nos outros depósitos de hematófagos de outra espécie de morcego (*D. rotundus*). Não se sabe se a ausência de larvas

seja devido ao elevado valor de P ou se devido à presença de numerosos besouros (Leiodidae).

Os maiores valores de nitrogênio, fósforo e carbono parecem estar mais relacionados com o tipo de guano de acordo com a dieta alimentar do morcego do que ao tempo de deposição do guano. Neste último caso, os maiores valores desses elementos eram esperados para depósitos recentes uma vez que os nutrientes seriam menos esgotados, que em depósitos mais antigos, conforme Decu (1986) e Ferreira & Martins (1999b), os quais afirmam que a qualidade do guano pode decrescer devido à mineralização de compostos orgânicos em depósitos mais velhos e não em relação ao consumo.

Os resultados da análise de agrupamento mostraram que as diferenças dos depósitos de guano com base na abundância das espécies, relacionadas à dieta alimentar dos morcegos, nem sempre permitem o desenvolvimento de diferentes comunidades de invertebrados. Como no caso do depósito de morcego nectarívoro AR₁ que foi muito diferente dos demais depósitos, inclusive do mesmo tipo de depósito encontrado na mesma caverna (AR₂). Este último foi mais similar a depósitos de morcegos hematófagos de grutas distintas. Da mesma forma, esperava-se semelhanças entre depósitos de mesma caverna como a Labirinto da Lama, entretanto os depósitos mais semelhantes foram encontrados em três tipos de cavernas. Por outro lado, o depósito de hematófago mais distinto foi o SF₁, que foi o único depósito de morcego hematófago de espécie diferente (*Diphilla ecaudata*). Contudo, poucos depósitos de cada tipo e em cada caverna foram encontrados para melhor comparação.

A riqueza e a diversidade também podem estar relacionadas às características geológicas da caverna (tamanho da caverna, padrão de desenvolvimento, tamanho e número de entradas, etc) e da vegetação externa. A pequena quantidade de depósitos de guano presentes ou ausência destes é característica da maioria das cavernas do Distrito Federal.

Por exemplo, em estudo realizado em 12 cavernas de Minas Gerais, o menor número de depósitos amostrados foi cinco (hematófagos), enquanto que a caverna com maior quantidade de depósitos de guano apresentou 26 depósitos de hematófagos. Para a primeira, havia 6 espécies, enquanto na segunda a riqueza foi de 46 espécies (Ferreira & Martins 1999a).

No presente estudo, a caverna Labirinto da Lama apresentou cinco depósitos de guano de hematófagos com 22 espécies de invertebrados. Comparativamente, outras cavernas que apresentaram cinco depósitos de hematófagos foram caverna do Índio I em Goiás, com 8 espécies, e caverna Paivas em São Paulo com 2 espécies (Ferreira & Martins 1999a). Embora sejam sistemas diferentes e com depósitos variáveis com relação à área e outros fatores, a riqueza de espécies na caverna Labirinto da Lama parece ser grande para a quantidade de depósitos amostrados.

Em comparação, a caverna Lavoura em Minas Gerais com 290 metros de desenvolvimento horizontal (24 metros a mais que a caverna Labirinto da Lama), e com 26 depósitos amostrados de morcegos hematófagos, teve um total de 51 espécies (Ferreira *et al.* 2000). Como em Labirinto da Lama, essa caverna também possui uma vegetação externa alterada pelo homem. Embora haja pouca diferença no tamanho dessas grutas localizadas em regiões distantes e em áreas alteradas, a geologia e a vegetação de ambas as cavernas são diferentes, o que pode influenciar distintamente no número de espécies encontradas no interior da caverna e que estão associadas a guano.

Conforme anteriormente citado, animais típicos do ambiente externo, considerados fitófagos e xilófagos, foram encontrados principalmente na caverna Água Rasa, o que contribuiria para o aumento da riqueza encontrada. Além disso, a vegetação externa de Mata de Galeria é muito preservada, o que forneceria alimento ao longo do ano para os morcegos nectarívoros que utilizam a caverna como abrigo. Desse modo, a entrada de energia, por meio

do depósito de guano, para os invertebrados seria contínua. Além disso, a vegetação preservada também representa uma fonte contínua de animais invertebrados que se associam aos depósitos de guano.

A presença de água permanente tanto na caverna Água Rasa, quanto na caverna Gruta dos Morcegos, também poderia atrair mais animais do ambiente externo, aliado a presença de mais de uma entrada em ambas as cavernas, permitindo uma maior conexão do ambiente cavernícola com o ambiente externo.

Por outro lado, a diversidade na caverna Água Rasa foi baixa para uma caverna onde não há fator de perturbação e com vegetação externa preservada. Contrariamente, a caverna Gruta dos Morcegos apresentou diversidade alta, cujo fator de perturbação estava representado principalmente pelas atividades de mineração em região próxima.

Entre as cavernas sem curso permanente de água que estavam proximamente localizadas, e com vegetação externa de Mata Seca, a maior riqueza e segunda maior diversidade foi encontrada na caverna Labirinto da Lama. Esta apresentou somente uma pequena e estreita entrada que dificultava a entrada de outras fontes de energia, tais como serapilheira. A presença de mais depósitos de guano, em relação às cavernas próximas poderia atrair mais animais para o ambiente cavernícola.

Conclusão

A riqueza e a diversidade de invertebrados associados ao guano não estão relacionadas a nenhum dos fatores físicos e químicos dos depósitos de guano. Isso pode ser explicado pela baixa quantidade de depósitos encontrados para cada caverna. As diferenças geológicas entre as cavernas estudadas e as características da vegetação do ambiente externo (grau de preservação), também podem contribuir para a riqueza e diversidade presentes. Porém a maior riqueza, que foi encontrada na caverna Água Rasa, especialmente no depósito 1, poderia ser

explicada pelo conjunto de fatores influenciadores tanto do depósito quanto das características do ambiente cavernícola e ambiente externo. Embora poucos depósitos tenham sido amostrados para cada caverna, a análise qualitativa do depósito de guano com base no tipo de dieta alimentar do morcego mostrou que depósitos similares, com relação ao hábito alimentar dos morcegos, nem sempre permitem o desenvolvimento de comunidades similares de invertebrados.

Capítulo 2

Origem alimentar de detritívoros e predadores nas proximidades de depósitos de guano de morcegos por meio da análise de isótopos estáveis, Gruta Labirinto da Lama – DF.

2.1 Introdução

Os métodos comumente utilizados para determinar a dieta de um animal envolvem a observação comportamental (Silva & Peracchi 1995) ou análise do conteúdo estomacal (Vaske & Rincón 1998, Lima & Goitein 2001) e fecal (Sipinski & Reis 1995, Aguiar & Antonini 2008) por meio de fragmentos alimentares não digeridos (DeNiro & Epstein 1978). Esses métodos consomem tempo e são sujeitos a erros devido à digestibilidade diferencial de cada alimento, uma vez que o animal pode não digerir tudo que se encontra em seu estômago (DeNiro & Epstein 1978).

A metodologia isotópica oferece vantagens sobre os métodos tradicionais (DeNiro & Epstein 1978, Rounick & Winterbourn 1986). Por exemplo, a composição isotópica de tecidos animais representa uma condição de equilíbrio dinâmico entre a entrada de alimentos e sua saída. Em geral, a maioria dos animais apresenta uma condição próxima desse equilíbrio dinâmico, onde o inventário de substâncias químicas no corpo não flutua acentuadamente em uma escala diária (Peterson & Fry 1987).

Por outro lado, os métodos tradicionais podem ser essenciais para a execução posterior da metodologia isotópica. Assim, para estudo da dieta dos animais por meio de isótopos estáveis, alguns aspectos dessa metodologia devem ser salientados: buscar as fontes alimentares mais prováveis que podem ser obtidas por meio de estudos comportamentais ou de conteúdo estomacal, e considerar as possíveis variabilidades devido à sazonalidade na composição isotópica das fontes (Martinelli *et al.* 2009).

As plantas representam fontes alimentares para vários animais, vertebrados (Montalvo 1997, Fleming *et al.* 1993) e invertebrados (Boutton *et al.* 1983, Lepage *et al.* 1993, Tayasu *et al.* 1998). Por apresentarem três ciclos ou caminhos fotossintéticos (C_3 , C_4 e CAM), cada um possuindo um valor isotópico contido em uma faixa de variação específica para cada ciclo, a origem do carbono na dieta alimentar pode ser determinada (Herrera *et al.* 1993).

As plantas C_3 são aquelas que reduzem o CO_2 a 3-PGA (um composto de 3 carbonos) via enzima RuBisCO (ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase) e representam 85% de todas as espécies de plantas da superfície terrestre. As plantas C_4 reduzem o CO_2 a ácido aspártico ou málico (composto de 4 carbonos) através da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), e compreendem cerca de 5% de todas as espécies terrestres, sendo a metade constituída de gramíneas de origem tropical e subtropical, e inclui vegetação de savanas, pântanos, mangues e pastagens naturais. As plantas CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), conhecidas como plantas suculentas de deserto, representam 10% de todas as espécies de plantas. Nesse último grupo, os cactos e bromélias são alguns dos exemplos mais conhecidos (Trivelin 2009).

Por exemplo, a análise de isótopos estáveis de carbono em morcegos no sul e parte central do México revelou que plantas do tipo CAM, como cactos e agaves, fazem parte da dieta desses morcegos, indicando movimentos altitudinais em vez de migração em longas distâncias (Montalvo 1997). As mudanças na dieta de morcegos também têm relação com a migração sazonal para locais com predominância alimentar de plantas C_3 e locais cuja alimentação predominante seja de plantas CAM (Fleming *et al.* 1993).

Para pequenos invertebrados como cupins, por exemplo, é possível caracterizar suas preferências alimentares entre material arbóreo (C_3) e herbáceo (C_4) usando isótopos de carbono (Boutton *et al.* 1983, Lepage *et al.* 1993); e mesmo podem ser alimentadores na interface solo-árvore (Tayasu *et al.* 1998). Além do carbono, o uso de isótopos estáveis de

nitrogênio pode quantificar o caminho do fluxo de energia. Um exemplo desse caso mostra que o estudo da relação trófica entre plantas, pragas e insetos pode ser de grande importância para manutenção da estabilidade dos agroecossistemas (Ostrom *et al.* 1997).

A utilização dos isótopos estáveis para determinação da dieta alimentar tem sido realizada para diversas finalidades. Pode ser uma ferramenta útil em estudos de nutrição humana moderna (Nakamura *et al.* 1982, Schwarcz & Schoeninger 1991, Nardoto *et al.* 2006a), e animal (Alisauskas *et al.* 1988, Conceição *et al.* 2007, Voigt *et al.* 2008); para atender a demanda de consumidores que buscam informações dos fatores produtivos em herbívoros, que afeta a composição da carne e do leite (Prache 2009); para determinar a origem alimentar em aves migratórias (Dowdall *et al.* 2006); e podem ser utilizados, por exemplo, para saber a origem da proteína alimentar em espécies de morcegos frugívoros (proteína de frutos), insetívoros (proteína de insetos) (Herrera *et al.* 2001a) e nectarívoros (proteína de insetos) (Herrera *et al.* 2001b).

Além disso, a determinação da fonte alimentar na composição isotópica do animal não é utilizada somente para a flora e fauna vivas e atuais. Pode ser uma ferramenta adicional para arqueólogos que frequentemente usam muitas fontes diferentes de informação para reconstruir dietas ancestrais, como os remanescentes da fauna e da flora, pólen, resíduos em cerâmica, coprólitos (Tykot 2004) e dieta humana pré-histórica (Harrison & Katzenberg 2003, Tykot 2004).

Em cavernas, os estudos de isótopos estáveis da biota têm sido realizados com animais fossilizados para reconstrução paleoambiental (Lacumin *et al.* 1997, Fernández-Mosquera *et al.* 2001), quimioautotrofia em bactérias (Hutchens *et al.* 2004), dinâmica trófica aquática (Graening & Brown 2000), e influência do guano de morcegos sobre a ecologia da comunidade e dinâmica trófica terrestre (Fenolio *et al.* 2006).

Esse último estudo, realizado em caverna dos Estados Unidos sobre a dieta alimentar da salamandra cavernícola *Eurycea spelaea* (Stejneger 1893), por meio da análise de isótopos estáveis, indicou coprofagia, contradizendo o entendimento geral de que as salamandras são estritamente carnívoras. O valor isotópico do carbono da salamandra foi similar ao do guano de morcego, sugerindo que este poderia ser o seu item alimentar. Por outro lado, a análise de isótopo de nitrogênio reforçou o resultado, colocando a salamandra na posição trófica mais alta, devido à mistura de hábito detritívoro e de predação (Fenolio *et al.* 2006).

No Brasil, estudos com isótopos estáveis em cavernas têm sido realizados somente na área geológica, tais como estudos de espeleotemas para construção paleoclimática (Cruz Jr. *et al.* 2005a, Cruz Jr. *et al.* 2007) e percolação de água (Cruz Jr. *et al.* 2005b).

O presente estudo é o primeiro no Brasil a utilizar isótopos estáveis na determinação da origem alimentar da fauna de invertebrados cavernícolas. Além disso, abrirá possibilidade para a realização de pesquisas mais aprofundadas sobre o fluxo de energia em cadeias alimentares do ambiente cavernícola, e a ligação deste com o ambiente externo, servindo como subsídio para medidas de conservação das cavernas e sua fauna.

A Metodologia Isotópica

A palavra “isótopo” vem do grego, isos (igual) e topos (lugar), a qual se refere a um local comum de um elemento específico na tabela periódica. Ou seja, são espécies atômicas de um mesmo elemento químico que possuem massas – núcleos compostos de prótons (Z) e nêutrons (N) – diferentes, pois o número de nêutrons em seus núcleos é distinto. Dessa forma um núcleo ou átomo específico-isótopo pode ser estável ou radioativo (Martinelli *et al.* 2009, Pereira & Benedito 2007).

Exemplos de elementos que possuem mais que um isótopo, e suas abundâncias médias em átomos são: carbono (^{12}C – 98,89% e ^{13}C – 1,11%), nitrogênio (^{14}N – 99,34 e ^{15}N –

0,37%), enxofre (^{32}S – 95,02% e ^{34}S – 4,21%), hidrogênio (^1H – 98,98% e ^2H – 0,02%) e oxigênio (^{16}O – 99,76%, ^{17}O – 0,037% e ^{18}O – 0,199%) (Peterson & Fry 1987, Martinelli *et al.* 2009). Desse modo, os isótopos estáveis – assim denominados, quando a razão Z/N é aproximadamente 1-1,5 – de muitos elementos são formados por isótopos abundantes e um ou dois isótopos relativamente menos abundantes (Pereira & Benedito 2007). Normalmente os isótopos mais abundantes são mais leves, ou seja, com menor massa atômica, enquanto que os isótopos que possuem massa atômica maior são mais raros (Martinelli *et al.* 2009).

As análises isotópicas, especialmente os isótopos de baixa abundância, são consideradas atualmente como uma importante ferramenta para fisiologistas, como traçadores em estudos bioquímicos, e para ecólogos e outros pesquisadores que estudam os ciclos dos elementos e matéria nos ecossistemas terrestres e aquáticos, como fluxos energéticos em cadeias alimentares (Peterson & Fry 1987, Pereira & Benedito 2007). Assim, tais pesquisadores utilizariam fontes enriquecidas destes isótopos como traçadores em estudos biológicos e ambientais (Pereira & Benedito 2007).

O uso dos valores de δ (delta) como traçador (razão isotópica) em estudos ambientais baseia-se na existência de diferenças na composição isotópica dos compostos que participam do processo em estudo, suficientemente sensíveis para serem detectados pelo espectrômetro de massa. Essas diferenças ocorrem na natureza e são frutos de reações físico-químicas e/ou biológicas que promovem a discriminação de um dos isótopos (Martinelli *et al.* 1988).

Esse processo de discriminação isotópica é chamado de fracionamento isotópico, o qual pode ser resumido como um enriquecimento ou empobrecimento do isótopo pesado da amostra em estudo (produto) em relação a sua fonte (substrato) (Martinelli *et al.* 1988, Pereira & Benedito 2007). Ou seja, o fracionamento isotópico na maioria das reações bioquímicas aparece quando moléculas similares de massa ligeiramente diferente reagem em diferentes

taxas (Peterson & Fry 1987). Em outras palavras, representa o caminho metabólico que o alimento percorre antes de ser incorporado em algum tecido (Martinelli *et al.* 2009).

Por exemplo, à medida que os isótopos passam de um nível trófico a outro em uma cadeia alimentar, eles podem ter seu valor aumentado ou diminuído (Pereira & Benedito 2007). Assim, $E(p/s) = \delta(p) - \delta(s)$, sendo E o fator de enriquecimento por mil; $\delta(p)$ o valor de delta por mil do produto; e $\delta(s)$ o valor de delta por mil do substrato. Como as variações naturais dos isótopos são pequenas, a notação δ (composição isotópica) é expressa por mil: $\delta(\text{‰}) = \delta \times 1000$ e representa diferenças de partes por mil (‰) de um padrão (Fry 2006). Os padrões de referência comumente utilizados são carbono da rocha do fóssil *Belemnitella americana* da formação PeeDee (PDB) do Grand Canyon, Carolina do Sul - Estados Unidos; e gás nitrogênio (N_2) na atmosfera.

Desse modo, $\delta X = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1] 1000$ onde X é ^{13}C ou ^{15}N , por exemplo, R é a razão correspondente $^{13}C/^{12}C$ ou $^{15}N/^{14}N$. O aumento nesses valores denota aumento na quantidade dos componentes de isótopos estáveis (Peterson & Fry 1987). Normalmente, amostras enriquecidas em ^{13}C são denominadas “mais pesadas” ou “menos negativas”; por outro lado, amostras empobrecidas em ^{13}C são denominadas “mais leves” ou “mais negativas”. Os valores de discriminação são positivos em sinal quando as espécies de isótopos leves reagem mais rápido que sua contrapartida de isótopos pesados (Peterson & Fry 1987).

Os estudos químicos e bioquímicos, por exemplo, dividem as reações em uma série de passos individuais, combinados em modelos cinéticos, que produzem um fracionamento apropriado para a reação total (Peterson & Fry 1987). Dessa forma, a escolha do isótopo a ser utilizado deve condizer com o objetivo do trabalho e, principalmente, a que perguntas se pretende responder.

Uso de isótopos estáveis na detecção de padrões alimentares

Os isótopos estáveis mais utilizados em estudos biológicos são ^{13}C e ^{15}N . Para estudo de cadeia alimentar, o carbono é um bom indicador de possíveis fontes autotróficas na alimentação dos consumidores (Araújo-Lima *et al.* 1986, DeNiro & Epstein 1978). Já a razão do isótopo de nitrogênio tem sido usada para estimar a importância da fixação de nitrogênio por bactérias simbióticas (Wilson *et al.* 1943; MacGregor *et al.* 2001) e para a análise da dieta (DeNiro & Epstein 1981, Minagawa & Wada 1984, Nardoto *et al.* 2006a,b), refletindo o nível trófico do animal (Fenolio *et al.* 2006).

Antes de realizar a análise isotópica entre animais e dietas, deve-se considerar o tipo de organismo amostrado (Martinelli *et al.* 2009). O fracionamento isotópico pode ser analisado entre a dieta e o tecido do organismo, no caso de animais de grande porte. Neste caso, os músculos são mais comumente utilizados (Martinelli *et al.* 2009), devido à menor taxa metabólica (Dowdall *et al.* 2006), mas outros tecidos pode ser utilizados, como os tecidos ósseos (Tykot 2004), unhas e pêlos (Nardoto *et al.* 2006b), e mesmo o tecido de penas em aves migratórias (Dowdall *et al.* 2006). Já para os pequenos invertebrados, o fracionamento pode ser analisado entre a dieta e o animal como um todo (Martinelli *et al.* 2009). Neste caso, a análise do carbono de todo o animal permitirá estimar o valor $\delta^{13}\text{C}$ da dieta com maior segurança (DeNiro & Epstein 1978).

O valor $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da maioria das plantas C_3 varia de -22‰ até -32‰ (Smith & Epstein 1971, Rounick & Winterbourn 1986, Trivelin 2009), com média de -27‰ (Trivelin 2009), enquanto a maioria das plantas C_4 tem valor $\delta^{13}\text{C}$ entre - 9‰ e - 17‰, com média de 13 ‰ (Trivelin 2009). As plantas C_4 discriminam menos o ^{13}C e possuem maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ que as plantas C_3 (valores menos negativos) (Trivelin 2009).

A transferência de carbono de plantas para consumidores primários e, posteriormente, para consumidores secundários resulta em pouca alteração do valor $\delta^{13}\text{C}$ (Rounick &

Winterbourn 1986), com o incremento de no máximo 0 a 1‰ por nível trófico (Araújo-Lima *et al.* 1986, DeNiro & Epstein 1978). Os tecidos de animais (Rounick & Winterbourn 1986) ou o animal inteiro (DeNiro & Epstein 1978) normalmente refletem, com pouca alteração, o $\delta^{13}\text{C}$ do seu alimento assimilado (Rounick & Winterbourn 1986). A diferença na razão do isótopo do nitrogênio entre animais e suas dietas é normalmente positiva variando de 2 a 3‰ para cada nível trófico, incluindo mãe e lactentes (Tykot 2004) ou de 3 a 4‰ por mil (DeNiro & Epstein 1978, Minagawa & Wada 1984).

O fato da ingestão de carbono C_4 ou C_3 se dar através do consumo de produtos de origem vegetal ou animal pode ser respondido com os valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos tecidos animais, pois é conhecido que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ aumentam em torno de 3‰ a cada nível trófico (DeNiro & Epstein 1981, Minagawa & Wada 1984, Sponheimer *et al.* 2003, Nardoto *et al.* 2006a). Ou seja, quanto mais alto na cadeia alimentar, mais elevados serão os valores de $\delta^{15}\text{N}$. Esse aumento indica que há uma crescente concentração de átomos de ^{15}N ao longo da cadeia trófica. Por exemplo, quando se analisa vegetarianos em comparação com onívoros, os primeiros apresentam valores de $\delta^{15}\text{N}$ menores que os segundos, uma vez que os onívoros tendem a ingerir mais produtos de origem animal, estando assim pelo menos um nível acima na cadeia trófica (Nardoto *et al.* 2006a).

O objetivo geral deste estudo foi verificar, através da análise de isótopos estáveis, se o guano representa o principal recurso alimentar de grilos e baratas, se as aranhas estão se alimentando somente desses animais e se há diferenças nas análises entre períodos de seca e chuva. Os objetivos específicos foram:

- Comparar a fonte alimentar dos detritívoros (grilos e baratas) e predadores (aranhas) em regiões próximas e distantes da entrada da caverna;
- Analisar a variação na alimentação em período chuvoso (depósitos estavam frescos) e em período de seca (depósitos secos);

- Comparar a composição isotópica da aranha *Isoctenus coxalis* (Ctenidae) encontrada nas proximidades da entrada do lado de fora da caverna, com as aranhas da mesma espécie encontradas no interior da caverna (próximo e distante da entrada);
- Analisar o padrão isotópico de três espécies de grilos do ambiente epígeo (externo) para comparação com a dieta alimentar da espécie *Endecous* sp. encontrada no ambiente hipógeo (caverna).

Hipótese 1:

Grilos e baratas no interior da caverna se alimentam principalmente de guano em período de chuva, quando este recurso é mais abundante e recente; e de recursos adicionais em período de seca. A população da aranha cursorial *Isoctenus coxalis*, tendo em vista a maior abundância de grilos e baratas em período chuvoso, se alimenta principalmente destes; em período de seca, a população da aranha se alimenta de presas adicionais.

Hipótese 2:

Grilos e baratas no interior da caverna utilizam o guano como principal recurso no ambiente cavernícola, restritos a este recurso em região distante da entrada e com recursos alimentares adicionais em região próxima da entrada; e por sua vez são predados pela aranha *Isoctenus coxalis*, que os utilizam como principais presas em região distante da entrada e com presas adicionais em região próxima da entrada.

2.2 Material e métodos

Caverna de estudo

A Gruta Labirinto da Lama está localizada na Região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal, dentro da APA de Cafuringa, situada entre 15°30'38,35"S e 48°7'27,53"W.

É uma gruta de litologia calcária com desenvolvimento linear de 266m e 12m de desnível, sendo que muitos dos condutos já foram preenchidos por água durante os períodos chuvosos. Esta água é proveniente da cobertura rasa de solo, com a deposição de camada de argila no piso e nas paredes (Pereira 2006).

No interior da Gruta Labirinto da Lama os recursos são visualmente restritos a guano de morcegos da espécie *Desmodus rotundus* (E. Geoffroy 1810), hematófago principalmente de mamíferos, e algumas raízes que emergem do solo exposto. A serapilheira praticamente fica retida no lado de fora da gruta devido à pequena entrada situada lateralmente, que apresenta uma faixa estreita e inclinada de 0,4m de altura e largura de 1m (Silva 2006a). A partir dessa entrada há um conduto lateral formando quebra-corpos que dá acesso à zona afótica da caverna. No interior da caverna não existem frestas ou clarabóias para entrada de outras formas de alimento. A entrada de energia depende praticamente de morcegos como principais agentes veiculadores de matéria orgânica por meio de suas fezes e, ocasionalmente, por meio de seus cadáveres.

Durante as visitas realizadas desde junho de 2009 até final de 2010 esses morcegos foram encontrados na caverna ao longo do ano, mas a colônia com maior quantidade de indivíduos concentrados foi encontrada somente no final do ano em período chuvoso. Na seca, uma menor quantidade de indivíduos foi encontrada, e esses estavam espalhados ao longo da caverna. Essa mudança teve influência na disponibilidade do guano. Este mostrou ser um recurso efêmero, que em período de estiagem de 2010 estava praticamente seco, com fungos e aparentemente não atrativo para outros invertebrados associados a este recurso.

Entretanto, a fauna de invertebrados maiores, tais como grilos *Endecous* sp.(Phalangopsidae), baratas (Blattidae) e aranhas *Isoctenus coxalis* (Ctenidae) é abundante em relação a outras cavernas escolhidas para estudo na região do DF. A escolha da Gruta Labirinto da Lama teve como base a abundância desses animais invertebrados maiores ao

longo do ano (em período de chuva e de seca), independentemente dos depósitos de guano estarem frescos ou velhos, como medida de não impactar o ecossistema cavernícola. Esses animais também se distribuem ao longo da caverna, em regiões próximas e distantes da entrada.

Diversos trabalhos consideram que esses grilos e baratas fazem parte da fauna guanófaga (aqueles que se alimentam de guano) (Gnaspini-Netto 1989b, Ferreira & Martins 1999a, Gnaspini & Trajano 2000). Esses organismos são considerados como detritívoros facultativos, e podem formar grandes populações quando, por exemplo, detritos vegetais tornam-se escassos, e em cavernas permanentemente secas (Ferreira & Martins 1999a). Os grilos e baratas são considerados animais onívoros e altamente oportunistas, respectivamente (Gnaspini & Trajano 2000). E aranhas, especialmente da família Ctenidae, são consideradas predadoras dos primeiros, conforme observado em visitas realizadas.

Outros animais invertebrados associados a guano não foram amostrados, pois alguns são altamente dependentes do pH básico em guano recente, que somente foi encontrado no início do período de chuva (visita realizada em novembro de 2009), meio e final do período de chuva (visita para coleta realizada de fevereiro a maio de 2010). Além disso, alguns animais são muito pequenos para um número adequado de amostra para a metodologia de isótopos estáveis (2,5mg).

Coletas e análises isotópicas

As coletas de aranhas, grilos, baratas e amostras de guano foram realizadas manualmente próximas a depósitos de guano localizados em uma região considerada neste estudo como próxima (P) da entrada (cerca de 14m) e uma distante (D), cerca de 72m, ambas as regiões medidas com auxílio de trena de fibra de vidro. Os animais foram coletados somente nas proximidades do depósito de guano de cada região, em um raio de até quatro

metros. As amostragens foram realizadas no final de abril de 2010 (final do período de precipitação) e em setembro do mesmo ano (final do período de estiagem).

A coleta também foi realizada manualmente para animais localizados na entrada da caverna (barata da família Blattellidae) e fora da caverna na serapilheira, durante o dia; e com batedor entomológico no início da noite, para coleta de grilos em gramíneas que margeiam a estrada de terra, a uma distância de cerca de 20m da entrada da caverna (os grilos do ambiente externo foram coletados para comparação com os grilos cavernícolas). Foram utilizadas armadilhas de queda (*Pitfall*) com álcool 70% e expostas durante dois dias colocadas em serapilheira a 1m da entrada da caverna (n=2), e em serapilheira a 10m (n=3). Uma aranha *Isoctenus coxalis* foi coletada manualmente do lado de fora da caverna a 1m da entrada; estava exposta e localizada entre fendas em um bloco de rocha, no dia ainda claro.

Os animais foram preservados em álcool 70%, a amostra de guano foi colocada em pequenos frascos com tampas bem vedadas, e a amostra de serapilheira foi colocada em sacos plásticos bem amarrados. Todas as amostras foram colocadas posteriormente em frascos de vidro, com exceção da serapilheira que foi colocada em saco de papel, e todas foram secadas em estufa a 60° por 72 horas, a fim de que toda água e álcool (invertebrados) fossem evaporados.

Após a secagem, três indivíduos de cada espécie coletados em cada região da caverna (com exceção de barata Blattellidae) e amostras de guano foram moídos com a utilização de cadinho e pilão de cerâmicas até obter um fino pó. Para cada espécie foi feita uma amostra composta, ou seja, os organismos foram moídos juntos. A utilização de cadinho e pilão em cerâmicas, bem como a lavagem e limpeza com álcool após trituração de cada material, foram essenciais para evitar a contaminação das amostras e posterior modificação dos resultados.

Tendo em vista a pequena quantidade necessária para análise isotópica e a variedade de materiais foliares na amostra de serapilheira, foi preciso separar pequenas amostras de

todos os materiais foliares distintos e pequenos troncos a fim de que a amostra pudesse conter um pouco de todos os materiais. Esses materiais foram triturados em moedor de serapilheira com malha fina. O pó obtido em excesso foi misturado a fim de homogeneizar a amostra e uma sub-amostra foi retirada para a análise isotópica.

Após todas as amostras serem moídas, cada uma foi colocada em pequeno frasco de vidro limpo e vedado. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA /USP).

Para a análise, uma sub-amostra (2,5 mg) de cada amostra foi pesada em cápsula de estanho (Elemental Microanalysis) utilizando uma balança analítica (Sartorius MC 5). As cápsulas foram colocadas em um analisador elementar (Carla Erba Modelo 1110, Milão, Itália) para a determinação da concentração de N e C total que foi realizada por meio de combustão. O gás proveniente dessa combustão foi purificado numa coluna de cromatografia gasosa e introduzido diretamente num espectrômetro de massas a fim de obter as razões isotópicas usando ThermoQuest-Finnigan Delta Plus (Finnigan/MAT, Califórnia, EUA).

A abundância natural de ^{13}C e ^{15}N são expressas como desvios por mil (‰) de um padrão internacionalmente reconhecido. O padrão usado para o carbono foi o Peedee Belemnite (PDB; rocha calcária da região do Grand Canyon, EUA) enquanto o padrão para o nitrogênio foi o ar atmosférico. O BBOT ($\text{C}_{26}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$; Fisons Instruments) foi utilizado como material de referência internacional e como material de referência no laboratório, foi utilizado “folhas de cana de açúcar moídas”. O erro analítico para ^{13}C e ^{15}N foi de 0,30 ‰ e 0,40 ‰, respectivamente.

2.3 Resultados

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do guano foram semelhantes, mesmo para o depósito seco com fungos amostrado na estação seca, com médias -15,4 e 22,8, respectivamente.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, na estação seca e chuvosa, das amostras de grilos *Endecous* sp. (D), barata Blattidae (P), aranha *Isoctenus coxalis* (D e P) e guano foram semelhantes, com exceção de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do grilo *Endecous* sp. (P) na estação chuvosa que teve um valor 4,2‰ maior que a mesma espécie de grilo (P) na estação seca (Tabela 2.1). Embora a barata Blattidae (D) na estação seca tenha ficado com $\delta^{15}\text{N}$ mais baixo em relação a outras baratas, esta não foi encontrada na estação chuvosa na mesma região da caverna para comparação.

Tabela 2.1. Razão isotópica de nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e carbono $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da fauna guanófaga (grilos e baratas), de predadores (aranhas) e de guano coletados no interior da caverna em região distante da entrada (D), região próxima da entrada (P) e na entrada (E); e da fauna do ambiente externo em serapilheira próxima da entrada (F) e coletada em gramíneas distantes da entrada (L), no final de abril (chuva) e em setembro (seca).

	Chuva		Seca	
	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Grilos				
D - <i>Endecous</i> sp.	13,9	-20,8	12,7	-20,8
P - <i>Endecous</i> sp.	16,1	-18,4	11,9	-21,1
F (sp.2)			3,3	-26,4
F (sp.3)			2,7	-24,2
L (sp.1)			4,0	-14,5
Baratas				
D - Blattellidae	5,3	-19,8	7,3*	-17,8
P - Blattidae	12,9	-18,6	10,4	-20,7
E - Blattellidae			5,5	-22,1
Aranhas				
D - <i>I. coxalis</i>	15,2	-18,7	13,4	-19,2
P - <i>I. coxalis</i>	13,3	-21,4	12,2	-19,8
F - <i>I. coxalis</i>			11,7	-21,2
Serapilheira			3,2	-28,8
Guano				
D	22,1	-15,3	22,9	-15,6
P	23,5	-15,1		

*Barata Blattidae

Embora os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de grupo amostrado (grilos, baratas e aranhas) tenham sido similares em ambas as estações, com exceção de *Endecous* sp. (P), analisando a relação trófica pode-se observar que tanto o valor de $\delta^{15}\text{N}$ quanto o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do depósito de guano são mais enriquecidos que os respectivos valores da fauna guanófaga amostrada (grilos e baratas) tanto na região próxima como na região distante da entrada (Figura 2.1) e em ambas as estações (Tabela 2.1).

Analisando os valores para a relação entre a dieta e a distância da entrada na mesma estação, as aranhas *I. coxalis*, grilos *Endecous* sp. e baratas (Blattidae) apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ praticamente intermediários entre o guano e a serapilheira (Fig. 2.1). Não houve diferenças entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre grilos e aranhas, mas as aranhas tiveram valores um pouco mais enriquecidos em ^{13}C do que os grilos. Por outro lado, as baratas apresentaram valores um pouco menores de $\delta^{15}\text{N}$ do que aranhas e grilos. (Fig. 2.1)

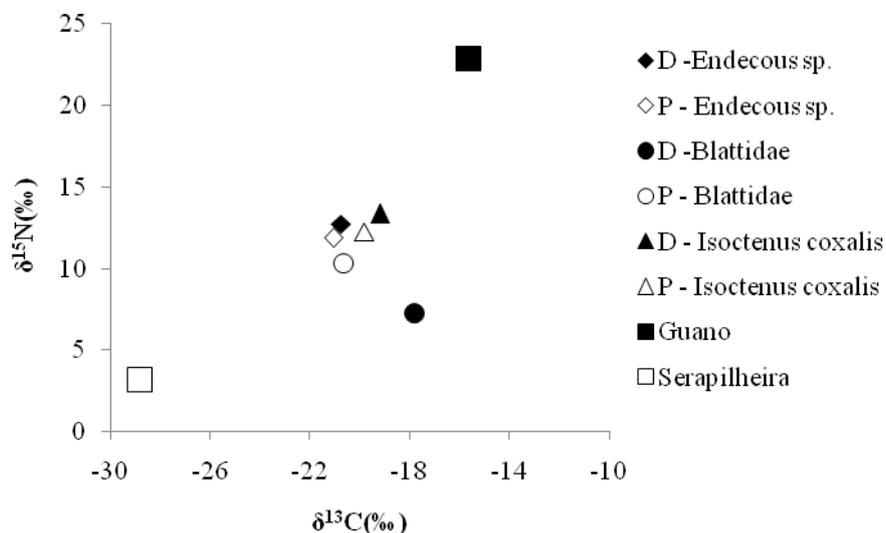


Figura 2.1 - Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de recursos alimentares no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), de presas guanófagas (grilos e baratas) e de seus predadores (aranhas), na estação seca.

As três espécies de grilos do ambiente externo em período de seca apresentaram valores de $\delta^{15}\text{N}$ semelhantes (média=3,3‰), cujo valor ficou abaixo de grilos cavernícolas *Endecous* sp. (m=12,3‰). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de grilos sp.2 e sp.3 coletados em serapilheira foram semelhantes entre si, no entanto, quando comparados com os valores encontrados para grilos coletados em região mais distante da caverna (gramíneas), estes apresentaram valores semelhantes de $\delta^{15}\text{N}$, mas um enriquecimento em $\delta^{13}\text{C}$ de cerca de 10‰ (Tabela 2.1, Fig. 2.2). Para os grilos coletados dentro da caverna não houve diferenças nos valores isotópicos entre a região próxima e mais distante da entrada da caverna (Fig. 2.2), no entanto estes grilos tiveram valores mais enriquecidos em ^{15}N quando comparados com os grilos encontrados na serapilheira, ambiente externo à caverna. Quanto aos valores de $\delta^{13}\text{C}$, estes ficaram intermediários entre os dos grilos da serapilheira e da área de gramíneas.

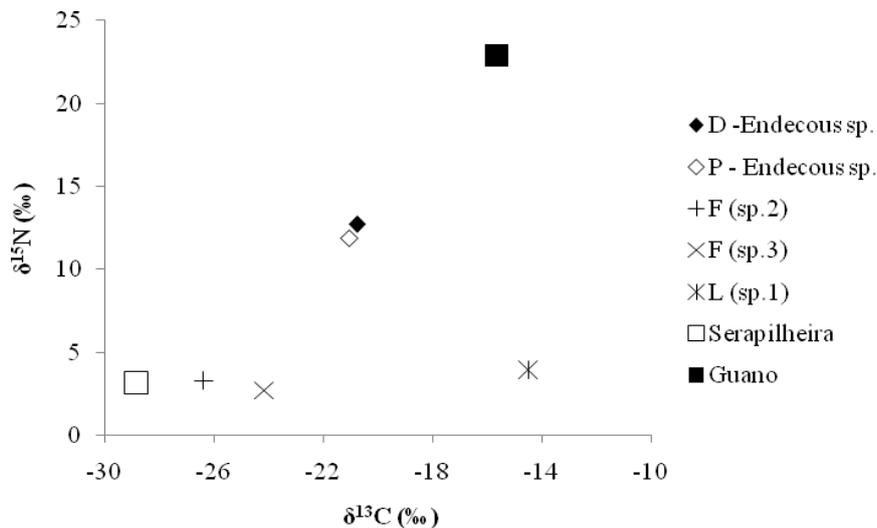


Figura 2.2 - Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de grilos cavernícolas coletados no interior da caverna em região distante da entrada (D) e próxima da entrada (P); de grilos do ambiente externo coletados em serapilheira (F) a 1m da entrada da caverna (grilos menores, sp.3) e a 10m da entrada (grilos maiores, sp.2); e grilos em gramíneas (L) a cerca de 20m da entrada (sp.1). Recursos alimentares disponíveis no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), em estação seca.

O $\delta^{15}\text{N}$ da barata (Blattellidae) coletada em região distante da entrada no final da estação chuvosa foi semelhante ao valor da barata de mesma espécie coletada na entrada da caverna próxima de serapilheira no período de seca (Tabela 2.1). Diferentemente, o $\delta^{15}\text{N}$ da barata (Blattidae) coletada em região distante da entrada na estação seca foi menos enriquecido em ^{15}N comparado aos indivíduos de mesma espécie encontrados em região próxima da entrada e em ambas as estações dessa região (Tabela 2.1, Fig. 2.3). Apesar das diferenças encontradas nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre as baratas coletadas, estes valores foram intermediários aos valores do guano e serapilheira (Fig. 2.1, Fig. 2.3).

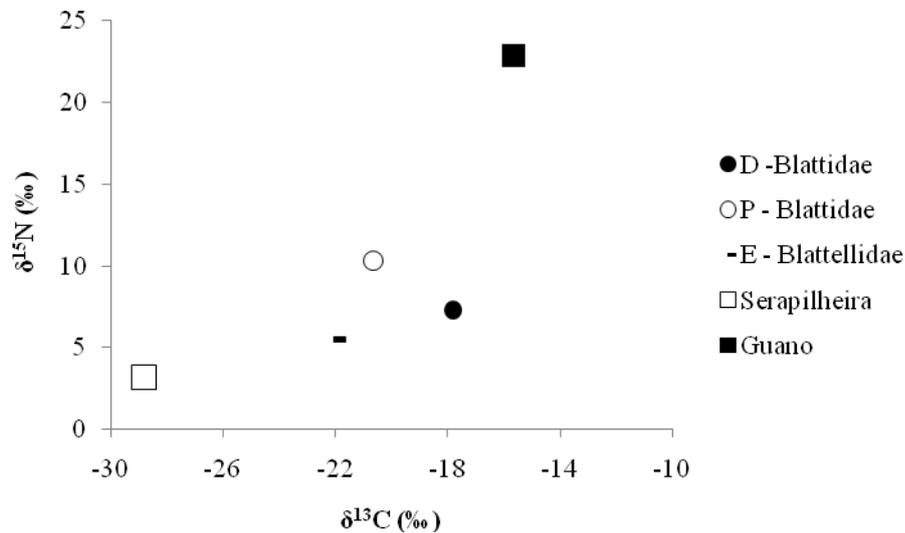


Figura 2.3 - Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de baratas coletadas no interior da caverna em região distante da entrada (D), próxima da entrada (P) e na entrada (E), e recursos alimentares disponíveis no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), em estação seca.

O valor de $\delta^{15}\text{N}$ da aranha do lado de fora da caverna (11,7‰), mas próxima da entrada, foi ligeiramente inferior ao dos indivíduos da mesma espécie coletados no interior da caverna nas duas estações (Tab. 2.1). Observa-se um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ de *Isoctenus coxalis* no sentido do ambiente externo à região distante da entrada (Tab. 2.1, Fig. 2.4). Quanto aos valores de $\delta^{13}\text{C}$, houve uma tendência de enriquecimento em ^{13}C no sentido do ambiente externo à região mais distante da entrada (Fig. 2.4).

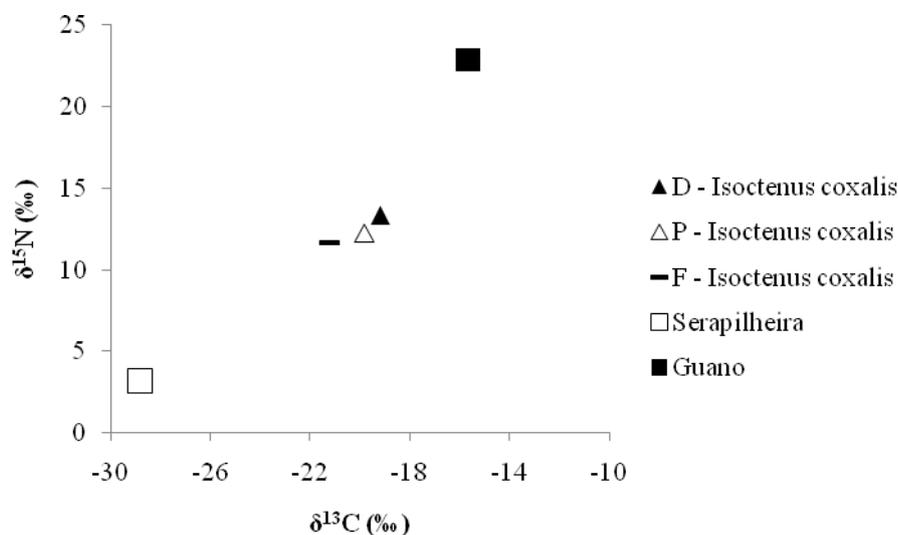


Figura 2.4 - Comparação entre a razão de isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de aranhas coletadas no interior da caverna em região distante da entrada (D), próxima da entrada (P) e fora da caverna (F), e recursos alimentares disponíveis no interior da caverna (guano) e fora da caverna (serapilheira), em estação seca.

2.4 Discussão

O resultado encontrado para grilos *Endecous* sp. e baratas Blattidae no interior da caverna mostra que o guano não representa o único item alimentar, tanto na região próxima quanto na região distante da entrada da caverna, e tanto no final da estação chuvosa quanto no

final da estação seca. Se esses grilos e baratas tivessem o guano como fonte alimentar única, esses apresentariam valores mais enriquecidos em ^{15}N e ^{13}C relativo ao valor de depósito de guano, com enriquecimento médio de 3‰ de $\delta^{15}\text{N}$ (DeNiro & Epstein 1981, Minagawa & Wada 1984, Tikot 2004) e enriquecimento de $\delta^{13}\text{C}$ de no máximo 0 a 1‰ (Araújo-Lima *et al.* 1986, DeNiro & Epstein 1978). No entanto, grilos e baratas apresentaram valores intermediários entre o recurso guano e serapilheira. Os resultados encontrados não anulam a possibilidade de grilos e baratas incluírem o guano na sua dieta, mas mostram que este não representa seu único item alimentar, mesmo na região distante da entrada onde a ausência, ao menos visualmente, de outras fontes alimentares levou à suposição de que o recurso nessa região seria restrito a esse depósito.

Embora o grilo *Endecous* sp. coletado na região próxima da caverna no final da estação chuvosa mostrou um valor mais enriquecido em ^{15}N comparado com o valor da mesma espécie coletada no mesmo local em estação seca, o $\delta^{15}\text{N}$ ainda ficou muito abaixo do $\delta^{15}\text{N}$ do guano. Essa diferença entre estações encontrada para o grilo ainda não confirmaria a hipótese de que na estação chuvosa o guano seria o item principal, pois os resultados mostraram que em ambas as estações e regiões de coleta, outros itens alimentares fariam parte da dieta do grilo cavernícola.

A comparação entre grilos *Endecous* sp., baratas Blattidae e aranhas *I. coxalis* indica que a barata Blattidae poderia ser o item alimentar predominante da dieta da aranha em relação ao grilo na região próxima da entrada da caverna, tendo em vista o enriquecimento considerado de 1‰ por nível trófico para o $\delta^{13}\text{C}$ conforme Araújo-Lima *et al.* (1986) e DeNiro & Epstein (1978), e média de 3‰ por nível trófico para o $\delta^{15}\text{N}$ (DeNiro & Epstein 1981; Minagawa & Wada 1984, Tikot 2004).

O padrão isotópico das três espécies de grilos do ambiente externo, que teve uma grande diferença de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ comparado ao dos grilos do ambiente cavernícola, indica que

os primeiros não estão entrando na caverna para se alimentar. O valor de $\delta^{15}\text{N}$ do grilo coletado em gramíneas foi semelhante aos valores dos grilos de serapilheira, mas com diferenças no valor de $\delta^{13}\text{C}$, relacionado ao tipo de fonte autotrófica ou tipo de caminho fotossintético. Provavelmente os grilos em gramíneas estão se alimentando preferencialmente de fonte C_4 (por exemplo, gramíneas do tipo fotossintético C_4).

A vegetação encontrada na entrada da caverna é do tipo mata seca semidecídua, constituída de diversas espécies arbóreas de grande porte, caracterizadas pelo tipo fotossintético C_3 que varia de -22‰ até -32‰ (Smith & Epstein 1971, Rounick & Winterbourn 1986, Trivelin 2009). Dessa forma, o valor encontrado para serapilheira refletiu a vegetação presente. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos grilos sp.1, sp.2 e sp.3 foram próximos ao valor encontrado para vegetais, com a diferença de que a fonte alimentar do grilo sp.1 foi representado por gramíneas com o ciclo fotossintético do tipo C_4 (valor $\delta^{13}\text{C}$ entre -9‰ e -17‰), enquanto os grilos sp.2 e sp.3, conforme encontrados em serapilheira, tiveram como fonte alimentar plantas do tipo C_3 . Esses resultados mostram que tanto o nitrogênio quanto o carbono são bons indicadores da dieta e nível trófico, sendo o carbono um importante indicador do tipo de fonte autotrófica, conforme estudo de Araújo-Lima *et al.* (1986) e DeNiro & Epstein (1978).

Conforme a observação e coleta da fauna encontrada no guano nas visitas realizadas, comprovado pelos resultados de isótopos estáveis de N e C, a barata Blattelidae não se alimentaria do guano. Esta espécie está representada na caverna por pouquíssimos indivíduos, enquanto a barata Blattidae foi visualmente mais abundante ao longo da caverna e já foi encontrada no depósito de guano. A diferença na abundância das duas espécies parece ter se mantido desde pesquisa de levantamento da fauna de toda a caverna realizada em 2003 e 2004 (Silva 2006a).

O valor de $\delta^{15}\text{N}$ da aranha coletada do lado de fora da caverna pode indicar que ela entra na caverna para se alimentar, ou que essa aranha pode incluir na sua dieta os animais predadores do ambiente externo. Se os itens alimentares dessa aranha fossem somente animais herbívoros do ambiente externo, o enriquecimento máximo da aranha seria de 6 a 7, pois a fauna herbívora apresenta valores próximos ao da serapilheira, e enriquecimento de até 9 caso a aranha se alimentasse da barata Blattellidae cujo $\delta^{15}\text{N}$ médio foi 5,4‰. Dessa forma, o $\delta^{15}\text{N}$ médio (12,80‰) das aranhas no interior da caverna mostra que elas podem incluir os grilos e baratas na sua dieta, mas não como alimentos principais, pois outros invertebrados também fariam parte da dieta.

Os resultados encontrados reafirmam que grilos e baratas são animais detritívoros facultativos (Ferreira & Martins 1999a), sendo os grilos considerados como animais onívoros e as baratas altamente oportunistas (Gnaspini & Trajano 2000). Isso mostra que, independentemente da sazonalidade que influencia a disponibilidade do recurso guano, bem como da localidade, distância e restrição a um tipo de recurso, os animais ainda não se especializariam a um tipo de alimento, mas incluiriam diversas fontes alimentares em suas dietas. Além disso, como os grilos (*Endecous* sp.), as baratas (Blattidae e Blattellidae) e as aranhas (*Isoctenus coxalis*) são animais de grande mobilidade por longas áreas em espaço menor de tempo (Prous *et al.* 2004), estariam constantemente buscando recursos variados, provavelmente saindo da caverna para se alimentar no ambiente externo.

Outro resultado interessante se refere aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ do guano do hematófago *Desmodus rotundus* ($m = -15,35$) que estão na faixa de valores para animais que se alimentam de planta C_4 (gramíneas), entre - 9‰ e - 17‰ (Trivelin 2009). Esse valor mostra que o gado da fazenda em área de pastagem próxima à caverna parece estar sendo a principal fonte de alimento do *D. rotundus*. Os cães da fazenda foram os únicos mamíferos vistos, além do gado, o que elimina a probabilidade de serem mais um alvo de alimentação dos morcegos. E

segundo Altringham (1996), *D. rotundus* prefere sangue de mamíferos de grande porte. Além disso, o rebanho de aproximadamente 30 cabeças de gado da fazenda mais próxima, sem contar as cabeças de gado de outras propriedades na região, representa uma fonte de alimento em abundância que está disponível o ano inteiro.

Isso mostra que o ecossistema cavernícola não é fechado e está conectado ao ambiente exterior pela entrada alóctone de energia (Howarth 1983). No caso da Gruta Labirinto da Lama, esta entrada é intermediada por agentes biológicos (os morcegos), principalmente por meio de depósitos de guano. A própria definição de animais troglótenos (aqueles que utilizam a caverna como abrigo, mas saindo periodicamente para se alimentar no ambiente externo) tem como exemplo mais comum o morcego, trazendo a idéia de ligação do ambiente externo com o ambiente cavernícola.

Conforme os resultados por meio da análise isotópica, a fonte alimentar do morcego – o gado que se alimenta de plantas C_4 – pode ter influência para toda a fauna de invertebrados dependente desse recurso no interior da caverna. Além disso, pode influenciar na composição e riqueza de animais associados ao guano, que inclui os animais facultativos (grilos e baratas) (Decu 1986, Gnaspini-Netto 1989a, Gnaspini-Netto 1989b), tanto animais cavernícolas quanto acidentais.

Dessa forma, a teia de interações alimentares compreende animais do ambiente externo e animais do ambiente cavernícola, e que nesse estudo está representado tanto por animais silvestres (morcegos e invertebrados) quanto por animais domesticados. Ou seja, representa uma teia alimentar influenciada pela interferência antrópica. É possível que na ausência de fazendas com criação de gado, como fonte contínua de alimento para morcegos hematófagos, a entrada de energia por meio de depósito de guano pudesse ser menor, tendo em vista que a colônia de *Desmodus rotundus* seria pequena (Uieda *et al.* 2006). Além disso, com uma população menor de *D. rotundus* o guano poderia ser qualitativamente diferente, se

outras espécies de morcegos estivessem ocupando a caverna, e talvez com valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos de plantas do tipo C_3 .

Porém, não apenas a criação de gado em propriedades próximas teria influência indireta sobre a fauna cavernícola, pois a geologia da caverna, bem como o estado de conservação da vegetação ao redor, parece ter influência na riqueza de espécies. Por exemplo, a gruta Água Rasa – nome devido ao córrego raso que a atravessa – também está localizada próxima de área de pastagem, e possui duas entradas relativamente grandes formando um corredor de vento, com temperatura média de 20°C . Embora localizada próxima de pastagem, a colônia de morcegos é constituída de centenas de indivíduos nectarívoros.

O conhecimento da teia trófica que liga o ambiente subterrâneo ao ambiente de superfície, por meio de isótopos estáveis, seria uma importante ferramenta para a Ecologia da Paisagem que, segundo Metzger (2001), possui tanto abordagem geográfica – estudo da influência do homem sobre a paisagem – quanto abordagem ecológica – importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, e a importância dessas relações em termos de conservação biológica. Esse conhecimento aplicado seria relevante para a proteção não apenas das cavernas como unidades, mas tratando esta unidade no contexto de toda a paisagem a qual ela está inserida.

Conclusão

O guano não representa o único item alimentar para grilos *Endecous* sp. e baratas Blattidae no interior da caverna, tanto na região próxima quanto na região distante da entrada, e tanto no final da estação chuvosa quanto no final da estação seca. Por sua vez, esses grilos e baratas fazem parte da dieta da aranha *Isoctenus coxalis*, mas não representam os únicos recursos alimentares. Isso pode ser explicado pela dieta generalista e pela maior mobilidade desses grilos, baratas e aranhas, que os permitem ter acesso a outros itens alimentares. Nesse

estudo, o carbono ($\delta^{13}\text{C}$) foi um importante indicador das fontes autotróficas, e o nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) um importante indicador do nível trófico dos consumidores. Portanto, é importante conservar a paisagem a qual a caverna está incluída, pois a fauna do ambiente externo e a fauna do ambiente cavernícola podem estar conectadas pelo fluxo de energia.

Referências Bibliográficas

- Aguiar, L. M. S. & Antonini, Y. 2008. Diet of two sympatric insectivores bats (Chiroptera: Vespertilionidae) in the Cerrado of Central Brazil. *Ver. Bras. Zool.* **25**:28-31.
- Alisauskas, R.T.; Ankney, C.D. & Klaas, E.E. 1988. Winter Diets and Nutrition of Midcontinental Lesser Snow Geese. *J. Wildl. Manage.*, **52**:403-414.
- Ambiente Brasil: clima. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2009.
- Araújo-Lima, C.A.R.M.; Forsberg, B.R.; Victoria, R. & Martinelli, L. 1986. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science*, **234**:1256-1258.
- Bahia, G.R. & Ferreira, R.L. 2005. Influência das características físico-químicas e da matéria orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de invertebrados de uma caverna calcária. *Rev. Bras. Zool.*, **7**:165-180.
- Baptista, G.M.M. 2006. Caracterização climatológica da APA de Cafuringa. In: Netto, P.B., Mecenas, V.V. & Cardoso, E.S. (Eds.), *APA de Cafuringa: A última Fronteira Natural do DF*. SEMARH, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília/DF.
- Barr, T.C. & Kuehne, R.A. 1971. Ecological studies in Mammoth Cave ecosystems of Kentucky. *Ann. Spéléol.*, **26**:47-96.
- Bernarth, R. F., & Kunz, T. H. 1981. Structure and dynamics of arthropod communities in bat guano deposits in building. *Can. J. Zool.*, **59**:260-270.
- Boutton, T.W.; Arshad, M.A. & Tieszen, L.L. 1983. Stable isotope analysis of termite food habits in East African grasslands. *Oecologia*, **59**:1-6.
- Bredt, A., Uieda, W. & Magalhães, E. D. 1999. Morcegos cavernícolas da região do Distrito Federal, centro-oeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera). *Rev. Bras. Zool.*, **16**:731-770.
- Bredt, A. & Magalhães, E. D. 2006. Os morcegos da APA de Cafuringa. In: Netto, P. B.; Mecenas, V. V. & Cardoso, E. S. (eds.). *APA de Cafuringa: A Última Fronteira Natural*

- do DF. Brasília. SEMARH, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília/DF, pp. 259-266.
- Chelius, M.K.; Beresford, G.; Horton, H.; Quirk, M.; Selby, G.; Simpson, R.T.; Horrocks, R. & Moore, J.C. 2009. Impacts of Alterations of Organic Inputs on the Bacterial Community within the sediments of Wind Cave, South Dakota, USA. *Int. J. Speleol.*, **38**:1-10.
- Conceição, L.E.C.; Morais, S. & Ronnestad, I. 2007. Tracers in fish larvae nutrition: A review of methods and applications. *Aquaculture*, **267**:62-75.
- Cruz Jr., F.W.; Burns, S.J.; Karmann, I.; Sharp, W.D.; Vuille, M.; Cardoso, A.O.; Ferrari, J.A.; Dias, P.L.S. & Viana Jr., O. 2005a. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, **434**:63-66.
- Cruz Jr., F.W.; Karmann, I.; Viana Jr. O.; Burns, S.J.; Ferrari, J.A.; Vuille, M.; Siad, A.N. & Moreira, M.Z. 2005b. Stable isotope study of cave percolation waters in subtropical Brazil: Implications for paleoclimate inferences from speleothems. *Chem. Geol.*, **220**:245- 262.
- Cruz Jr., F.W.; Burns, S.J.; Jercinovic, M.; Karmann, I.; Sharp, W.D. & Vuille, M. 2007. Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **71**:2250-2263.
- Culver, D. C. 1982. *Cave Life, Evolution and Ecology*. Cambridge, Massachusetts and London, England, Harvard University Press. 189p.
- Decu, V. 1986. Some considerations on the bat guano synusia. *Trav. Inst. Spéol. "Emile Racovitza"*, **25**:41-51.
- DeNiro, M.J. & Epstein, S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**:495-506.

- DeNiro, M.J. & Epstein, S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **45**:341-351.
- Dowdall, J.T.; Farmer, A. & Bucher, E.H. 2006. Uso de isótopos estables para determinar conectividad migratoria en aves: alcances y limitaciones. *Hornero*, **2**:73-84.
- Engel, A. N.; Porter, M. L.; Stern, L. A.; Quinlan, S.; Bennett, P. C. 2004. Bacterial diversity and ecosystem function of filamentous microbial mats from aphotic (cave) sulfidic springs dominated by chemolithoautotrophic ‘Epsilonproteobacteria’. *FEMS Microb. Ecol.*, **51**:31-53.
- Fenolio, D.B.; Graening, G.O.; Collier, B.A. & Stout, J.F. 2006. Coprophagy in a cave-adapted salamander; the importance of bat guano examined through nutritional and stable isotope analyses. *Proc. R. Soc. B*, **273**:439-443.
- Fernández-Mosquera, D.; Vila-Taboada, M. & Grandal-d'Anglade, A. 2001. Stable isotopes data (d13C, d15N) from the cave bear (*Ursus spelaeus*): a new approach to its palaeoenvironment and dormancy. *Proc. R. Soc. Lond.*, **268**:1159-1164.
- Ferreira, R. L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, **17**:106-115.
- Ferreira, R. L. & Pompeu, P.S. 1997. Fatores que influenciam a riqueza e a diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. *O Carste*, **2**:30-33.
- Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 1998. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). *Div. and. Distrib.*, **4**:235-241.
- Ferreira, R. L. & Martins, R.P. 1999a. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. *Trop. Zool.*, **12**:231-252.
- Ferreira, R.L. & Martins, R. P. 1999b. Guano de morcegos: fonte de vida em cavernas. *Ciência Hoje*, **25**:34-40.

- Ferreira, R.L., Martins, R. P. & Yanega, D. 2000. Ecology of bat guano arthropod communities in a brazilian dry cave. *Ecotropica*, **6**:105-116.
- Ferreira, R.L. & Horta, L.C.S. 2001. Natural and human impacts on invertebrate communities in brazilian caves. *Rev. Bras. Biol.*, **61**:7-17.
- Ferreira, R. L., Bernardi, L. F. O. & Silva, M. S. 2009. Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): Subsídios para o turismo nestas cavidades. *Rev. Biol. Ciênc. Terra*, **9**:41-58.
- Fleming, T.H.; Nuñez, R.A. & Sternberg, L.S.L. 1993. Seasonal changes in the diets of migrant and non-migrant nectarivorous bats as revealed by carbon stable isotope analysis. *Oecologia*, **94**:72-75.
- Fliermans, C. B. & Schmidt, E. L. 1977. Nitrobacter in Mammoth Cave. *Int. J. Speleol.*, **9**:1-19.
- Fry, B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. Springer, United States, 308p.
- Gardner, A. L. 1977. Feeding habits. In: Baker, R.J.; Jones, J.K.; Jr. & Carter, D.C.(eds). *Biology of bats of the New World family Phyllos-tomatidae*, pp. 293-350. Part II. Special Publications, The Museum, Texas Tech University, pp. 293-350.
- Gnaspini-Netto, P. 1989a. Fauna associated with bat guano deposits from Brazilian caves (a comparison). pp. 52-54. In: International Congress of Speleology 10, Budapest, Hungria. Proceedings.
- Gnaspini-Netto, P. 1989b. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. *Rev. Bras. Entomol.*, **33**:183-92.
- Gnaspini, P. 1992. Bat guano ecosystems. A new classification and some considerations with special references to neotropical data. *Mém. Bioespéol.*, **19**:135-138.

- Gnaspini, P. & Trajano, E. 1998. Guano communities in tropical caves. Case study: Brazilian caves. *In: Wilkens, H., Culver, D. C. & Humphries, F. (eds.). Ecos. World Subt. Biota.* Elsevier Science, Amsterdam, pp 251-268.
- Gnaspini, P & Trajano, E. 2000. Guano communities in tropical caves. *In: Wilkens, H.; Culver, D.C & Humphreys, W.F. (eds.). Ecosystems of the World - Subterranean Biota.* Elsevier, Amsterdam, pp.251-268.
- Gibert, J. & Deharveng, L. 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Funcional Biodiversity. *BioScience*, **52**:473-481.
- Gomes, F. T. de M. C.; Ferreira, R. L. & Jacobi, C. M. 2000. Comunidade de artrópodes de uma caverna calcária em área de mineração: composição e estrutura. *Rev. Bras. Zooc.*, **2**:77-96.
- Graening, G.O. & Brown, A.V. 2000. *Trophic dynamics and pollution effects in cave Springs Cave, Arkansas.* Arkansas Water Resources Center, University of Arkansas.
- Harris, J.A. 1971. Phd. thesis, University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Harrison, R. G. & Katzenberg, M.A. 2003. Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California. *J.Anthrop. Arch.*, **22**:227-244.
- Herrera, L.G.; Fleming, T.H. & Findley, J.S. 1993. Geographic variation in carbon composition of the pallid bat, *Antrozous pallidus*, and its dietary implications. *J. Mamm.*, **74**:601-606.
- Herrera, L.G.M.; Hobson, K.A.; Manzo, A.A.; Estrada, D.B.; Sánchez-Cordero, V. & Méndez, G.C. 2001a. The Role of Fruits and Insects in the Nutrition of Frugivorous Bats: Evaluating the Use of Stable Isotope Models. *Biotropica*, **33**:520-528.

- Herrera, L.G.M.; Hobson, K.A.; Mirón, L.M.; Ramírez, N.P.; Méndez, G.C. & Sánchez-Cordero, V. 2001b. Sources of protein in two species of phytophagous bats in a seasonal dry forest: evidence from stable-isotope analysis. *J. Mamm.*, **82**:352-361.
- Howarth, F. G. 1973. The cavernicolous fauna of Hawaiian lava tubes, 1. Introduction. *Pac. Insects*, **15**:139-151.
- Howarth, F. G. 1980. The zoogeography of specialized cave animals: a bioclimatic model. *Evolution*, **34**:394-406.
- Howarth, F. G. 1983. Ecology of cave arthropods. *Ann. Rev. Entomol.*, **28**:365-389.
- Howarth, F. G. 1993. High-stress subterranean habitats and evolutionary change in cave-inhabiting arthropods. *Am. Natur.*, **142**:565-577.
- Hutchens, E.; Radajewski, S.; Dumont, M.G.; McDonald, I.R.; Murrell, J.C. 2004. Analysis of methanotrophic bacteria in Movile Cave by stable isotope probing. *Environ. Microb.*, **2**:111-120.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2001. *Levantamento e atualização de dados espeleológicos das cavernas: Sal e Fenda II, inseridas na bacia do Rio do Sal, APA de Cafuringa no Noroeste do Distrito Federal, Brasília – DF.*
- ICMBio – CECAV (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas). 2008. *Relatório demonstrativo da situação atual das cavidades naturais subterrâneas – por unidade da federação – Distrito Federal.*
- Kent, C. & Wong, J. 1982. An index of litoral zone complexity and its measurement. *Can. J. F. Aqu. Science*, **39**:847-853.

- Lacumin, P.; Bocherens, H.; Huertas, A.D.; Mariotti, A. & Longinelli, A. 1997. A stable isotope study of fossil mammal remains from the Paglicci cave, Southern Italy. N and C as palaeoenvironmental indicators. *Earth Planet. Sc. Lett.*, **148**:349-357.
- Leite, Q. L. 2006. Introdução – APA de Cafuringa. In: Netto, P. B., Mecnas, V. V. & Cardoso, E. S. (eds.), *APA de Cafuringa – a última fronteira natural do DF*. SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília – DF.
- Lepage, M.; Abbadie, L.; Mariotti, A. 1993. Food habits of sympatric termite species (Isoptera, Macrotermitinae) as determined by stable carbon isotope analysis in a Guinean savanna (Lamto, Cote d'Ivoire). *J. Trop. Ecol.*, **9**:303-311.
- Lima, S.E. & Goitein, R. 2001. A new method for the analysis of fish stomach contents. *Acta Scient.*, **23**:421-424.
- MacGregor, B.J.; Van Mooy, B.; Baker, B.J.; Mellon, M.; Moisander, P.H.; Paerl, H.W.; Zehr, J.; Hollander, D. & Stahl, D.A. 2001. Microbiological, molecular biological and stable isotopic evidence for nitrogen fixation in the open waters of Lake Michigan. *Environ. Microbiol.*, **3**:205-219.
- Martinelli, L.A.; Victória, R.L.; Matsui, E.; Forsberg, B.R. & Mozeto, A.A. 1988. Utilização das variações naturais de $\delta^{13}\text{C}$ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. *Acta Limnol. Bras.*, **11**:859-882.
- Martinelli, L.A.; Ometto, J.P.H.B.; Ferraz, E. S.; Victoria, R.L.; Camargo, P.B. & Moreira, M.Z. 2009. *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. Oficina de Textos, São Paulo, 144p.
- Metzger, J.P. 2001. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, **1**:1-9.
- Minagawa, M. & Wada, E. 1984. Stepwise enrichment of N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **48**:1135-1140.

- Montalvo, L.G.1997. Evidence of altitudinal movements of *Leptonycteris curasoae* (chiroptera: phyllostomidae) in central mexico. *Rev. Mex. Mastozoo.*, **2**:116-118.
- Moulds, T. 2004. Review of Australian Cave Guano Ecosystems with a Checklist of Guano Invertebrates. *Proc. Linn. Soc. N.S.W.*, 125.
- Mulec, J. 2008. Microorganisms in hypogean: examples from slovenian karst caves. *Acta Carsol.*, **37**:153-160.
- Nakamura, K.; Schoeller, D.A; Winkler, F.J. & Schmidt, H.L. 1982. Geographical variations in the carbon isotope content of the diet and hair of contemporary man. *Biomed Mass Spectrom*, **9**:390–394.
- Nardoto, G.B.; Silva, S.; Kendall, C.; Ehleringer, J.R.; Chesson, L.A.; Ferraz, E.S.B.; Moreira, M.Z.; Ometto, J.P.H.B. & Martinelli, L.A. 2006a. Geographical patterns of human diet derived from stable-isotope analysis of fingernails. *Am. J. Phys. Anthropol*, **131**:137-146
- Nardoto, G.B.; Godoy, P.B.; Ferraz, E.S.B.; Ometto, J.P.H.B. & Martinelli, L. A. 2006b. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and swine tissues. *Sci. Agric.*, **63**:579-582.
- Nieves-Rivera, Á.M.; Santos-Flores, C. J.; Dugan, F.M. & Miller, T.E. 2008. Guanophilic fungi in three caves of southwestern Puerto Rico. *Intern. J. Speleol.*, **38**:61-70.
- Ostrom, P.H.; Colunga-Garcia, M. & Gage, S.H. 1997. Establishing pathways of energy flow for insect predators using stable isotope ratios: field and laboratory evidence. *Oecologia*, **109**:108-113.
- Pedro, E. G. & Bononi, V. L. R. 2007. Cave fungi of the karst region of the state touristic park of the upper Ribeira Valley (Petar) in the state of São Paulo in Brazil. *Focus V*, **1-2**:65-78.

- Pereira, G. V. 2006. Cavernas na APA de Cafuringa. *In: Netto, P. B., Mecenas, V. V. & Cardoso, E. S. (Eds.), APA de Cafuringa – a última fronteira natural do DF. SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília – DF.*
- Pereira, A. L. & Benedito, E. 2007. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. *Rev. Bioc.*, **13**:16-27.
- Peterson, B.J. & Fry, B. 1987. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **18**:293-320.
- Portella, A.S. 2010. Morcegos cavernícolas e relações parasita-hospedeiro com moscas estreblídeas em cinco cavernas do Distrito Federal. Dissertação de mestrado- Departamento de Ecologia, Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Poulson, T. L & W. B. White. 1969. The cave environment. *Science*, **165**:971-981.
- Prache, S. 2009. Diet authentication in sheep from the composition of animal tissues and products. *Rev. Bras. Zootec.*, **38**:362-370.
- Prous, X.; Ferreira, R. L. & Martins, R. P. 2004. Ecotone delimitation: Epigeal–hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecol.*, **29**:374-382.
- Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Pedro, W. A. & Lima, I. P. 2007. Morcegos do Brasil. Universidade Estadual de Londrina, Paraná. 253p.
- Rounick, J.S. & Winterbourn, M.J. 1986. Stable Carbon Isotopes and Carbon Flow in Ecosystems. *BioScience*, **36**:171-177.
- Sarbu, S.M; Kane, T.C. & Kinkle, B.K. 1996. A chemoautotrophically based cave ecosystem. *Science*, **272**:1953-1955.
- Schwarcz, H.P. & Schoeninger, M.J. 1991. Stable isotope analyses in human nutritional ecology. *Yearb. Phys. Anthropol.*, **34**:283-321.

- Silva, S.S.P. & Peracchi, A.L. 1995. Observação da visita de morcegos (Chiroptera) às flores de *Pseudobombax grandiflorum* (cav.) A. Robyns. *Rev. Bras. Zoo.*, **12**:859-865.
- Silva, F. J. 2006a. Invertebrados de cavernas do Distrito Federal: diversidade, distribuição temporal e espacial. *Tese de doutorado* – Departamento de Ecologia, Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Silva, H.A. 2006b. Os problemas fundiários do Distrito Federal. Disponível em: http://www.mundojuridico.adv.br/sis_artigos/artigos.asp?codigo=856
- Sipinski, E.A.B. & Reis, N.R. 1995. Dados ecológicos dos quirópteros da reserva Volta Velha, Itapoá, Santa Catarina, Brasil. *Rev. Bras. Zool.*, **12**:519-528.
- Smith, B.N. & Epstein, S. 1971. Two Categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Ratios for Higher Plants. *Plant Physiol*, **47**:380-384.
- Sponheimer, M.; Robinson, T.; Ayliffe, L.; Roeder, B.; Hammer, J.; Passey, B.; West, A.; Cerling, T.; Dearing, D.; Ehleringer, J. 2003. Nitrogen isotopes in mammalian herbivores: hair $\delta^{15}\text{N}$ values from a controlled feeding study. *Int. J. Osteoarchaeol.*, **13**:80–87.
- Tayasu, I.; Inoue, T.; Miller, L. R.; Sugimoto, A.; Takeichi, S.; Abe, T. 1998. Confirmation of soil-feeding termites (Isoptera; Termitidae; Termitinae) in Australia using stable isotope ratios. *Funct. Ecol.*, **12**:536-542.
- Tobler, M. 2008. Divergence in trophic ecology characterizes colonization of extreme habitats. *Biol. J. Linn. Soc.*, **95**:517-528.
- Townsend, C.R.; Begon, M. & Harper, J.L. 2006. Physical conditions and the availability of resources. In _____: *Essentials of Ecology*. 2ed. Artmed, Oxford, cap.3, p.136.
- Trajano, E. 2000. Cave faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. *Biotropica*, **32**:882-893.

- Trajano, E. & Bichuette, M. E. 2006. *Biologia Subterrânea* - Introdução. Redespeleo Brasil, São Paulo, 92 p.
- Trivelin, P.C.O. 2009. Fracionamento dos isótopos estáveis de carbono na fixação do CO₂ atmosférico por plantas C₃, C₄ e CAM: aplicações. CENA/USP, 27p.
- Tykot, R.H. 2004. Stable isotopes and diet: you are what you eat. *In: Physics Methods in Archaeometry* (M. Martini, M. Milazzo & M. Piacentini eds.), pp 433-444.
- Uieda, W.; Chaves, M. E. & Santos, C. F. 2006. *Guia das principais espécies de morcegos brasileiros*. Botucatu, São Paulo, 71p.
- Vaske, T. & Rincón, G. 1998. Conteúdo estomacal dos tubarões azul (*Prinace glauca*) e anequim (*Isurus oxyrinchus*) em águas oceânicas no sul do Brasil. *Rev. Bras. Biol.*, **58**:445-452.
- Voigt, C.C.; Rex, K.; Michener, R.H. & Speakman, J.R. 2008. Nutrient routing in omnivorous animals tracked by stable carbon isotopes in tissue and exhaled breath. *Oecologia*, **157**:31-40.
- Wilson, P.W.; Hull, J.F. & Burris, R.H. 1943. Competition between free and combined nitrogen in nutrition of *Azotobacter*. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **29**:289-294.

ANEXOS

Anexo 1. Abundância de cada espécie e em cada depósito nas cinco cavernas estudadas (Labirinto da Lama – LL, Dois Irmãos – DI, Sal/Fenda II – SF, Gruta dos Morcegos – GM e Água Rasa - AR).

Taxa	LL					DI	SF		GM		AR		Total
	d1	d2	d3	d4	d5	d1	d1	d2	d1	d2	d1	d2	
Blattidae sp.			3							2			5
Bethylidae sp.				1									1
Bostrichidae sp.1											1		1
Bostrichidae sp.2	1					1					6	11	19
<i>Camponotus sp.1</i>											13	6	19
<i>Camponotus sp.2</i>		2	25								1		28
Cecidomyiidae sp.1											21		21
Cecidomyiidae sp.2											7		7
Cecidomyiidae sp.3											9		9
Chalcidoidea sp.1									1		31	13	45
Chalcidoidea sp.2						2						11	13
Chalcidoidea sp.3					1								1
Cheliferidae sp.				2				1			3		6
<i>Cheyletus sp.</i>												6	6
Cicadellidae						1						11	12
Cucujidae sp.											3		3
Diptera sp.1				1							1		2
Diptera sp.2											1		1
Diptera sp.3											14		14
Diptera sp.4											3		3
Diptera sp.5											3		3
Diptera sp.6									1		6		7
Diptera sp.7												1	1
Diptera sp.8					21								21
Diptera sp.9				1									1
Diptera sp. 10	1												1

Cont.

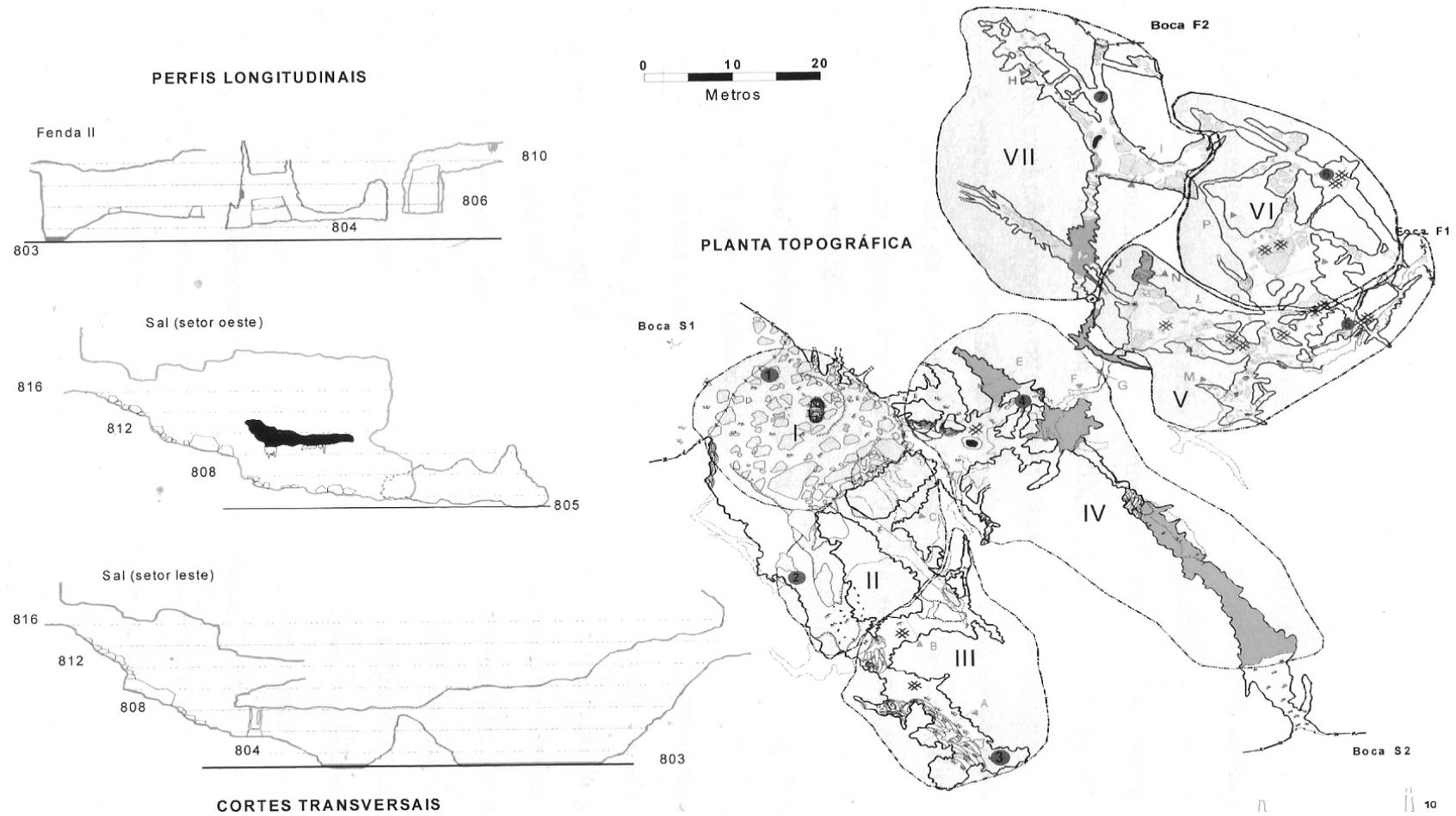
Taxa	LL		DI			SF		GM		AR		Total
	d1	d2	d3	d4	d5	d1	d2	d1	d2	d1	d2	
Diptera sp. 11		1										1
Diptera sp.12						2					23	25
Diptera sp.13						1					11	12
Diptera sp. 14										1		1
<i>Drosophila eleonorae</i>				1	3		2		1	9	6	22
Drosophilidae sp.										2		2
<i>Ectatoma sp.</i>	2			3	1							6
<i>Eidmanacris sp.</i>								1		1	1	3
<i>Endecous sp.</i>	7	9	9	9	34					1	5	75
Histiostomatidae sp.											13	13
<i>Isoctenus coxalis</i>		3	4		4			1	1		1	14
Leiodidae							128					128
<i>Macrocheles sp.</i>										216	6	222
<i>Nasutitermes sp.</i>		17		53	2							72
Myridae								13				13
<i>Paromalus sp.</i>		8			9					84	6	107
<i>Paratrechina sp.</i>										3		3
Phoridae sp.1								1				1
Phoridae sp.2										7		7
Phoridae sp.3								1				1
Phoridae sp.4			1					2				3
Ponerinae sp.1				3		1					11	15
Psychodidae sp.1										3		3
Psychodidae sp.2								1		7		8
Scarabaeidae						8				1	11	20
<i>Solenopsis sp.</i>				1								1
Staphylinidae sp.1						1					11	12
Staphylinidae sp.2								7			7	14

Cont.

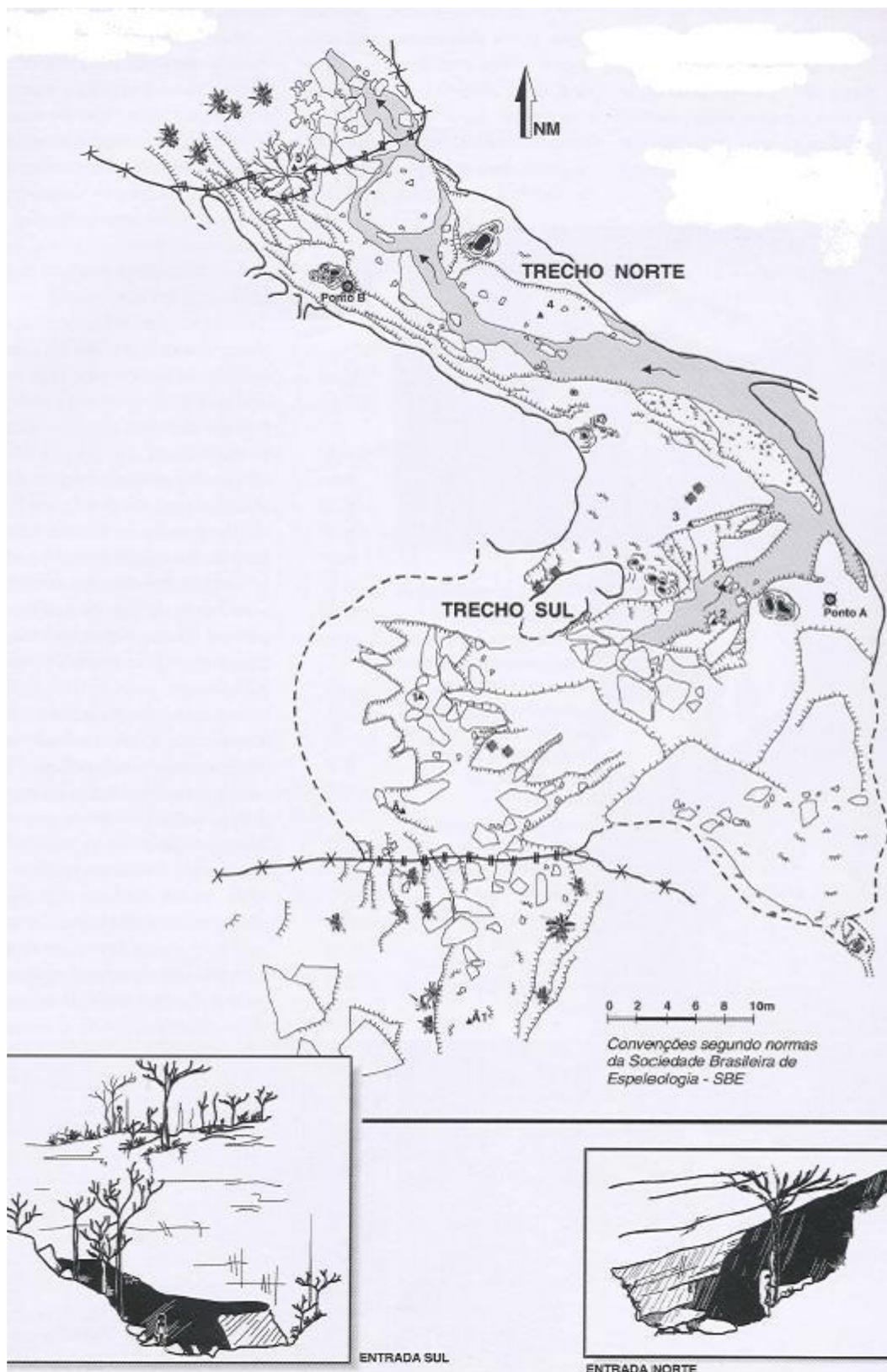
Taxa	LL					DI	SF		GM		AR		Total
	d1	d2	d3	d4	d5	d1	d1	d2	d1	d2	d1	d2	
<i>Stratiolaelaps</i> sp.											1094	1	1095
Tineidae										5	2	13	20
Tipulidae sp.											9		9
Trichoptera											1		1
<i>Trichorhina</i> sp.	1			35									36
<i>Wendilgarda</i> sp.			2	1									3
Larva sp.1*		2		1	15				4		13261	9419	22702
Total por depósito	12	42	44	112	90	17	130	3	34	12	14838	9585	

Larva sp.1 de *Drosophila eleonora*. As demais larvas desconhecidas e com menor abundância foram excluídas.

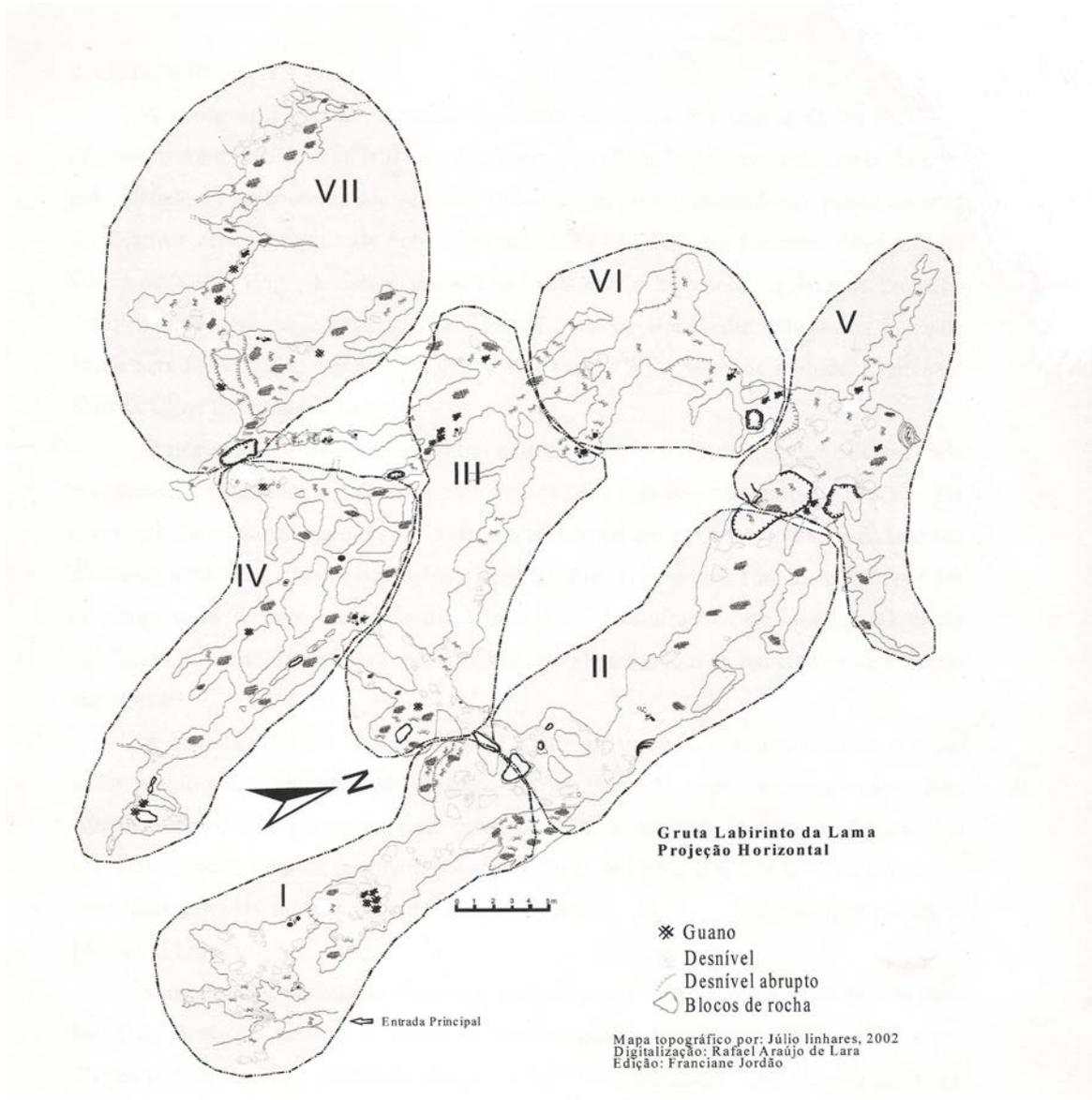
Anexo 2: Mapa espeleotopográfico da caverna Sal/Fenda II, DF. Fonte: CECAV



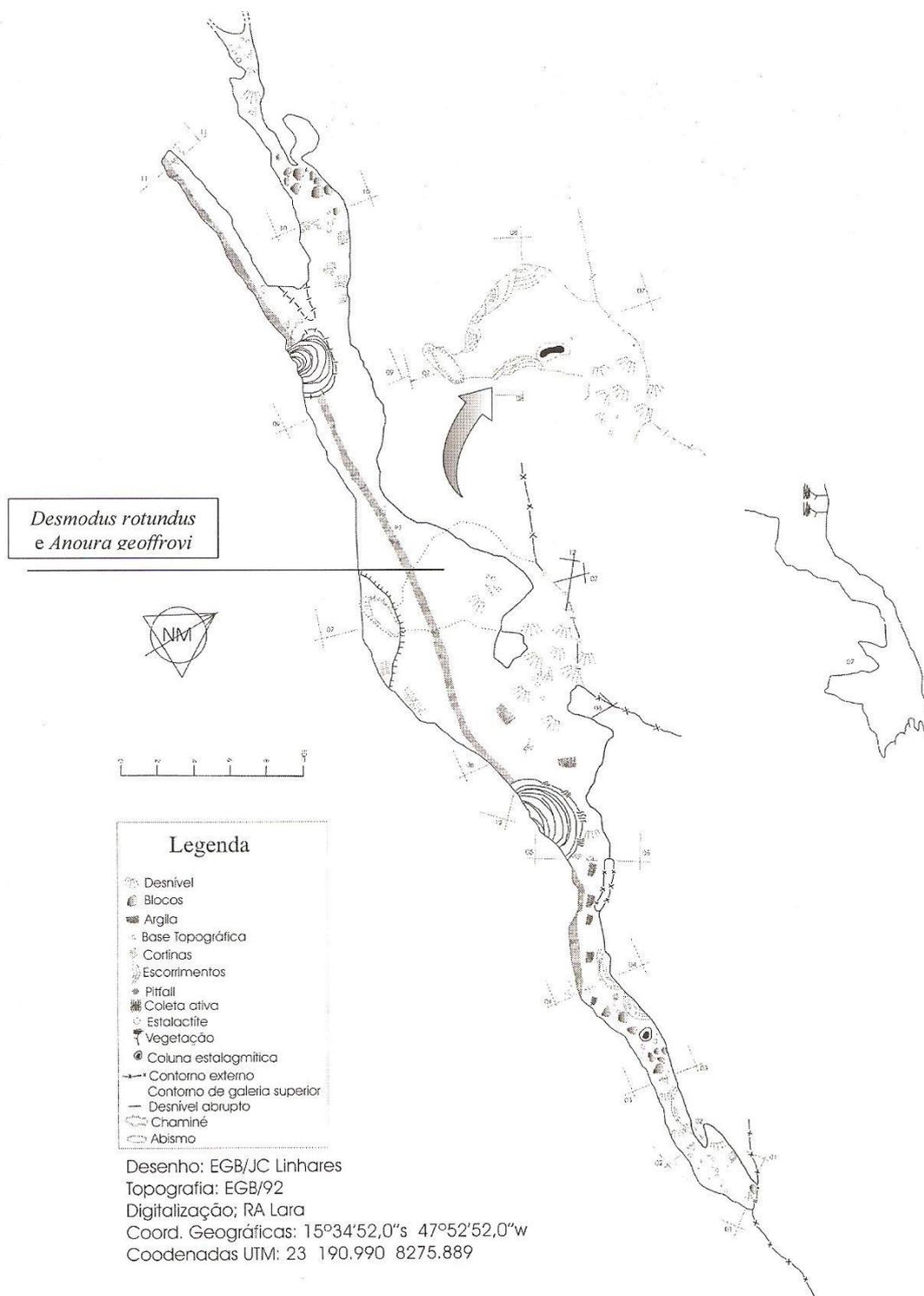
Anexo 3. Mapa espeleotopográfico da caverna Água Rasa, DF. Fonte: Júlio Linhares.



Anexo 4. Mapa espeleotopográfico da caverna Labirinto da Lama, DF. Fonte: Silva 2006a.

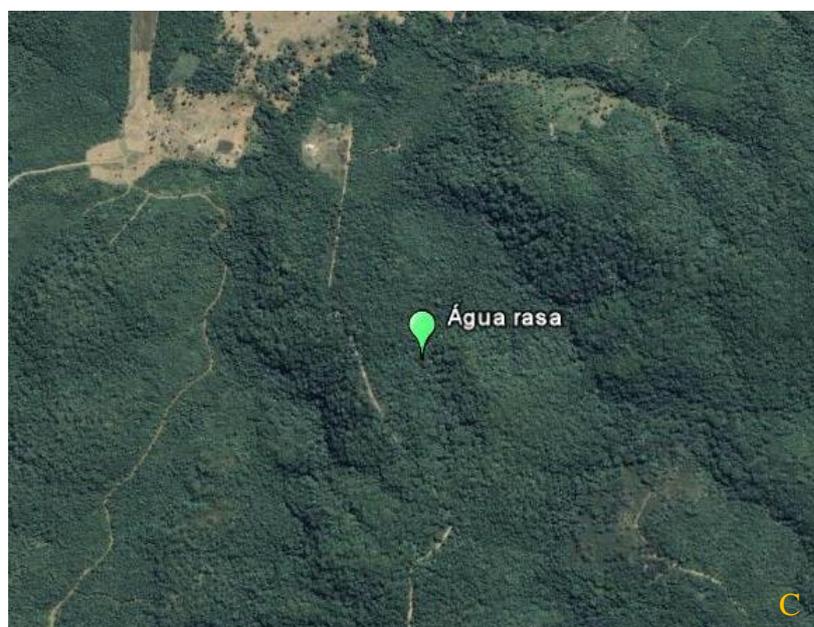


Anexo 5. Mapa espeleotopográfico da Gruta dos Morcegos, DF. Fonte: CECAV

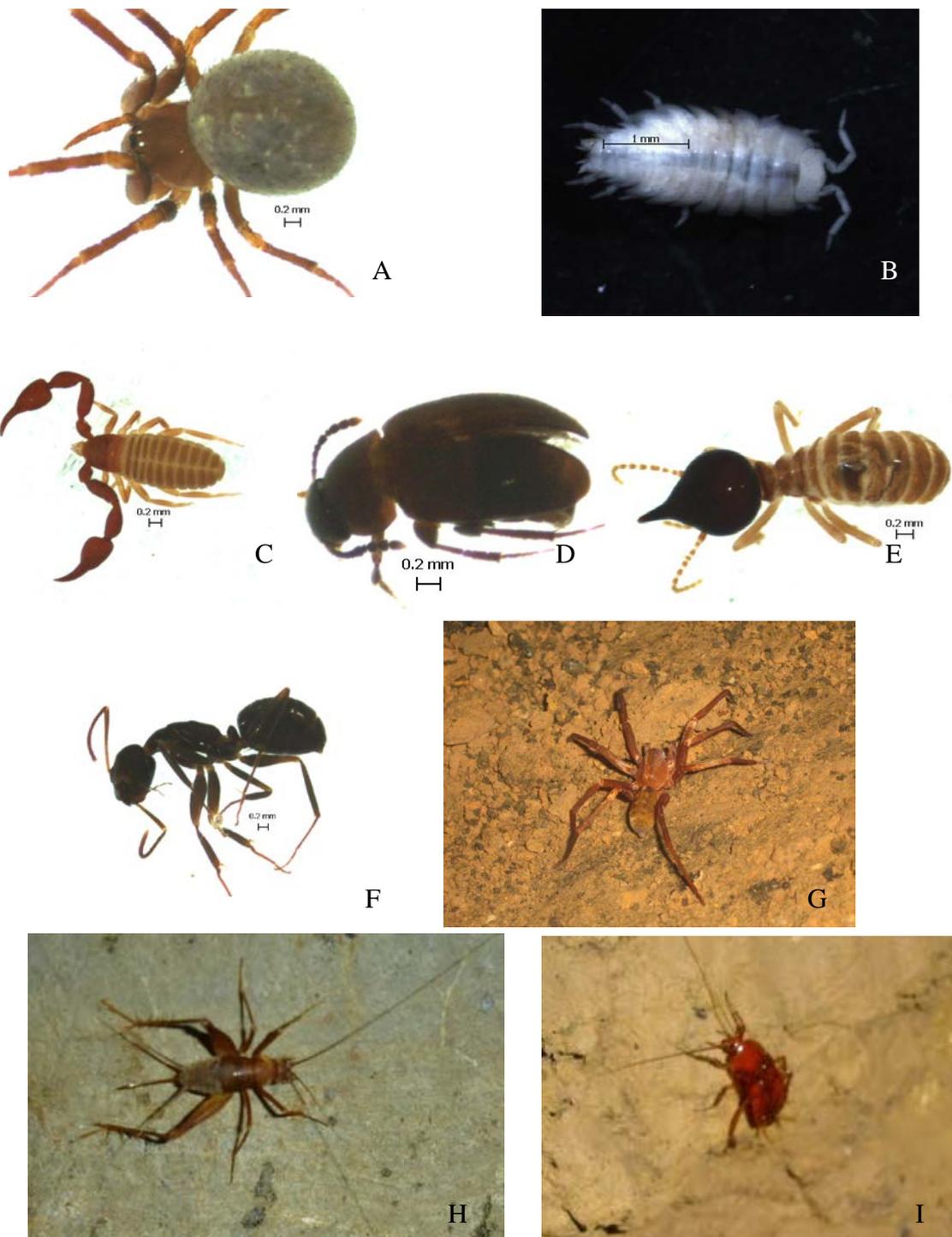




Anexo 6. Grutas próximas localizadas no noroeste do DF, APA de Cafuringa. Localização e paisagem ao redor da Gruta Sal/Fenda II (B), Labirinto da Lama (C) e Dois Irmãos (C).



Anexo 7. (A) Grutas localizadas no norte do DF. Localização e paisagem ao redor da Gruta dos Morcegos (B) na APA de Cafuringa e Água Rasa (C), APA Planalto Central.



Anexo 8. Invertebrados em guano de morcegos: aranha *Wendilgarda* sp. (A), isópode *Trichorhina* sp.(B), pseudoescorpião Cheliferidae sp. (C), besouro Leioididae sp.(D), cupim *Nasutitermes* sp.(E), Formicidae (F), aranha *Isoctenus coxalis* (G), grilo *Endecous* sp. (H) e barata Blattidae (I). Gruta Labirinto da Lama (A,B, E, F, G, H, I), Gruta Água Rasa (C) e Sal/Fenda II (D):. Fotos: Paulo César Motta (A-F); André Oliveira (G,H,I).



Anexo 9. Morcegos hematófagos de aves (*Diphilla ecaudata*) na gruta Sal/Fenda II (A) e seus depósitos de guano (B). Morcegos nectarívoros *Anoura geoffroyi* (C) na gruta Água Rasa (D) e seus depósitos de guano (E e F). Fotos: Maurício Macedo (A), Simone Salgado (B), Naiara Caroline (D), Ângelo Zerbini (C,E,F).

