



**CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA GUIAS E
CONDUTORES DE ESPELEOTURISMO**
PAN CAVERNAS DO SÃO FRANCISCO

MÓDULO 1
Meio Ambiente, Cultura e Espeleologia

AUTORES

Heros Augusto Santos Lobo
Luís B. Piló
Augusto Auler
Rodrigo Lopes Ferreira
Cristiano Fernandes Ferreira

ORGANIZADORAS

Gislaine Disconzi
Marcela Pimenta Campos Coutinho



**CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA GUIAS E
CONDUTORES DE ESPELEOTURISMO**

PAN CAVERNAS DO SÃO FRANCISCO

MÓDULO 1

Meio Ambiente, Cultura e Espeleologia

AUTORES

Heros Augusto Santos Lobo
Luís B. Piló
Augusto Auler
Rodrigo Lopes Ferreira
Cristiano Fernandes Ferreira

ORGANIZADORAS

Gislaine Disconzi
Marcela Pimenta Campos Coutinho

editora
IABS

BRASÍLIA/DF
SETEMBRO 2013

IABS - INSTITUTO AMBIENTAL BRASIL SUSTENTÁVEL

Luis Tadeu Assad – Diretor Presidente

Eric Jorge Sawyer – Diretor Administrativo Financeiro

CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS

Jocy Brandão Cruz – Chefe do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

FUNBIO/TFCA

Rosa Lemos de Sá – Secretária Geral

Fabio Leite – Gestor da Unidade de Programas

Natália Prado Lopes Paz – Gerente do TFCA

EQUIPE TÉCNICA CECAV/ICMBIO

Cristiano Fernandes Ferreira - Analista Ambiental

Issamar Meguerditchian - Analista Ambiental

Lindalva Ferreira Cavalcanti - Analista Ambiental

Maristela Felix de Lima - Analista Ambiental

EQUIPE TÉCNICA INSTITUTO AMBIENTAL BRASIL SUSTENTÁVEL

Marcela Pimenta Campos Coutinho – Coordenadora Geral

Cibele do Carmo Santana Sawyer – Coordenação Administrativa/Financeira

Gislaine Disconzi – Responsável Técnica

RESPONSÁVEL



PARCEIRO



FINANCIADOR



Governo dos
Estados Unidos da América



Ministério do
Meio Ambiente



Curso de Capacitação para Guias e Condutores de Espeleoturismo – Módulo I / Heros Augusto Santos Lobo, Luís B. Piló, Augusto Auler, Rodrigo Lopes Ferreira e Cristiano Fernandes Ferreira (autores) / Gislaine Disconzi e Marcela Pimenta Campos Coutinho (orgs.). Instituto Ambiental Brasil Sustentável – IABS / Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV / Tropical Forest Conservation Act - TFCA / Editora IABS, Brasília-DF, Brasil - 2013.

122 p.

1. Meio Ambiente e Cultura. 2. Espeleologia. 3. Geoespeleologia. 4. Biologia Subterrânea I. Título. II. Instituto Ambiental Brasil Sustentável – IABS. III. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV. IV. Tropical Forest Conservation Act - TFCA. V. Editora IABS.

CDU: 502

550

573



1. MEIO AMBIENTE E CULTURA	7
1.1 Conservação ambiental e as unidades de conservação no Brasil	7
1.2 O Ambiente como Patrimônio	11
1.2.1 Patrimônio Natural	12
1.2.1.1 Patrimônio espeleológico	13
1.2.1.2 Patrimônio arqueológico e paleontológico	14
1.2.2. Patrimônio Histórico e Cultural	12
2. ESPELEOLOGIA	19
2.1 Introdução à Espeleologia	19
2.1.1 Introdução	19
2.1.2 Definições e algumas características das cavernas e do carste	19
2.1.3 Potencialidades das cavernas no Brasil	21
2.1.4 Principais áreas contendo cavernas no Brasil	23
2.1.5 A importância das cavernas e do carste	26
3. GEOSPELEOLOGIA	33
3.1 O Carste e as cavernas	33
3.2 Espeleogênese em cavernas em rochas carbonáticas	37
3.2.1 Cavernas Epigênicas	40
3.2.2 Cavernas hipogênicas	45
3.2.3 Espeleogênese em cavernas não carbonáticas	45
3.3 Sedimentação em cavernas	47
3.3.1 Sedimentação clástica	47
3.3.2 Sedimentação química	48
4. INTRODUÇÃO À BIOLOGIA SUBTERRÂNEA	53
4.1. O ambiente subterrâneo	53
4.1.1 A fauna cavernícola	57
4.1.2 O aporte de alimento para o interior das cavernas	63
4.1.3 Dinâmica trófica em sistemas subterrâneos	64
4.2 Evolução em ambientes subterrâneos	66
4.3 Ecologia e conservação de cavernas	68
5. ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM TERRENOS CÁRSTICOS E CAVERNAS	73
5.1 Introdução	73
5.2 Impactos às cavernas e ambientes cársticos por tipo de atividade	75
5.2.1 Mineração	75
5.2.2 Agropecuária	81
5.2.3 Turismo	83
5.2.4 Represamentos	89
5.2.5 Obras lineares e outras obras de engenharia	92
5.2.6 Urbanização	94
5.3 Medidas de controle e minimização de impactos	96
5.4 Análises de contexto de empreendimentos e área de influência	97
5.5 Monitoramento	99
6. ANEXO	103





APRESENTAÇÃO

O projeto “Curso de Capacitação em Espeleoturismo para Guias/Condutores de Espeleoturismo” tem por objetivo capacitar condutores de espeleoturismo do alto, médio e baixo São Francisco em temas relacionados ao meio ambiente, cultura, espeleologia, normas de segurança e gestão do turismo para assegurar experiências sustentáveis e de alta qualidade nas visitas turísticas em cavernas.

Serão realizados três cursos de capacitação, no alto, médio e baixo São Francisco, em três módulos totalizando 120 horas cada, para até 30 guias/condutores de cada região. Serão elaborados conteúdo e material didático apresentando conceitos básicos de meio ambiente e turismo e temas relacionadas ao espeleoturismo, para serem disponibilizadas nas aulas teóricas e discutidas em visitas técnicas.

A realização do curso de capacitação em espeleoturismo é uma ação emergencial apontada pelo Plano de Ação Nacional (PAN) Cavernas do São Francisco, em virtude do elevado número de cavernas abertas à visitação e a baixa qualidade na experiência turística verificada nestas cavidades.

A Bacia do São Francisco apresenta expressivas paisagens cársticas, numerosos paredões e entradas de cavernas que favorecem a preservação de vestígios arqueológicos e

paleontológicos, riquezas minerais e hídricas, aspectos históricos, pré-históricos e culturais, além da vasta diversidade de fauna e flora.

Considerando as ameaças (mineração, turismo, agricultura, ocupação urbana, obras de engenharia, vandalismo e outras práticas danosas) ao Patrimônio Espeleológico e o conhecimento incipiente, o PAN Cavernas do São Francisco identificou a necessidade de conscientização e capacitação dos monitores e condutores espeleológicos acerca do tema.

Como algumas cavernas inseridas nesta região recebem um fluxo considerável de visitantes, esta iniciativa inédita busca levar aos profissionais que trabalham em cavernas a capacitação inicial necessária para melhoria da experiência turística

Esta apostila é referente ao Módulo 1: Meio Ambiente, Cultura e Espeleologia. Para o último dia de curso, está programada uma visita técnica com o seguinte foco: “Descobrir o mundo subterrâneo e seus aspectos relacionados ao meio ambiente, cultura e espeleologia”.

Acreditamos que esta apostila também servirá para futuras consultas e, portanto, buscamos ilustrar os conceitos apresentados e enriquecê-la com o máximo de informações, imagens e referências bibliográficas, tornando-a um referencial e importante apoio ao guia e condutor de espeleoturismo.







1. MEIO AMBIENTE E CULTURA

AUTOR: HEROS LOBO

1.1 CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL¹

As práticas de conservação da natureza são baseadas na antiga tradição que separa o ser humano das demais espécies vivas e do ambiente em que vivem. A base desta concepção deriva do pensamento cristão baseado no *Jardim do Éden*, focado na construção de uma imagem de “paraíso”. Neste lugar, a paisagem é plana, suave, sem variações de relevo, como montanhas, serras, abismos e cavernas (DIEGUES, 2000; THOMAS, 2001).

Paralelamente, durante muitos séculos, a natureza teve sua imagem associada a aspectos negativos, caóticos e sem controle. Essa imagem começou a ser alterada em meados do século XVIII, sob influência do Romantismo. Nesta época, clérigos ingleses difundiram a ideia da natureza como fonte de renovação psíquica, física e espiritual, dada a perfeição da criação divina (THOMAS, 2001; REJOWSKI et al., 2005).

Ao encontro desta ideia de natureza, em 1872 foi criada a primeira área natural protegida no mundo, o Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos. Suas características se refletem nos moldes da maioria das áreas

naturais protegidas do Brasil: a separação do ser humano da natureza e a valorização em excesso dos aspectos bióticos. Em sua análise da criação das áreas naturais protegidas no mundo, Hosaka (2009) explica que no período entre 1872 e 1940, o enfoque principal dado nas propostas de áreas protegidas estava centrado na preservação de espécies de animais e plantas. No período seguinte, entre 1940 e 1970, este enfoque começou a ser ampliado, incluindo ecossistemas, biomas e elementos do patrimônio arqueológico. Todavia, o salto quantitativo e qualitativo ocorreu em 1972, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo, na Suécia. Monteiro (2000) aponta este evento como um marco mundial para o ambientalismo e para a conservação da natureza. Nos anos de 1990, a IUCN apresentou uma classificação padronizada de áreas naturais protegidas, incluindo os monumentos naturais (CEBALLOS-LASCURÁIN, 1996) – atualmente bastante utilizados para a geoconservação.

No Brasil, convencionou-se dizer que a primeira unidade de conservação (UC) criada nestes moldes foi o Parque Nacional de Itatiaia, no Estado do Rio de Janeiro, em 1937 (HOSAKA, 2009). No entanto, outras áreas

1 A base do texto desta seção da apostila foi subtraída da seguinte referência: LOBO, H.A.S. **Estudo da dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga turística na caverna de Santana (PETAR, Iporanga-SP)**. 2011. 392 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2011, capítulo 4, seção 4.1.



naturais protegidas foram formalizadas antes dele, como o Horto Botânico de São Paulo – atual Parque Estadual Alberto Löfgren –, criado em 1896, ou a Estação Biológica Alto da Serra, criada em 1901 pelo alemão Hermann Friederich Albrecht von Ihering, e que em 1938 passou a ser administrada pelo Instituto de Botânica, sendo atualmente denominada Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba. Assim, é correto dizer que o Parque Nacional de Itatiaia, por exemplo, é o primeiro Parque Nacional do Brasil, mas não a primeira área natural legalmente protegida.

As UCs brasileiras são regidas por meio da Lei nº. 9.985 de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Neste documento, podem ser encontrados dois grupos de UCs: as de proteção integral (UCPI) e as de uso sustentável (UCUS). As UCPI correspondem aos espaços delimitados para a manutenção dos ecossistemas, sem alterações causadas por interferência humana. Nelas é admitido apenas o uso indireto dos seus atributos e recursos naturais. AS UCPI são divididas em cinco categorias distintas:

- ✎ Estação Ecológica;
- ✎ Reserva Biológica;
- ✎ Parque Nacional;
- ✎ Monumento Natural; e
- ✎ Refúgio da Vida Silvestre.

Por sua vez, as UCUS correspondem aos espaços onde a exploração do ambiente pode ser realizada de maneira a garantir a manutenção em longo prazo dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável. As UCPI são divididas em sete categorias, abaixo listadas:

- ✎ Área de Proteção Ambiental;
- ✎ Área de Relevante Interesse Ecológico;
- ✎ Floresta Nacional;
- ✎ Reserva Extrativista;
- ✎ Reserva de Fauna;

- ✎ Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e
- ✎ Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Para cada uma das categorias de UC, tanto de proteção integral quanto de uso sustentável, existem regras específicas definidas, que versam sobre sua criação, implantação e gestão. Estas regras poderão ser consultadas no próprio SNUC, que segue como ANEXO desta apostila.

A prática de uso público das UCs para fins turísticos é uma das atividades previstas em lei, desde que sejam desenvolvidas com os princípios do ecoturismo. No âmbito das políticas públicas no Brasil, este tipo de turismo é definido como

um segmento da atividade turística que utiliza, de forma sustentável, o patrimônio natural e cultural, incentiva sua conservação e busca formação de uma consciência ambientalista através da interpretação do ambiente, promovendo o bem-estar das populações envolvidas (BRASIL, 1994, p. 19).

Nesta e em outras definições sobre o ecoturismo ou o turismo em áreas naturais, ressalta-se a ausência de menções diretas à geoconservação, com apenas algumas referências a determinados componentes do meio físico, como rios, cachoeiras e praias. Por outro lado, formas naturais como as cavernas e elementos como as rochas, sempre foram ressaltados de forma negativa e hostil.

A atenção à conservação da geodiversidade começou a ser difundida no âmbito mundial nos anos noventa do século XX e a ser incorporado na agenda ambiental brasileira a partir do século XXI, com o reconhecimento formal e a ampliação das iniciativas de geoconservação. Em sua essência, carrega traços da relação entre o ser humano e o ambiente, além dos desdobramentos culturais originados nestas relações, como os aspectos arqueológicos, os valores estéticos e a associação imediata de determinadas feições geológicas e



geomorfológicas com os lugares que as abrigam (SILVA; PERINOTTO, 2007; NASCIMENTO et al., 2008).

Em linhas gerais, esta nova perspectiva busca conferir peso e importância semelhante entre a geoconservação e a biodiversidade. Este fator é de suma importância para a conservação das paisagens cársticas e cavernas, tendo como pano de fundo “os valores econômicos, científicos e humanos, dentro do contexto cultural e político local” (WATSON et al., 1997, p. 9). A questão dos valores geoconservacionistas em áreas cársticas também foi abordada por Pereira (2010), que apresentou uma tabela com valores intrínsecos, culturais, estéticos, econômicos, funcionais, científicos e educacionais. Além disso, algumas outras iniciativas têm se mostrado primordiais para a geoconservação, tais como:

- ✎ A criação de áreas naturais protegidas com enfoque centrado na geoconservação, como é o caso da Área de Proteção Ambiental do Carste de Lagoa Santa, do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, ambas em Minas Gerais; do Monumento Natural Gruta do Lago Azul e da Reserva Particular do Patrimônio Natural Buraco das Araras, no Mato Grosso do Sul; e do Parque Estadual Terra Ronca, em Goiás. Em comum, todos os exemplos citados auxiliam na preservação e uso sustentável de áreas cársticas e cavernas;
- ✎ A ampliação dos estudos de manejo de cavernas, como os Estudos de Impactos Ambientais das grutas do Lago Azul e Nossa Senhora Aparecida, no Mato Grosso do Sul; e os Planos de Manejo Espeleológico das grutas Rei do Mato, Maquiné – em Minas Gerais – Ubajara – no Ceará – e Santana, Diabo e Colorida – em São Paulo, entre muitos outros exemplos;
- ✎ As propostas de criação de geoparques, uma forma diferenciada de ordenação territorial que emergiu nos anos noventa do século XX na Europa (SÁ et al., 2006) que permite que a terra continue sendo

de posse de proprietários privados, e que propõe uma revalorização do meio físico, por meio dos geosítios, bem como busca proporcionar o benefício socioeconômico das populações locais.

Tais iniciativas se fortalecem e se fazem notar pela crescente expansão de um segmento emergente do mercado turístico, o geoturismo (NASCIMENTO et al., 2007), que pode ser definido como “um novo segmento de turismo em áreas naturais, realizado por pessoas que têm o interesse em conhecer mais os aspectos geológicos e geomorfológicos de um determinado local, sendo esta a sua principal motivação de viagem” (MOREIRA, 2009, p. 1). É também a “visita organizada e orientada a locais onde ocorrem recursos do meio físico geológico que testemunham uma fase do passado ou da história da origem e evolução do planeta Terra” (SILVA; PERINOTTO, 2007, p. 7). Trata-se de uma forma sustentável de turismo (BUCKLEY, 2006; PERINOTTO, 2007; SILVA; PERINOTTO, 2007), objetivando a geoconservação (NASCIMENTO et al., 2007), baseada na experiência do visitante, e não somente na contemplação passiva do ambiente (PERINOTTO, 2007).

Moreira (2009) acrescenta que sua origem está ligada ao ecoturismo, ao turismo de aventura e ao turismo cultural. Algumas de suas vertentes mais conhecidas são o turismo mineral (LICCARDO, 2007) e o turismo geológico (MOREIRA, 2009). Medeiros (2007) apresenta o termo ecogeoturismo, embora não o diferencie substancialmente da essência já apresentada das definições de geoturismo. Lobo et al. (2007) mencionam algumas possibilidades de realização do geoturismo em áreas cársticas, associando o segmento ao espeleoturismo, ao turismo de aventura, religioso e cultural, entre outros. A Figura 1 apresenta algumas das potencialidades geoturísticas da paisagem cárstica ou a esta associada, demonstrando que seu apelo cênico se estende para além do aproveitamento notório que é feito por meio do espeleoturismo.

No Brasil, as UCs possibilitam uma associação positiva entre geoconservação e



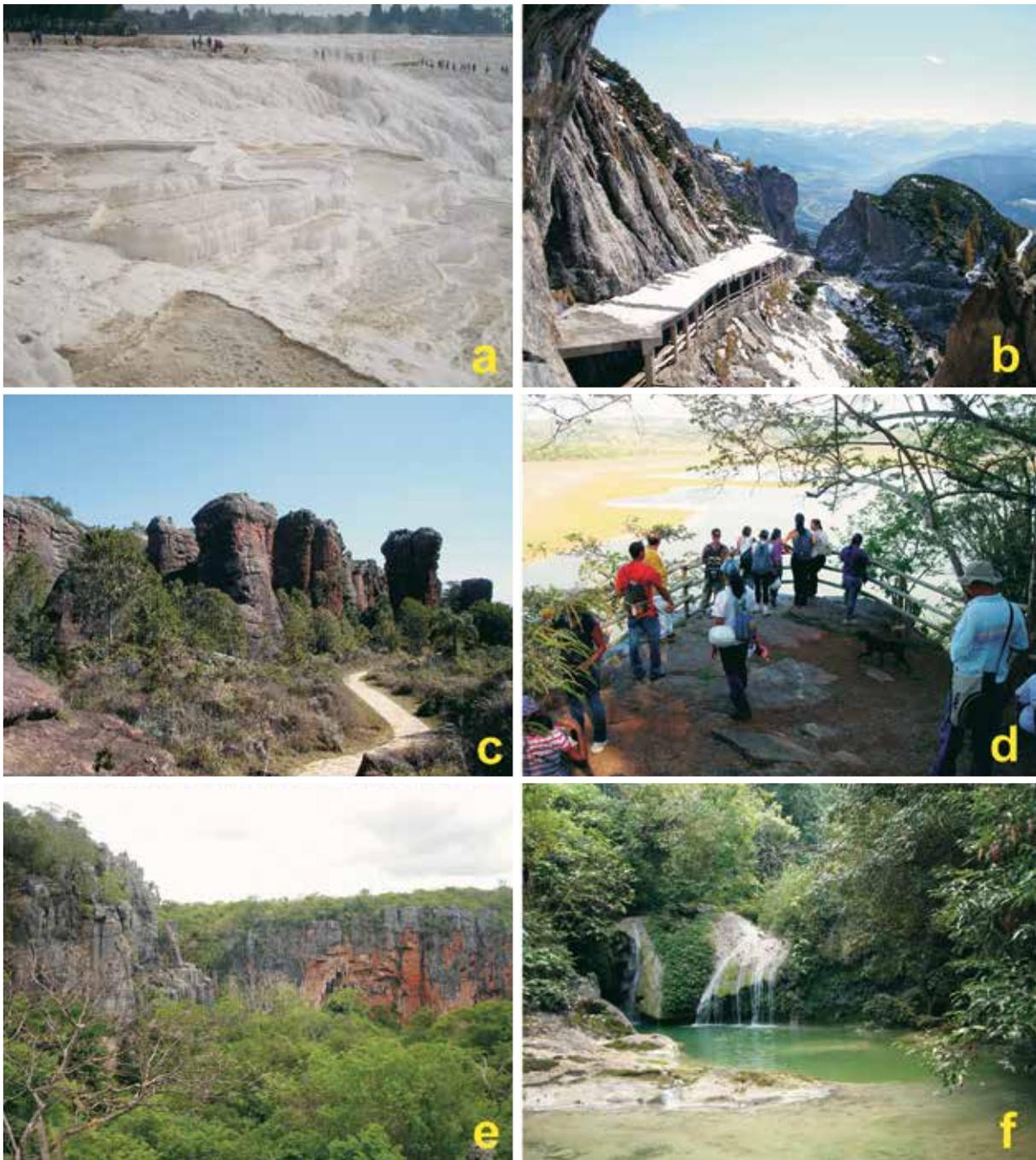


Figura 1: Exemplos que evidenciam o potencial geoturístico das paisagens cársticas. a) Travertinos a céu aberto de Pamukkale, na Turquia, formados por águas termais. O conjunto todo é tombado pela UNESCO, em conjunto com a Hierápolis de Friggia, cidade romana construída no alto da colina onde estão os travertinos; b) Alpes austríacos em rochas carbonáticas na região de Werfen (Salzburg), com trilha de acesso à caverna Eisreisenwelt, uma das mais visitadas do mundo; c) Arenitos ruíniformes do Parque Estadual de Vila Velha, no Paraná, uma região de carste subjacente (SALLUN FILHO; KARMANN, 2007); d) Mirante com vista para a polje do Sumidouro, no Parque Estadual do Sumidouro, em Lagoa Santa, Minas Gerais; e) Um dos mirantes da trilha do Silú, no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Minas Gerais. A região figura na lista de locais com potencial para ser considerado patrimônio espeleológico mundial da UNESCO (WILLIAMS, 2008); f) Cachoeiras formadas por tufas carbonáticas e águas límpidas no córrego Santa Maria, no Parque Nacional da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul.



geoturismo. Como exemplo, Nascimento et al. (2008) analisaram os 62 Parques Nacionais brasileiros existentes até 2007. Destes, 42 têm o patrimônio geológico e geomorfológico como principal atrativo. Em sua lista, foram encontrados seis parques onde a paisagem cárstica é o elemento de destaque para a conservação ambiental, conforme apresentado na Tabela 1.

Considerando a necessidade da conservação de elementos da natureza, os princípios básicos de uso turístico sustentável das formas naturais – essência do ecoturismo – devem ser priorizados. Para tanto, deve-se levar em conta a ampliação da concepção de natureza, de forma a conferir um enfoque ponderado à biodiversidade e à geoconservação (NASCIMENTO et al., 2007). Ambos devem ser entendidos como norteadores de propostas de conservação, sem deixar de lado a diversidade cultural e a equidade social como princípios básicos: da sustentabilidade (SWARBROOKE, 2002; BUCKLEY, 2006); e da conservação ambiental por meio do turismo (PIRES, 2002; RUSCHMANN, 2004; BUCKLEY, 2006).

Neste contexto, as cavernas podem ser posicionadas como elementos estratégicos para a conservação de parcelas significativas: a) da biodiversidade – considerando principalmente os casos de organismos especializados, como os troglomórficos e troglóxenos obrigatórios (TRAJANO; BICHUETTE, 2006); b) da diversidade mineralógica (FORTI et al., 2007);

c) para o conhecimento de climas pretéritos visando à compreensão da dinâmica climática atual e futura (CRUZ JÚNIOR et al., 2005) e espeleoclimática atual (CIGNA, 2002); d) e de vestígios arqueológicos (BASTIAN; ALABOU-VETTE, 2009) e paleontológicos.

1.2 O AMBIENTE COMO PATRIMÔNIO

As Unidades de Conservação no Brasil são implantadas com o intuito principal de assegurar aspectos representativos dos diferentes tipos de ambiente, bem como feições e manifestações únicas da natureza, no entanto, a noção de patrimônio vai para além desta perspectiva. Enquanto as UCs no Brasil são criadas para distinguir parcialmente o uso do território pelo ser humano, a ideia geral de patrimônio não é tão clara nesse sentido, permitindo uma relação mais dinâmica, atual e racional entre o ambiente e as populações humanas. Entende-se por Patrimônio aquilo que é de interesse comum, geral e, em essência, com os mesmos princípios mencionados anteriormente para a criação de UCs no Brasil: representatividade e singularidade.

Além disso, o patrimônio, ou seja, o bem comum, não se resume somente aos elementos materiais, palpáveis, em sua definição e caracterização. Aspectos imateriais, formados essencialmente pelos traços culturais e sociais de uma determinada população, também podem ser considerados como patrimônios, por

Tabela 1: Parques Nacionais cujos principais atrativos são o carste e/ou as cavernas

Unidade de Conservação (Parque Nacional)	Ano de Criação	Estado	Área (Hectares)
Ubajara	1959	CE	6.271,17
Sete Cidades	1961	PI	6.303,54
Serra da Capivara	1979	PI	91.834,08
Chapada Diamantina	1985	BA	151.526,18
Cavernas do Peruaçu	1999	MG	56.448,18
Serra da Bodoquena	2000	MS	77.020,26

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2008).



serem representativos de uma forma de pensar ou de se relacionar com o mundo. Assim, representam frutos da relação entre o ser humano e o ambiente em que este vive, sem a concepção antagonista usual “homem *versus* natureza”, mas sim, pensando na relação “homem *com* a natureza”.

1.2.1. Patrimônio Natural

Das diversas categorias que se pode encontrar para o patrimônio, inicia-se a apresentação do chamado *patrimônio natural*. No âmbito mundial, a UNESCO é o órgão que tem buscado estabelecer, de maneira mais sistemática e completa, uma listagem de patrimônios naturais da humanidade, desde 1972, com a criação da Convenção do Patrimônio Mundial. Para o *patrimônio natural*, a UNESCO baseia-se em critérios previamente estabelecidos, descritos no trabalho de Williams (2008):

- ✦ Abrigar fenômenos naturais superlativos, ou áreas de excepcional beleza natural ou importância estética;
- ✦ Apresentar exemplos marcantes dos estágios da história da terra, incluindo registros da vida, processos geológicos e de desenvolvimento do relevo, ou mesmo características geomórficas ou fisiográficas significativas;
- ✦ Apresentar exemplos marcantes de processos ecológicos e biológicos evolutivos, de ecossistemas terrestres, aquáticos, costeiros e marinhos;
- ✦ Abrigar habitats importantes para a conservação *in situ* da diversidade biológica, incluindo aqueles que contêm espécies ameaçadas de marcante valor universal, sob a ótica da ciência ou da conservação.

Em suma, observa-se que o *patrimônio natural* se refere àquilo que não foi modificado pelo ser humano, ou então que recebeu mínimas interferências, de modo a manter suas características e processos fundamentais.

Segundo o portal institucional Brasil (2013), na internet, o patrimônio natural de um país corresponde a um conjunto que reúne áreas

de importância para a preservação e para a história – no sentido da história da formação das paisagens naturais. Incluem-se aí as formações geológicas, os habitats das espécies animais e vegetais ameaçadas, e cujo valor seja universalmente excepcional.

Por fim, Delphim (2004) menciona que o patrimônio natural é compreendido por analogia ao patrimônio histórico-artístico na legislação brasileira, citando como exemplos “os monumentos naturais, os sítios e as paisagens que importe conservar e proteger pela feição notável com que foram dotados pela natureza ou agenciados pela indústria humana” (DELPHIM, 2004, p.2). O autor ainda defende que duas posturas justificam a proteção do patrimônio natural: uma de cunho ético (o respeito que os seres humanos devem ao ambiente e aos demais seres vivos) e outra de cunho prático (a dependência da sobrevivência da espécie humana sem os demais recursos e seres existentes na natureza).

1.2.2. Patrimônio Histórico e Cultural

Na convenção de 1972, a UNESCO define como sendo parte do patrimônio cultural da humanidade os monumentos, os conjuntos (grupos de construções com representatividade histórica-arquitetônica) e os locais de interesse (locais de valor universal excepcional, do ponto de vista histórico, estético, etnológico ou antropológico). No entanto, desde 2003, com a publicação da Convenção para a Salvaguarda do Patrimônio Cultural da UNESCO, também os elementos e manifestações culturais imateriais têm sido considerados como parte do patrimônio histórico ou cultural de uma região, como por exemplo, as tradições culinárias e as festas religiosas, entre outros.

No Brasil, o IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) é o órgão responsável pela chancela destes patrimônios, bem como, de certa forma, pela sua proteção. Para tanto, o IPHAN segue as recomendações universais feitas pela UNESCO, por meio das Convenções já mencionadas de 1972 e 2003, bem como outras mais específicas (ex.: salvaguarda do patrimônio cultural subaquático).



1.2.1.1. Patrimônio espeleológico

No âmbito mundial, o patrimônio espeleológico não é tratado como categoria à parte dos patrimônios naturais e culturais, ao menos sob as orientações da UNESCO. Até o momento, o que foi produzido pela UNESCO sobre o tema é um estudo temático, onde aponta quais áreas que são Patrimônio da humanidade se localizam sobre área cársticas ou cavernas. Ao todo, estão listados 45 locais ao redor do mundo, sendo que nenhum deles se localiza no Brasil. No entanto, neste mesmo material existe uma listagem de 30 sítios com potencial para classificação como patrimônio mundial em área de

carste no Brasil: o vale do rio Peruaçu, no Norte de Minas Gerais. Segundo Williams (2008), sua inclusão se justifica por se tratar, possivelmente, de um dos mais longos cânions formado por colapso em área cárstica conhecido no mundo, acompanhado de uma caverna com excepcional decoração de espeleotemas. Além disso, outras feições chamam a atenção, como as enormes dolinas de colapso, pontes rochosas naturais, nascentes e feições cársticas típicas. Termina a descrição citando a arte pré-histórica nas paredes das cavernas, bem como os vestígios encontrados nos sítios arqueológicos associados, com ocupação datada até doze mil anos em relação ao presente.

Quadro 1: Sítios espeleológicos descritos no SIGEP e estado atual de proteção.

Sítio	Localização	Estado atual de proteção
Carste e Cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, SP	Iporanga e Apiaí, SP	Protegido por um Parque Estadual.
Carste de Lagoa Santa, MG	Vespasiano, Pedro Leopoldo, Confins, Lagoa Santa, Matozinhos, Funilândia e Prudente de Morais, MG (BERBERT-BORN, 2002)	Parcialmente protegido por uma APA Federal, um Parque Estadual e Monumentos Naturais Estaduais.
Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra do Caraça), MG	Mariana e Catas Altas, MG	Localizado em área particular, sem proteção formal específica.
Toca da Boa Vista, BA	Campo Formoso, BA	Localizado em área particular, sem proteção formal específica.
Cavernas do Vale do Rio Peruaçu, MG	Januária e Itacarambi, MG	Protegido por um Parque Nacional.
Grutas de Iraquara, BA	Iraquara, Seara e Palmeiras, BA	Parcialmente protegido por um Parque Nacional. Grande parte das cavernas se encontra em áreas particulares, sem proteção formal específica.
Lapa dos Brejões - Vereda Romão Gramacho, Chapada Diamantina, BA	São Gabriel, João Dourado e Morro do Chapéu, Bahia (BERBERT-BORN & KARMANN, 2012)	Protegida por uma APA Estadual.
Caverna Aroe Jari, Chapada dos Guimarães, MT	Chapada dos Guimarães, MT	Localizado em área particular, sem proteção formal específica.
Poço Encantado, Chapada Diamantina (Itaetê), BA	Itaetê, Bahia	Localizado em área particular, sem proteção formal específica.
Furna do Buraco do Padre, Formação Furnas, PR	Ponta Grossa, PR	Protegida por uma APA Estadual e um Parque Nacional.
Gruta do Lago Azul, MS	Bonito, MS	Patrimônio tombado pelo Iphan e Monumento Natural Estadual.

Fonte: Dados do SIGEP (2013), organizado por Lobo; Boggiani (2013).



No Brasil, não existe legislação específica para a proteção ou conservação das áreas cársticas. No entanto, as cavernas são objeto de menção na Constituição Federal de 1988, sendo designadas como *Bem da União* (artigo 20) e como parte do *Patrimônio Cultural Nacional* (artigo 216).

Posteriormente, a resolução nº 347 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), definiu o patrimônio espeleológico como o “conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas” (CONAMA, 2004, s.p.). Definiu também a denominada “área de influência” sobre o patrimônio espeleológico, que são áreas, superficiais ou subterrâneas, compostas por seus elementos bióticos e abióticos, que são necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade do ambiente cavernícola (CONAMA, 2004).

Assim, preliminarmente se entende que todas as cavernas brasileiras são parte do patrimônio do país. Mas isso não implica em dizer que todas possuem características de representatividade ou singularidade para serem definidas como patrimônio, além do que é preciso ponderar sobre as outras necessidades humanas que também dependem do ambiente onde as cavernas se formam, como a extração de rochas, a agricultura e a pecuária, como exemplos mais convencionais.

Por fim, outra iniciativa interessante desenvolvida no Brasil acerca do patrimônio espeleológico é a lista da Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), que entre as diversas categorias existentes, possui também os “sítios espeleológicos” (Quadro 1).

Além destes, existem outros dois sítios já aprovados, totalizando 14 sítios espeleológicos listados. Também estão listadas outras oito sugestões preliminares, como por exemplo, a gruta de Maquiné, MG e as grutas do Parque Nacional de Ubajara,

CE, perfazendo vinte sítios espeleológicos brasileiros.

1.2.1.2. Patrimônio arqueológico e paleontológico

Sobre o patrimônio arqueológico, segundo o IPHAN,

todos os sítios arqueológicos são definidos e protegidos pela Lei nº 3.924/61, sendo considerados bens patrimoniais da União. O tombamento de bens arqueológicos é feito, excepcionalmente, por interesse científico ou ambiental. São considerados sítios arqueológicos as jazidas de qualquer natureza, origem ou finalidade, que representem testemunhos da cultura dos paleoameríndios; os sítios nos quais se encontram vestígios positivos de ocupação pelos paleoameríndios; os sítios identificados como cemitérios, sepulturas ou locais de pouso prolongado ou de aldeamento “estações” e “cerâmios; e as inscrições rupestres ou locais e outros vestígios de atividade de paleoameríndios. Atualmente, cerca de 19 mil sítios arqueológicos já foram identificados pelo IPHAN (IPHAN, 2013, s.p.).

Sobre o patrimônio paleontológico, também chamado de fossilífero, sua caracterização legal inicial é feita pelos mesmos artigos da Constituição Federal que se referem às cavernas, o 20 (bens da união) e o 216 (patrimônio da união). Segundo Dresch (2007), este patrimônio, quando subtraído de campo, pode também ficar sob a guarda de instituições nacionais de pesquisa ou ensino, bem como de museus e parques temáticos.

Por fim, vale ressaltar que, em sendo um elemento do patrimônio cultural (artigo 216 da Constituição), o patrimônio espeleológico é sujeito ao tombamento pelo IPHAN, assim como as demais categorias de patrimônio citadas neste capítulo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTIAN, F.; ALABOUVETTE, C. Lights and shadows on the conservation of a rock art cave: the case of Lascaux cave. **International Journal of Speleology**, Bologna, v.38, n.1, p.55-60, 2009.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 13.ago.2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Indústria, Comércio e Turismo. IBAMA. EMBRATUR. **Diretrizes para uma política nacional de ecoturismo**. Brasília: EMBRATUR, 1994. 48 p.
- BRASIL. **Lei n. 9985 de 18 de julho de 2000**. Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em <<https://www.presidencia.gov.br>>. Acesso em: 4 dez. 2005.
- BRASIL. **Patrimônio brasileiro natural**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/cultura/patrimonio-brasileiro/natural>>. Acesso em: 13.ago.2013.
- BUCKLEY, R. Geotourism. **Annals of Tourism Research**, v.33, n.2, p.583-585, 2006.
- CEBALLOS-LASCURAIN, H. **Ecoturismo, naturaleza y desarrollo sostenible**. Cidade do México: Diana, 1998. 172 p.
- CIGNA, A. A. Modern trend in cave monitoring. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v.31, n.1, p.35-54, 2002.
- CONAMA. **Resolução CONAMA nº 347**, dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Brasília: CONAMA, 2004.
- CRUZ JÚNIOR, F.W. da.; BURNS, S.J.; KARMANN, I.; SHARP, W.D.; VUILLE, M.; CARDOSO, A.O.; FERRARI, J.A.; DIAS, P.L.S.; VIANA JÚNIOR, O. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, v.434, n.3, p.63-66, 2005.
- DELFIN, C.F.M. **O patrimônio natural no Brasil**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/baixaFcdAnexo.do?id=418>>. Acesso em: 13.ago.2013.
- DIEGUES, A.C.S. **O mito moderno da natureza intocada**. 3.ed. São Paulo: Hucitec, 2000. 169 p.
- DRESCH, R.F.V. Breves apontamentos sobre a proteção legal ao patrimônio paleontológico. **Geonomos**, v.15, n.2, p.73-74, 2007.
- FORTI, P.; GALLI, E.; ROSSI, A. The mineralogical study on the cueva de las Velas (Naica, Mexico). **Acta Carsologica**, Ljubljana, v.36, n.3, p.379-388, 2007.
- HOSAKA, A.M. da S. Unidades de conservação: aspectos históricos e conceituais. In: PHILIPPE JR., A.; RUSCHMANN, D.V.M. (Eds.) **Gestão ambiental e sustentabilidade no turismo**. Barueri: Manole, 2009. p.263-300.
- IPHAN. **Patrimônio arqueológico**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/montarPaginaSecao.do?id=12944&retorno=paginaIphan>>. Acesso em: 13.ago.2013.
- LICCARDO, A. Turismo mineral em Minas Gerais, Brasil. **Global Tourism**, Ourinhos, v.3, n.2, p.1-19, 2007.
- LOBO, H.A.S. **Estudo da dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga turística na caverna de Santana (PETAR, Iporanga-SP)**. 2011. 392 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2011.
- LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C. Cavernas como patrimônio geológico. **Boletim Paraense de Geociências**, no prelo, 2013.



- LOBO, H.A.S.; VERÍSSIMO, C.U.V.; SALLUN FILHO, W.; FIGUEIREDO, L.A.V.; RASTEIRO, M.A. Potencial geoturístico da paisagem cárstica. **Global Tourism**, Ourinhos, v.3, n.2, p.1-20, 2007.
- MEDEIROS, W.D. de A. Ecogeoturismo e geoconservação no semi-árido do Rio Grande do Norte: o caso da região do Seridó. **Global Tourism**, Ourinhos, v.3, n.2, p.1-21, 2007.
- MONTEIRO, C.A. de F. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000. 127 p.
- MOREIRA, J. Geoturismo: uma abordagem histórico-conceitual. In: REJOWSKI, M.; BASTOS, S.R. (Orgs.). SEMINÁRIO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM TURISMO, 6, 2009, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Anptur/UAM, 2009. p.1-11.
- NASCIMENTO, M.A.L.; AZEVEDO, U.R.; MANTESSO NETO, V. Geoturismo: um novo segmento do turismo no Brasil. **Global Tourism**, Ourinhos, v.3, n.2, p.1-24, 2007.
- NASCIMENTO, M.A.L.; AZEVEDO, U.R.; MANTESSO NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo**: trinômio importante para a conservação do patrimônio geológico. São Paulo: SBGeo, 2008. 84 p.
- PEREIRA, R.G.F. de A. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia – Brasil)**. 2010. 295 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga. 2010.
- PERINOTTO, A.R. da C. Geoturismo nas cuevas basálticas da alta bacia do rio Corumbataí (Município de Analândia/SP). **Global Tourism**, Ourinhos, v.3, n.2, p.1-31, 2007.
- PIRES, P. dos S. **Dimensões do ecoturismo**. São Paulo: SENAC, 2002. 272 p.
- REJOWSKI, M.; YASOSHIMA, J.R.; STIGLIANO, B.V.; SILVEIRA, A.S. Desenvolvimento do turismo. In: REJOWSKI, M. (org.) **Turismo no percurso do tempo**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Aleph, 2005. p.43-74.
- RUSCHMANN, D.V. de M. **Turismo e planejamento sustentável**: a proteção do meio ambiente. 11.ed. Campinas: Papirus, 2004. 199 p.
- SÁ, A.A.; BRILHA, J.; CACHÃO, M.; COUTO, H.; MEDINA, J.; ROCHA, D.; VALÉRIO, M.; RÁBANO, I.; GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. Geoparque Arouca: um novo projecto para o desenvolvimento sustentado baseado na conservação e promoção do patrimônio geológico. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA, 6, 2006, Evora. **Anais**. Evora: Soc. Geologica de Portugal, 2006. p.893-896.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.3, p.551-564, 2007.
- SILVA, J.R.B. da; PERINOTTO, J.A. de J. O geoturismo na geodiversidade de Paraguaçu Paulista como modelo de geoconservação nas estâncias. **Global Tourism**, Ourinhos, v.3, n.2, p.1-40, 2007.
- SIGEP – COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS. **Sítios publicados**. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitios.htm#7>>. Acesso em 2 abr. 2013.
- SWARBROOKE, J. **Turismo sustentável**: conceitos e impacto ambiental. 3.ed. Tradução Esther Eva Horovitz. São Paulo: Aleph, 2002. 140 p.
- THOMAS, K. **O homem e o mundo natural**: mudanças de atitude em relação às plantas e aos animais, 1500-1800. Tradução João Roberto Martins Filho. São Paulo: Companhia das letras, 2001. 454 p.



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

UNESCO. **Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural**. Disponível em: < <http://whc.unesco.org/archive/convention-pt.pdf>>. Acesso em: 13.ago.2013.

UNESCO. **Convenção para a salvaguarda do patrimônio cultural imaterial**.

Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001325/132540por.pdf>>. Acesso em: 13.ago.2013.

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

WILLIAMS, P.W. **World heritage caves and karst**. Gland: IUCN, 2008. 57p.







2. ESPELEOLOGIA

AUTORES: LUÍS B. PILÓ E AUGUSTO AULER
INSTITUTO DO CARSTE

2.1 INTRODUÇÃO À ESPELEOLOGIA

2.1.1 Introdução

O presente documento tem como principal objetivo traçar um panorama introdutório ao estudo das cavernas. Inicialmente serão apresentados os principais conceitos, incluindo algumas características das cavernas e do carste. Em seguida, serão avaliadas as potencialidades das cavernas no Brasil, assim como as principais áreas de ocorrência.

2.1.2 Definições e algumas características das cavernas e do carste

A definição mais utilizada internacionalmente para caverna consiste em uma abertura natural formada em rocha abaixo da superfície do terreno, larga o suficiente para a entrada do homem. Esta definição é adotada pela União Internacional de Espeleologia - UIS, órgão que congrega as instituições nacionais de espeleologia. Trata-se de uma definição claramente antropogênica e, em certos casos, indesejável. Em termos científicos adotam-se definições distintas. Sob o ponto de vista de um pequeno troglóbio, um reduzido canal pode constituir-se em caverna. O mesmo ocorre sob o ponto de vista da hidrogeologia, já que grandes volumes de água podem fluir por dutos muito estreitos para serem acessados pelo ser humano.

Segundo o Decreto Nº 6.640, de 07/11/2008, "cavidade natural subterrânea é todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante".

As cavernas tendem a ocorrer, principalmente, nos denominados terrenos cársticos, ou seja, áreas onde a litologia predominante compreende rochas solúveis. Mas em outras áreas, que não as cársticas, também podem ocorrer cavernas. A palavra karst, que foi aportuguesada para carste, é a forma germânica da palavra servo-croata kras, cujo significado original é terreno rochoso, desnudo, característica de uma região situada no nordeste da Itália e no noroeste da Eslovênia. Tal região é considerada entre os especialistas como o carste clássico, já que foi ali a primeira vez que esse tipo de relevo foi descrito e estudado, a partir da segunda metade do século 19.

Quando se fala em paisagem cárstica, algumas características são determinantes. Esse tipo de paisagem peculiar está associado a rochas carbonáticas (particularmente calcários e dolomitos), podendo se referir também a paisagens similares em outras rochas



solúveis. O processo principal de formação desse relevo é a dissolução da rocha através do tempo geológico.

Essa característica é bem típica do carste, pois a grande maioria das paisagens é modelada principalmente por processos erosivos. Também apresenta um conjunto de formas típicas, tais como dolinas (depressões fechadas), vales cegos, paredões, abrigos rochosos, lapiás (sucos, ranhuras e canais de dissolução na rocha) e sumidouros (onde a drenagem superficial adentra para o meio subterrâneo através de condutos). Por último, predomina uma drenagem subterrânea, efetuada através de um sistema de condutos ou fendas alargadas na rocha, ou seja, através de galerias subterrâneas, que não são visíveis na superfície.

O sistema cárstico compreende, em linhas gerais, o ambiente externo, denominado por alguns como exocarste (ou simplesmente carste superficial), marcado por formas superficiais geradas primordialmente pelo ataque químico de águas meteóricas, e o domínio subterrâneo (endocarste ou carste subterrâneo), representado por cavidades subterrâneas, geradas pela dissolução por águas subterrâneas de origem diversa. Um terceiro domínio, o epicarste, pode também ser reconhecido, dizendo respeito à zona logo abaixo da superfície,

englobando o contato entre o solo, quando existente, e a rocha calcária (Figura 2.1).

Alguns autores têm usado o termo pseudocarste para se referir as paisagens que apresentam feições semelhantes às cársticas, tais como cavernas, dolinas e escarpas rochosas. No entanto, essas feições não são formadas sobre típicas rochas solúveis como em um verdadeiro carste. Por exemplo, as depressões do tipo doliniformes e cavernas da Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, desenvolvidas em rochas ferríferas (minério de ferro e canga), foram denominadas de pseudocársticas por Maurity & Kotschoubey (1995).

Atualmente existe uma tendência para incluir as rochas silicatadas, particularmente os quartzitos e arenitos, no grupo das rochas carstificáveis. Essa propensão deriva de demonstrações de que a dissolução da sílica, anteriormente considerada de baixa solubilidade, tem tido um papel importante na confecção de morfologias superficiais e subterrâneas tipicamente cársticas. Bons exemplos da ação efetiva desses processos podem ser observados na região quartzítica do Roraima venezuelano e na região do Parque Estadual do Ibitipoca, em Minas Gerais.

Salienta-se que uma indefinição ainda existente dentro dessa discussão é saber quais

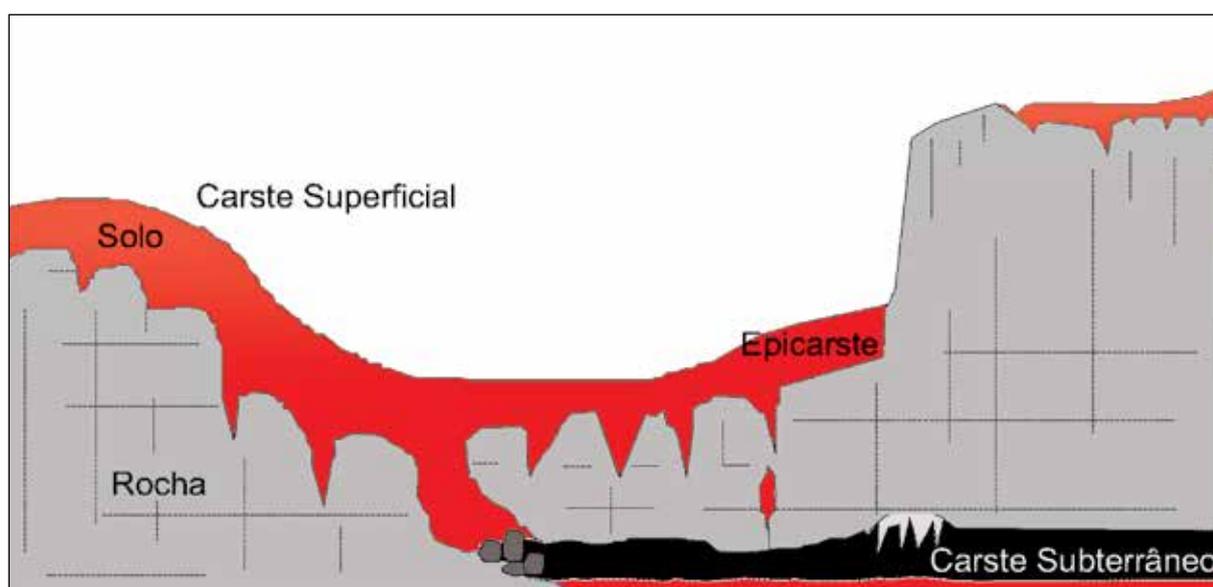


Figura 2.1: Perfil esquemático do sistema cárstico compreendendo o carste superficial, o epicarste e o carste subterrâneo (cavernas).



os critérios que qualificam uma paisagem como sendo cárstica. Para alguns autores, é necessário que o transporte de massa em solução seja mais importante que o transporte de massa por outros processos. No entanto, tais mecanismos, no contexto da dinâmica da paisagem, são marcados por descontinuidades, geralmente de difícil mensuração. Por exemplo, ainda sabemos pouco sobre os processos de dissolução na geração de cavernas nas formações ferríferas de Minas Gerais e do Pará.

2.1.3 Potencialidades das cavernas no Brasil

Cerca de 90% das cavernas reconhecidas em todo o mundo desenvolvem-se em rochas carbonáticas. No Brasil, no entanto, devido a fatores ainda pouco conhecidos, mas seguramente envolvendo variáveis geomorfológicas e climáticas, arenitos e quartzitos são também muito susceptíveis a formação de cavernas. Mais recentemente, a constatação de que áreas de minério de ferro e canga são extremamente favoráveis à formação de cavernas, adicionou mais um componente ao mosaico espeleológico brasileiro. Ocorrem também, embora em menor escala, cavernas em granito, gnaise, rochas metamórficas variadas como micaxistos e filitos, além de coberturas de solos.

Até o momento, cerca de 10.000 cavernas encontram-se registradas nos cadastros espeleológicos existentes no país. Esses cadastros abrangem principalmente informações coletadas por grupos amadores de espeleologia. No entanto, muitas cavernas identificadas

ainda não foram incluídas nos cadastros espeleológicos, seja porque o trabalho foi realizado no âmbito profissional, encontrando-se arquivado nas próprias empresas executoras ou nos órgãos ambientais, seja simplesmente porque não houve interesse em se efetuar o cadastramento no caso de grupos ou indivíduos amadores. Desta forma, o número total de cavernas identificadas até o momento no Brasil deve ser superior ao referido número, com um incremento provavelmente da ordem de algumas centenas de novas cavernas por ano.

A Tabela 2.1 apresenta, de forma preliminar, baseado no conhecimento atual e na experiência pessoal dos autores, o número de cavernas identificadas até o momento em cada litologia e o provável potencial espeleológico (grutas existentes, porém ainda não identificadas). Essa tabela deve ser considerada apenas como um referencial, uma ordem de grandeza de valores a servirem de parâmetro para a construção de um modelo de potencial espeleológico para nosso país.

A Tabela abaixo torna evidente o enorme potencial espeleológico de nosso país. O alto percentual de cavernas reconhecidas em minério de ferro e canga deve-se aos intensivos esforços de prospecção realizados nessas áreas durante os Estudos de Impacto Ambiental visando a instalação de empreendimentos minerários. As minas de minério de ferro, nesse momento, estão em plena expansão, tendo em vista que o mercado asiático está muito aquecido.

Tabela 2.1: Estimativa (ordem de grandeza) do potencial espeleológico brasileiro em relação a cavernas conhecidas e litologia.

Litologia	Número de cavernas conhecidas	Provável potencial (cavernas ainda não conhecidas)	Porcentagem de cavernas conhecidas
Carbonatos	7.000	> 150.000	< 5%
Quartzitos	400	> 50.000	< 1%
Arenitos	400	> 50.000	< 1%
Minério de ferro	2.000	> 10.000	< 20%
Outras litologias	200	> 50.000	< 0,5%

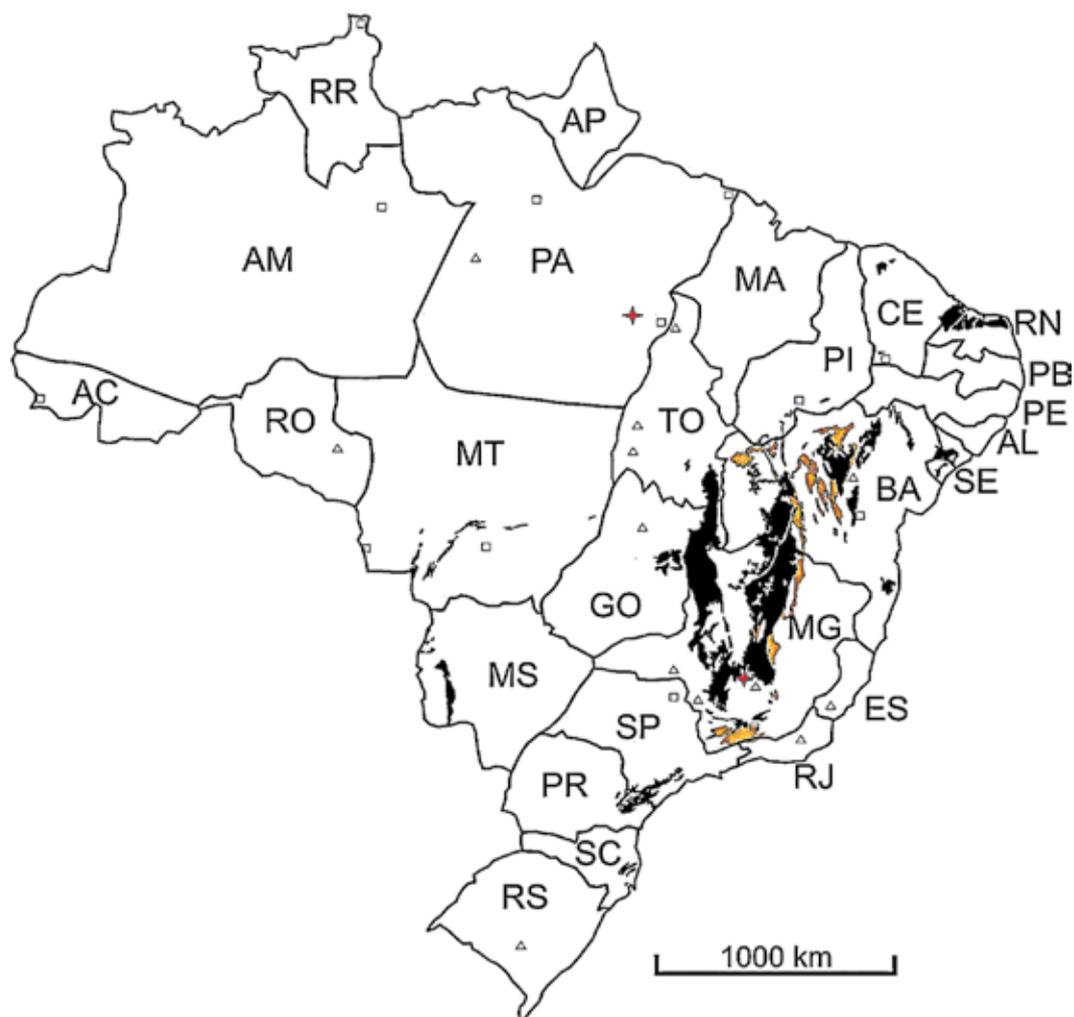


Figura 2.2: Mapa mostrando as principais litologias que apresentam cavernas. Rochas carbonáticas estão representadas em preto. Rochas quartzíticas estão representadas em laranja. Áreas carbonáticas de pequena extensão estão representadas por triângulos. Outras litologias que apresentam cavernas estão representadas por quadrados. Áreas de minério de ferro que apresentam cavernas estão representadas por estrelas vermelhas.

A Figura 2.2 apresenta as principais áreas carbonáticas do Brasil (em preto) e também as principais áreas quartzíticas que apresentam cavernas (em laranja). Também representadas estão áreas carbonáticas de pequena extensão (triângulos) e áreas em outras litologias (principalmente arenitos) onde se conhecem cavernas (quadrados).

As regiões areníticas, apesar de apresentarem considerável potencial espeleológico, tendem a não apresentar conflitos em relação à atividade minerária, não estando, pois, representadas na figura. Áreas em minério de ferro estão representadas por estrelas vermelhas.

O potencial espeleológico do Brasil é, ainda, enorme. Parece seguro afirmar que, hoje, menos de 5% das cavernas existentes tenham sido identificadas. Nosso potencial espeleológico situa-se seguramente na faixa de algumas centenas de milhares de cavernas. Apenas a título comparativo, em países mais desenvolvidos na identificação e exploração de cavernas, como Itália e França, com áreas equivalentes ao estado de Minas Gerais, cerca de 40 mil cavernas são conhecidas. A ausência de pesquisa, pequeno número de espeleólogos, dificuldades de acesso, dentre outros motivos, justificam o reduzido conhecimento que ainda temos do potencial espeleológico brasileiro.



2.1.4 Principais áreas contendo cavernas no Brasil

A maior ocorrência de rochas favoráveis à formação de cavernas no Brasil é representada pelos calcários e dolomitos do Grupo Bambuí, que se desenvolvem desde o sul de Minas Gerais até o centro-oeste da Bahia, passando também pelo leste de Goiás. Inserida nos calcários Bambuí encontra-se, entre outras, a região de Lagoa Santa, berço da espeleologia brasileira, com mais de 700 grutas registradas (Figura 2.3); a região de Arcos e Pains, também com centenas de cavernas conhecidas, e a região do vale do Rio Peruaçu, com a magnífica Gruta do Janelão (Figura 2.4) e vários sítios arqueológicos.

No estado de Goiás destaca-se a região de São Domingos, com várias enormes cavernas percorridas por rios caudalosos, e a região de Mambáí, também com um grande número de cavidades importantes. No estado da Bahia destaca-se a Serra do Ramalho e seus arredores, com várias cavernas importantes, entre elas a Gruta do Padre, com 16,3 km de extensão, a terceira maior caverna do país, e a região

de São Desidério, comportando algumas das cavernas com maior espaço interno do país.

Os calcários e dolomitos do Grupo Una ocorrem a partir da região central da Bahia, estendendo-se até o norte do estado. Duas áreas concentram as principais cavernas de interesse: a região da Chapada Diamantina, com várias cavernas de grande extensão e beleza, como a Lapa Doce, e a região de Campo Formoso, que abriga as duas maiores cavernas do país, a Toca da Boa Vista (Figura 2.5) e a Toca da Barriguda (Figura 2.6), respectivamente com 108 km e 30 km de extensão. Muito próximo destas duas cavernas existem afloramentos do calcário Caatinga, que apresentam algumas cavernas importantes, entre as quais a ampla Gruta do Convento.

No sul do Estado de São Paulo e no Paraná afloram os calcários e dolomitos do Grupo Açungui. É uma região de grande beleza, que contém mais de 300 cavernas. No lado paulista, a maior concentração está no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), com algumas das cavernas mais ornamentadas do país, como a Caverna Santana. Próximo ao



Figura 2.3: Maciço calcário onde se localiza a Lapa do Sumidouro, na região cárstica de Lagoa Santa (Foto Ataliba Coelho)



Figura 2.4: Gruta do Janelão, no Parque Nacional do Peruaçu.

PETAR, o Parque Estadual de Jacupiranga abriga a Caverna do Diabo, parcialmente adaptada para o turismo, com amplos salões extremamente ornamentados. O lado paranaense do Grupo Açungui possui muitas grutas, embora de menores dimensões. Em Santa Catarina ocorrem os calcários do Grupo Brusque, apresentando como principal caverna a Gruta de Botuverá, no município de mesmo nome.

No oeste do país ocorrem calcários e dolomitos do Grupo Corumbá e do Grupo Araras. Os primeiros ocorrem principalmente no

Estado do Mato Grosso do Sul, nos arredores da Serra da Bodoquena, apresentando belas cavernas alagadas, principalmente nas proximidades da cidade de Bonito. O Grupo Araras, por sua vez, predomina no Mato Grosso e também apresenta muitas grutas, principalmente próximo a Nobres. Em Rondônia, no Pará e no Amazonas ocorrem alguns afloramentos de calcário. Os mais importantes situam-se próximos a Itaituba, no Pará, onde a recente colonização tem levado à descoberta de algumas cavernas de importância.

No nordeste do Brasil afloram os calcários do Grupo Apodi, que, apesar de possuírem muitas cavernas, ainda não nos revelaram grutas de grande porte. No Estado do Ceará, os calcários do Grupo Ubajara possuem ocorrência restrita, apresentando poucas cavernas conhecidas, entre elas a famosa Gruta de Ubajara. Várias ocorrências de menor porte de calcários e dolomitos existem em todo o Brasil. Algumas aparentam possuir pouco potencial ao passo que outras, em locais mais remotos, ainda não foram adequadamente exploradas por espeleólogos.

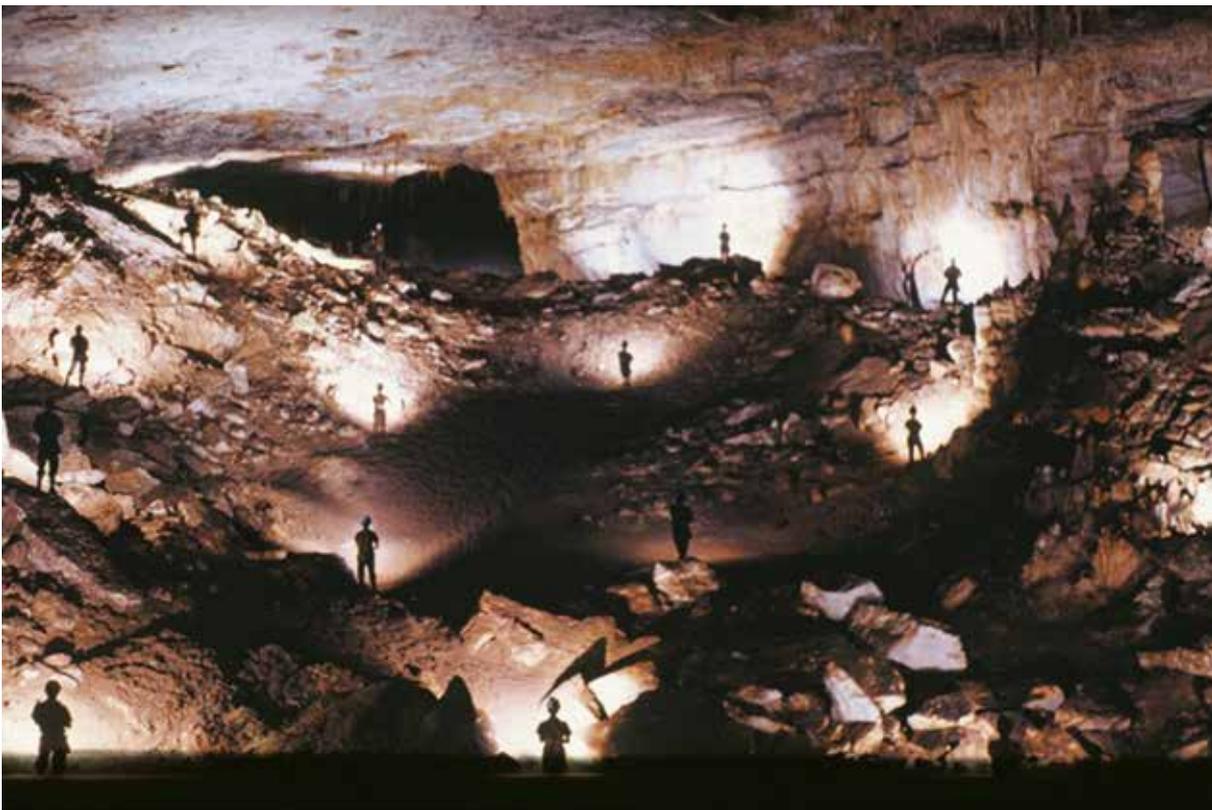


Figura 2.5: Grande Salão na Toca da Boa Vista (Foto Ezio Rubbioli).





Figura 2.6: Galeria na caverna Barriguda (Foto Ezio Rubbioli).

O potencial brasileiro em termos de cavernas em quartzito é enorme. O Brasil possui algumas das maiores e mais profundas cavernas do mundo neste tipo de rocha. Numa pequena área no centro de Minas Gerais, o Pico do Inficionado, encontra-se três das mais profundas cavernas conhecida neste tipo de rocha, a Gruta do Centenário (Figura 2.7), com 484 m de desnível e 3.800 m de extensão é a segunda mais profunda do país. A terceira e a quarta caverna mais profunda do país, a Gruta da Bocaina (Figura 2.8) e a Gruta Alaouf, respectivamente com 404 m e 294 m de desnível, também se localizam no Pico do Inficionado.

As regiões do Parque Estadual de Ibitipoca, de Carrancas e de Luminárias, no sul de Minas Gerais, também apresentam um rico acervo de cavernas quartzíticas. Outra área de importante concentração de cavernas deste tipo é a região da Chapada Diamantina, na Bahia. Várias regiões, principalmente no nordeste e no sudeste, apresentam cavernas quartzíticas de importância. No estado do Amazonas, a pouco conhecida Serra do Araçá, contém a mais profunda caverna quartzítica do Brasil e do mundo, o Abismo Guy Collet, com 670 m de desnível. Cavernas areníticas são bastante frequentes em todo o território nacional. Existem importantes concentrações na Chapada dos Guimarães (MT), em São Paulo, no Paraná e no interior do Piauí, além de muitas cavernas de grande porte dispersas em várias regiões da Amazônia.

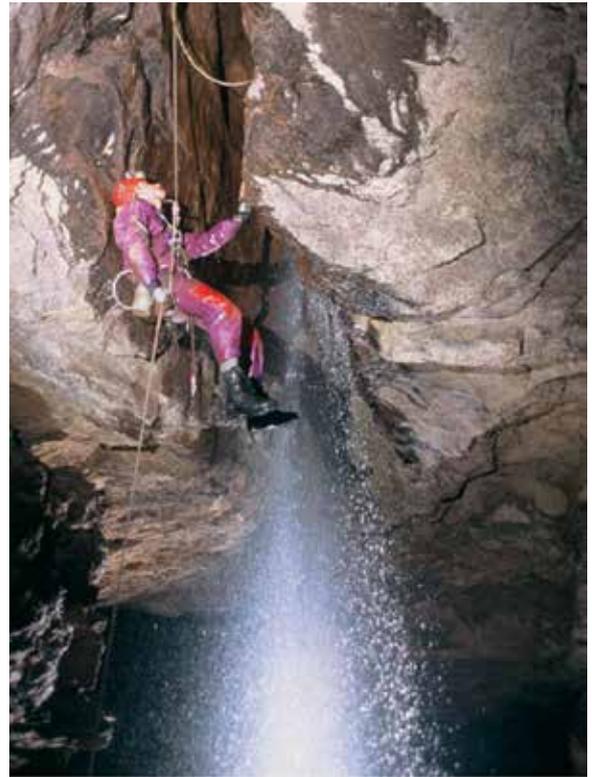


Figura 2.7: Gruta do Centenário (Foto Ezio Rubbioli).

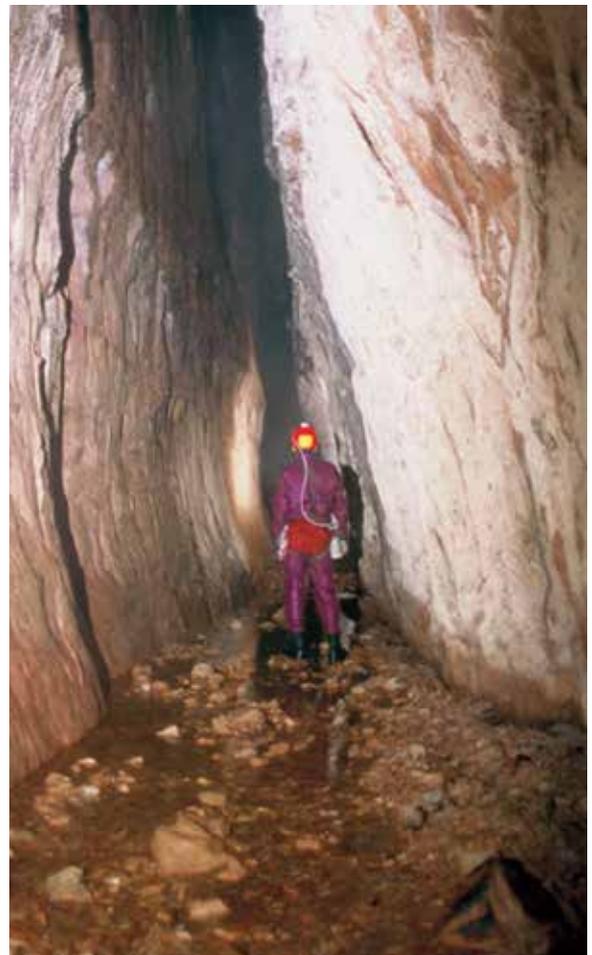


Figura 2.8: Gruta da Bocaina (Foto Ezio Rubbioli).



Figura 2.9: Cavernas em minério de ferro e canga no Quadrilátero Ferrífero.

Ocorre ainda um grande número de cavernas em rochas como minério de ferro e canga, nas regiões ao sul de Belo Horizonte (Quadrilátero Ferrífero) e na Serra dos Carajás, no Pará. São cavernas na sua maioria, pequenas, com média em torno dos 25 m de extensão. No entanto, já foram registradas cavernas em minério de ferro com mais de 300 m, além de importantes volumes subterrâneos, tanto em Carajás como no Quadrilátero Ferrífero.



Figura 2.10: Cavernas em minério de ferro e canga no Quadrilátero Ferrífero.

No Brasil ainda ocorrem cavernas em granito, gnaiss e bauxita, entre outras. São em geral cavernas de pequeno porte. Uma exceção é a Gruta dos Ecos em Cocalzinho, Goiás, inserida em sua maior parte em micaxistos, e que possui 1.600 m de extensão.

2.1.5 A importância das cavernas e do carste

Com a revelação das cavernas brasileiras pelos viajantes, a partir do século 19, é possível chegar à clara compreensão de que muitas delas contêm registros cheios de significado, além de abrirem vários caminhos para uma melhor compreensão do passado. Ou seja, essas cavernas são merecedoras de conservação.

Desde o trabalho pioneiro do naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund (Figura 2.11), na primeira metade do século 19, as cavernas têm fornecido importantes registros fossilíferos, os quais têm formado a base das pesquisas sobre a paleontologia de vertebrados do Pleistoceno brasileiro. Esses



documentos paleobiológicos revelam-se fundamentais para o conhecimento taxonômico, anatômico e paleoecológico dos mamíferos quaternários do Brasil.



Figura 2.11: naturalista dinamarquês Peter Lund, considerado o “pai da paleontologia brasileira”

Cavernas com depósitos fossilíferos são frequentes em diversas regiões brasileiras, dentre as quais Lagoa Santa, em Minas Gerais, São Raimundo Nonato, no Piauí, sertão e região central da Bahia, região do Ribeira, em São Paulo, dentre outras. Nesses sítios jazem ossadas de animais como preguiça-gigante, mastodonte, gliptodonte, tigre dente de sabre, entre outros. É fascinante.

As idades obtidas tanto pelo C-14 quanto pelo método U/Th demonstram uma grande variabilidade temporal dos fósseis encontrados nas cavernas, que se estende do Pleistoceno Médio ao limiar do Holoceno. Ossadas de animais extintos mais recentes datadas na região de Lagoa Santa (preguiça e tigre dente-de-sabre) acusaram idades em torno de nove mil anos. Contrariamente ao que se pensava até recentemente, a deposição dos fósseis nas cavernas não se deu em apenas um momento específico. Muito pelo contrário, foram vários os episódios de deposição de fósseis nas cavernas brasileiras.

A relação entre arqueologia e as cavernas também é evidente, tendo em vista que esse



Figura 2.12: Esqueleto articulado de preguiça-gigante em caverna da Bahia.

meio é favorável a preservação de vestígios arqueológicos (menor umidade, menor iluminação e temperaturas mais estáveis). São inúmeros os paredões e entradas de cavernas que registram usos diferenciados como abrigo, moradia, palco de rituais, cemitério e suporte para a arte do homem pré-histórico, destacando-se as regiões de Lagoa Santa, em Minas Gerais, São Raimundo Nonato, no Piauí, Médio São Francisco (Januária até Montalvânia), Monte Alegre Serra dos Carajás, no Pará, dentre outras áreas.

Os ambientes cársticos certamente influenciaram a vida dessas populações. Um aspecto interessante é que embora dotados de particularidades culturais e inscritos em um diversificado quadro fitoecológico (florestas estacionais de domínio atlântico, formações decíduais de mata seca, incluindo a caatinga, os cerrados e a floresta ombrófila), essas populações pré-históricas mantiveram a característica não predatória no contato e uso da entrada das cavernas ou abrigos rochosos do Brasil.

No momento, a região de Lagoa Santa, em Minas Gerais e, São Raimundo Nonato, no Piauí, guardam os mais antigos registros dessas culturas, que datam em mais de 11 mil

anos B.P. Salienta-se, ainda, que a contemporaneidade do homem pré-histórico com os megamamíferos extintos foi aventada nas cavernas de Lagoa Santa, inicialmente por Peter Lund, em 1844. Recentemente, fragmentos ósseos de uma preguiça-gigante (*Scelidodon cuvieri*) e do temido tigre dente de sabre (*Smilodon populator*), encontrados nas cavernas de Lagoa Santa, foram datados respectivamente em 9.990 e 9.130 anos B.P., o que veio reforçar a tese da coexistência entre o homem pré-histórico e os animais pertencentes à megafauna extinta (Neves & Piló, 2003). Até o momento, no entanto, não há no registro arqueológico brasileiro qualquer evidência clara de que os primeiros humanos fizeram uso, como recurso alimentar, ou como fonte de matéria prima, dos grandes mamíferos extintos.

Foi também nas cavernas que se concentraram as ossadas dos mais antigos brasileiros. O esqueleto de "Luzia", exumado no abrigo rochoso de Lapa Vermelha IV, em Lagoa Santa, encontra-se posicionado em camadas sedimentares superiores a 11.000 anos B.P., sendo considerado o esqueleto mais antigo das Américas. Esse grupo pré-histórico, que usou intensamente as entradas das cavernas



Figura 2.13: Restos humanos sendo exumados na Lapa do Santo, Carste de Lagoa Santa (Foto Ataliba Coelho)



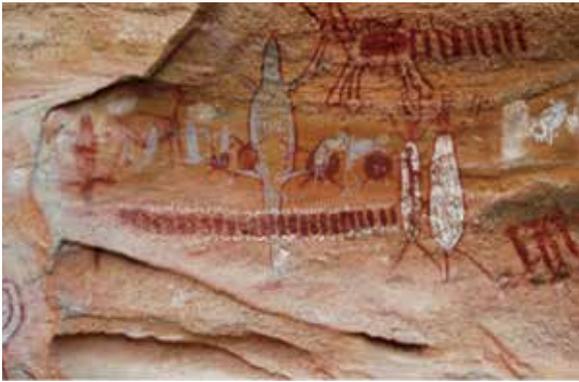


Figura 2.14: Manifestação rupestre em São Raimundo do Nonato, no Piauí.

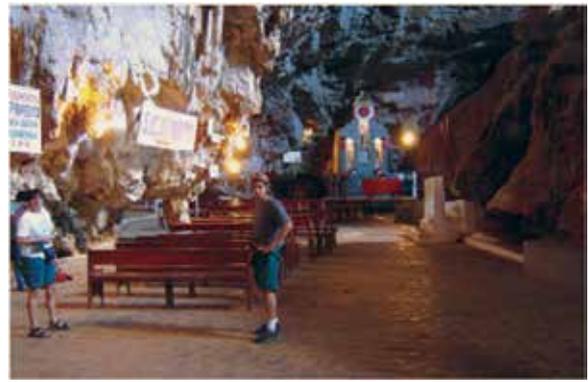


Figura 2.15: Lapa de Bom Jesus, na Bahia.

da região, é caracterizado por crânios estreitos e longos, faces estreitas e baixas, assim como órbitas e cavidades nasais também baixas, apresentando grande semelhança com a morfologia craniana dos nativos australianos e dos africanos atuais.

Os sítios geomorfológicos que guardam registros paleoambientais passíveis de datações absolutas estão posicionados nas calhas fluviais, nos horizontes orgânicos enterrados, terraços e várzeas, nos paleosolos preservados nas vertentes e, particularmente, nos depósitos químicos das cavernas. Datações nesses depósitos, denominados de espeleotemas, pelo método U/Th, que cobre um período de poucos milhares de anos até 500 mil anos, têm colocado os depósitos de cavernas brasileiras como verdadeiros arquivos paleoclimáticos.

Registros das razões isotópicas de oxigênio e carbono em espeleotemas, datados pelo método U/Th, consolidaram-se nos últimos anos como um dos melhores indicadores paleoclimáticos de regiões (sub) tropicais. As cavernas brasileiras já demonstram grande potencial para tais estudos isotópicos. Um desses estudos, efetuados nas cavernas do nordeste e liderado por Francisco William da Cruz Júnior, do IG-USP, tem revelado o início do clima semiárido no Nordeste, há cerca de 4 mil anos.

Isso ocorreu em razão de um deslocamento periódico do eixo de rotação da Terra que fez com que o hemisfério Sul começasse a receber mais radiação solar do que o hemisfério Norte. Quando começou o período mais seco,

a maioria das estalagmites parou de crescer.

Quanto aos aspectos históricos, as primeiras referências sobre as formas superficiais e subterrâneas do relevo cárstico foram feitas através dos relatos de naturalistas e viajantes que percorreram o interior de Minas Gerais no século 19 e limiar do século 20. Narrativas da riqueza e singularidade das grutas e formações cársticas podem ser apreciadas nos trabalhos de Peter Lund, Spix & Martius, J.W. Wells, H. Burmeister, dentre outros. Destacasse, ainda, que o estudo sistemático das cavernas como campo de atuação e conhecimento, no Brasil, teria início em Ouro Preto, com a criação da SEE - Sociedade Excursionista e Espeleológica dos Alunos da Escola de Minas, em 1937.

O carste também tem se destacado por seu aspecto ecológico. O trabalho do botânico dinamarquês E. Warming na região cárstica de Lagoa Santa, no século passado (1863 a 1866), é reconhecido como o primeiro tratado sobre ecologia vegetal, no qual foram analisadas e identificadas mais de 2.600 espécies vegetais.

As cavernas também vêm servindo palco de diversas manifestações religiosas, sendo muitas vezes, transformadas em verdadeiros santuários, principalmente na região central do Brasil. Dentre as mais visitadas estão a Gruta Mangabeira (Figura 2.15 na página seguinte), Lapa do Bom Jesus e Gruta dos Brejões, na Bahia, Lapa de Antônio Pereira (Figura 2.16 na página seguinte) e Lapa Nova, em Minas Gerais e a de Terra Ronca, em Goiás.



Figura 2.16: Lapa de Antonio Pereira, em Minas Gerais.

As atividades econômicas também apresentam expressivo valor no domínio cárstico. As principais formas dessas atividades são: agropecuária, exploração de recursos minerais (água, calcário, minério de ferro, argila, mineralizações), aproveitamento hidrelétrico, utilização de recursos florestais e turismo.

Diante do exposto, nota-se que são muitos os atributos que dão as paisagens cársticas e as cavernas uma expressiva significância no mosaico paisagístico brasileiro. Salienta-se um importante conjunto de elementos naturais e culturais, digno de análise de valoração. Por outro lado, o carste e as cavernas têm peculiaridades que os colocam mais vulneráveis às interferências humanas mal planejadas, as quais podem gerar impactos adversos e degradação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAURITY, Clóvis; KOTSCHOUBEY, B. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas.** Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra 7, 1995. p 331-362.

NEVES, Walter Alves ; PILÓ, Luís B. **Solving Lund´s dilemma: new AMS dates confirm that humans and megafauna coexisted at Lagoa Santa.** Current Research in the Pleistocene, Michigan, v. 20 p. 57-60, 2003.

PILÓ, Luís B. **Geomorfologia Cárstica.** Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, 2000 v. 1, n. 1, p. 88-102.







3. GEOESPELEOLOGIA

AUTORES: LUÍS B. PILÓ E AUGUSTO AULER
INSTITUTO DO CARSTE

3.1 O CARSTE E AS CAVERNAS

As cavernas não estão isoladas na paisagem. Elas fazem parte de um relevo bastante particular denominado relevo cárstico. O nome carste se origina de uma região calcária na fronteira entre a Eslovênia e a Itália denominada localmente de Kras. A partir daí o termo se internacionalizou, passando a designar todas as regiões que apresentam feições semelhantes. Dentre as peculiaridades das regiões cársticas podemos mencionar a ausência de rios superficiais, já que a maior parte da água corre em condutos subterrâneos, o fato da rocha (normalmente calcários e dolo mitos, mas também sal, gesso, arenitos e quartzitos) ser dissolvida por água ácida gerando feições como lapiás, dolinas, sumidouros, surgências, cavernas dentre muitas outras.

O processo básico que provoca a geração das formas cársticas em regiões calcárias pode ser sintetizado pela equação:



A água de chuva absorve dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e se torna ácida devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3). Esta água ao entrar em contato com a rocha já é capaz de dissolver o calcário. Lapiás ou karren correspondem a canalículos ou estrias na rocha (Figura 3.1 e Figura 3.2), por vezes pontiagudos, que são formados pela ação da água ácida da chuva. Esta mesma água, ao penetrar no solo absorve ainda mais dióxido

de carbono associado a raízes de plantas e ao húmus. Ao atingir a rocha a água estará bastante ácida, podendo então dissolver o calcário e alargar as fraturas da rocha.

Dolinas estão entre as formas cársticas mais comuns. Consistem em depressões no terreno por vezes suaves, por vezes abruptas (Figura 3.3 e Figura 3.4). Podem ser formadas pela lenta dissolução de uma fratura, levando ao rebaixamento da superfície da rocha, ou mesmo pelo desmoronamento de uma caverna. Sumidouros e surgências marcam o local onde um rio superficial desaparece na rocha ou surge sob forma de nascente. Já as cavernas são apenas mais uma entre várias feições cársticas, um conduto subterrâneo que transporta a água que se infiltra através de dolinas ou sumidouros. As cavernas fazem parte de um contexto e estão intimamente relacionadas com as outras formas cársticas.

As cavernas podem ser primárias ou secundárias. Cavernas primárias são aquelas formadas simultaneamente às rochas que a contém. O melhor exemplo seriam os tubos de lava, frequentes em regiões vulcanicamente ativas, e ainda não descritas no Brasil. Durante a erupção de um vulcão, a lava (rocha em estado líquido) escorre pelas encostas da montanha. A lava tenderá a se esfriar e solidificar na área externa (contato com o ar) e no contato com o piso da montanha. No entanto, no núcleo a lava continuará a fluir. Quando cessar o suprimento de lava, devido ao término da





Figura 3.1: Maciço calcário intensamente lapiezado. Parque Nacional de Ubajara, Ceará.



Figura 3.2: Lapiás do tipo rinnenkarren na região central da Inglaterra.



erupção ou alteração da rota de escoamento, um conduto tubular será gerado. As cavernas em tubo de lava estão normalmente muito próximas à superfície, sendo por isto muito afetadas por abatimentos. Desta forma, este tipo de caverna tem vida normalmente curta, estando preservada apenas em locais de erupção recente, de até alguns milhares de anos.

No Brasil, as atividades vulcânicas são mais antigas, e qualquer tubo de lava gerado no passado, provavelmente terá sido destruído pela erosão. Outro exemplo de caverna primária seriam as cavernas em tálus. Tálus são zonas de abatimentos, muito frequentes em encostas de morros de granito ou gnaisse. Os recessos entre os blocos podem formar uma série de espaços vazios interconectados. Algumas das maiores cavernas graníticas do país são na verdade cavernas em tálus, como a Gruta do Quarto Patamar na Serra de Paranapiacaba, SP. Cavernas em tálus ocorrem também em quartzito e minério de ferro.

Cavernas secundárias são aquelas geradas após a rocha ter sido formada. Inclui a

maioria esmagadora das cavernas conhecidas, como as cavernas cársticas.

Uma segunda maneira de classificar as cavernas diz respeito à forma de atuação do agente espeleogenético. Duas grandes categorias podem ser diferenciadas. Cavernas exógenas são criadas por meio de agentes que atuam no exterior do maciço rochoso, de fora para dentro. Exemplos típicos seriam as cavernas litorâneas formadas pela erosão de ondas, bastante frequentes em todo o litoral brasileiro, como nos basaltos de Torres, RS, ou a Gruta Que Chora, em Ubatuba, SP.

Cavernas geradas pela ação de ventos são comuns em áreas desérticas, não tendo sido descritas até o momento no Brasil. Outro tipo de caverna exógena são abrigos gerados por erosão lateral de rios. São normalmente de reduzidas dimensões e em litologia variada, estando descritas em vários locais do Brasil. Orifícios ou reentrâncias em rochas graníticas recebem o nome genérico de tafone. Os tafoni (forma plural de tafone) podem ser de grandes dimensões, chegando a formar cavernas.

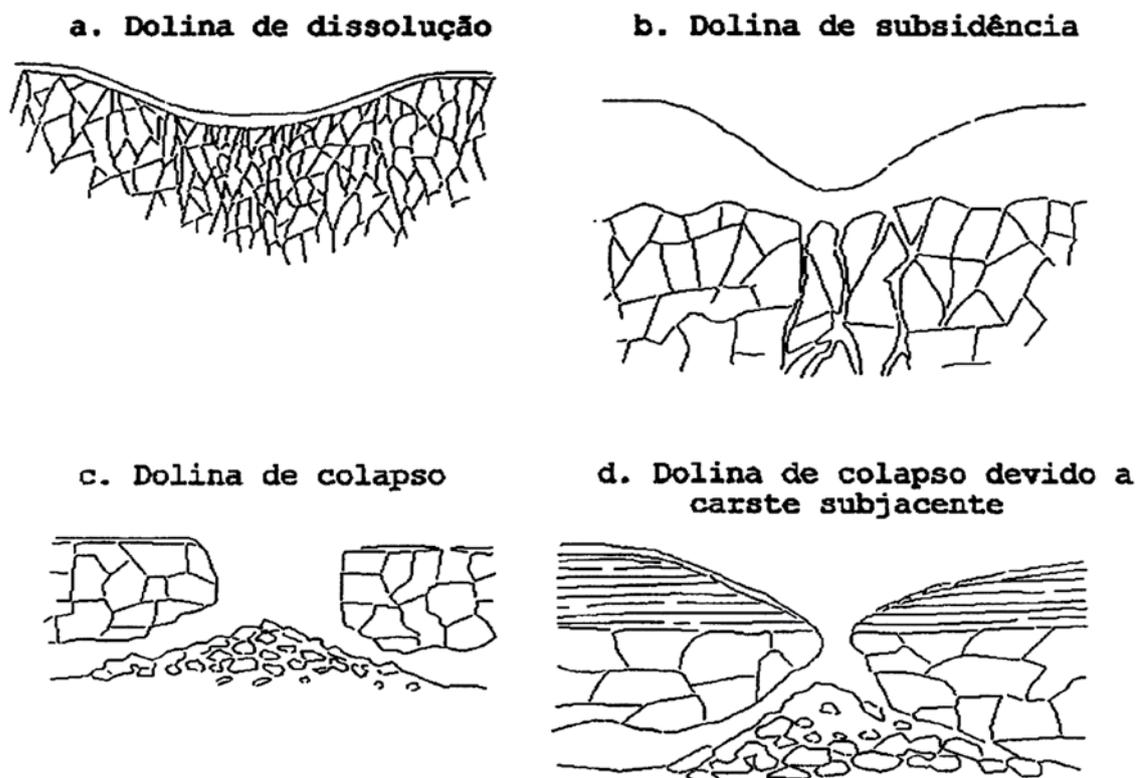


Figura 3.3: Principais tipos de dolinas.



Figura 3.4: Dolina de colapso em zona urbana. Sete Lagoas, MG, 1988.

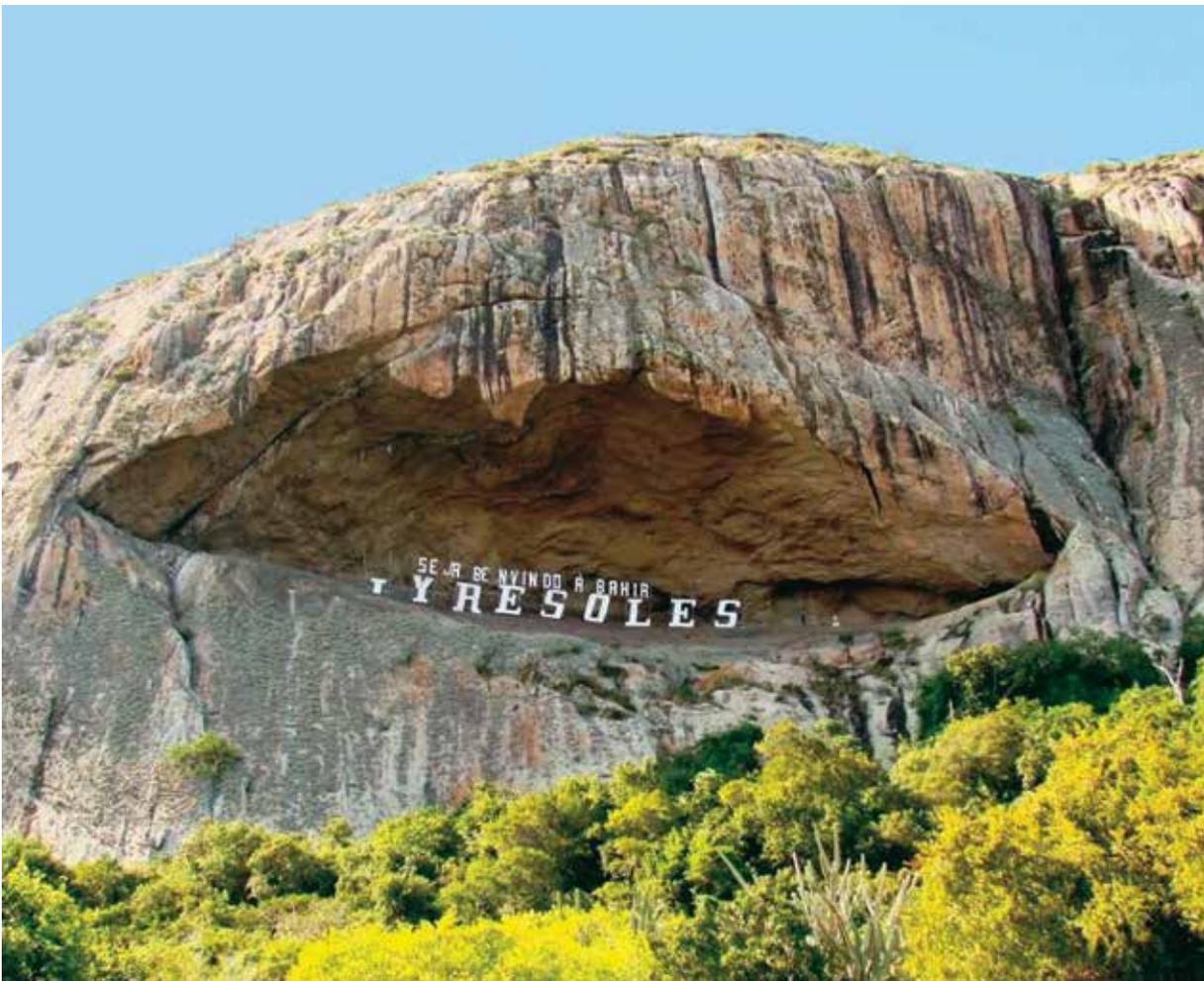


Figura 3.5: Tafoni na região de Milagres/Ititim, Bahia. As letras da palavra Tyresoles possuem cerca de 6 m de altura.



Na região próxima a Milagres, BA, as margens da BR-116, existem belos exemplos de cavidades deste tipo (Figura 3.5). Sua gênese e provavelmente devido à ação física do intemperismo no maciço rochoso. Muitos tafoni não chegam a constituir cavernas, por serem pouco profundas em relação à altura da entrada.

Cavernas endógenas, por outro lado, são formadas primordialmente por agentes atuantes no interior da rocha. Um exemplo seriam as cavernas tectônicas, representadas por fraturas ou falhas abertas pela movimentação natural das camadas rochosas. Outro tipo seriam as cavernas cársticas, formadas pela ação química da água ácida em rochas solúveis. A maioria esmagadora das cavernas existentes no planeta é deste segundo tipo. Trataremos principalmente das cavernas em rochas carbonáticas, que perfazem a maior parte das cavernas conhecidas. Cavidades em outros tipos de rocha, como rochas siliciclásticas (arenitos, quartzitos, conglomerados), e em minério de ferro serão também abordadas.

3.2 ESPELEOGÊNESE EM CAVERNAS EM ROCHAS CARBONÁTICAS

Rochas carbonáticas (calcários, dolomitos, mármore em vários níveis de pureza) possuem a propriedade de serem solúveis ao ataque de águas ácidas. Estas rochas irão concentrar a maior parte das cavernas existentes

no planeta. O dolomito e o mármore são menos solúveis que os calcários. Isto não impede, no entanto, que longas e amplas cavernas se formem nestas rochas. A maior caverna brasileira, a Toca da Boa Vista, com mais de 100 km explorados, se insere em dolomitos. De uma forma geral, os processos envolvidos na gênese de cavernas em rochas carbonáticas são similares nestas três litologias, o que permite que se trate o assunto de uma forma unificada.

As cavernas são "anomalias" na massa rochosa. A maior parte do volume dos carbonatos e essencialmente maciça, não possuindo grandes espaços vazios. Worthington (1991) estima que em carbonatos carstificados, a porosidade devida a cavernas fica entre 0,1-1%. As cavernas estão geralmente condicionadas a certos níveis ou horizontes de desenvolvimento. Lowe (1992) acredita que horizontes de iniciação na rocha condicionam a localização dos condutos e a própria existência da caverna. Estes horizontes podem ser o contato entre rochas solúveis e insolúveis, que segundo Palmer (1991) respondem pelo controle geológico de 18% de todas as cavernas conhecidas.

Algumas grutas no carste do Vale do Ribeira e em Lagoa Santa se posicionam em contatos litológicos. Fraturas (planos de ruptura normalmente verticalizados de origem tectônica, Figura 3.6), falhas (planos de ruptura verticalizados com movimentação relativa entre os lados) e planos de acamamento (plano



Figura 3.6: Dolina de entrada da Gruta do Centenário, Pico do Inficionado, MG, notando-se o intenso fraturamento.

horizontalizado que divide diferentes camadas da rocha) são os horizontes de iniciação mais propícios para a espeleogênese. De acordo com Palmer (1991), 99% das galerias de cavernas estão orientadas segundo estas estruturas. Outros horizontes favoráveis podem ser níveis de minerais sulfetados, níveis de distinta granulometria, horizontes com carstificação pretérita (paleocarste), entre outros.

As diversas formas de recarga da água, a estrutura da rocha, a direção de escoamento da água subterrânea, entre outros fatores, irão influenciar o padrão das cavernas. Em planta,

após o levantamento topográfico, pode-se observar que a configuração espacial das cavernas tende a seguir determinados padrões. Segundo Palmer (1991) existem cinco padrões planimétricos principais de cavernas (Figura 3.7):

- ✦ Cavernas dendríticas constituem o tipo mais comum. Consistem em um conduto de um rio (ativo ou pretérito) principal com condutos laterais se unindo como tributários. A Gruta do Cesário, em Campo Formoso, BA, é um excelente exemplo de caverna dendrítica (Figura 3.8).

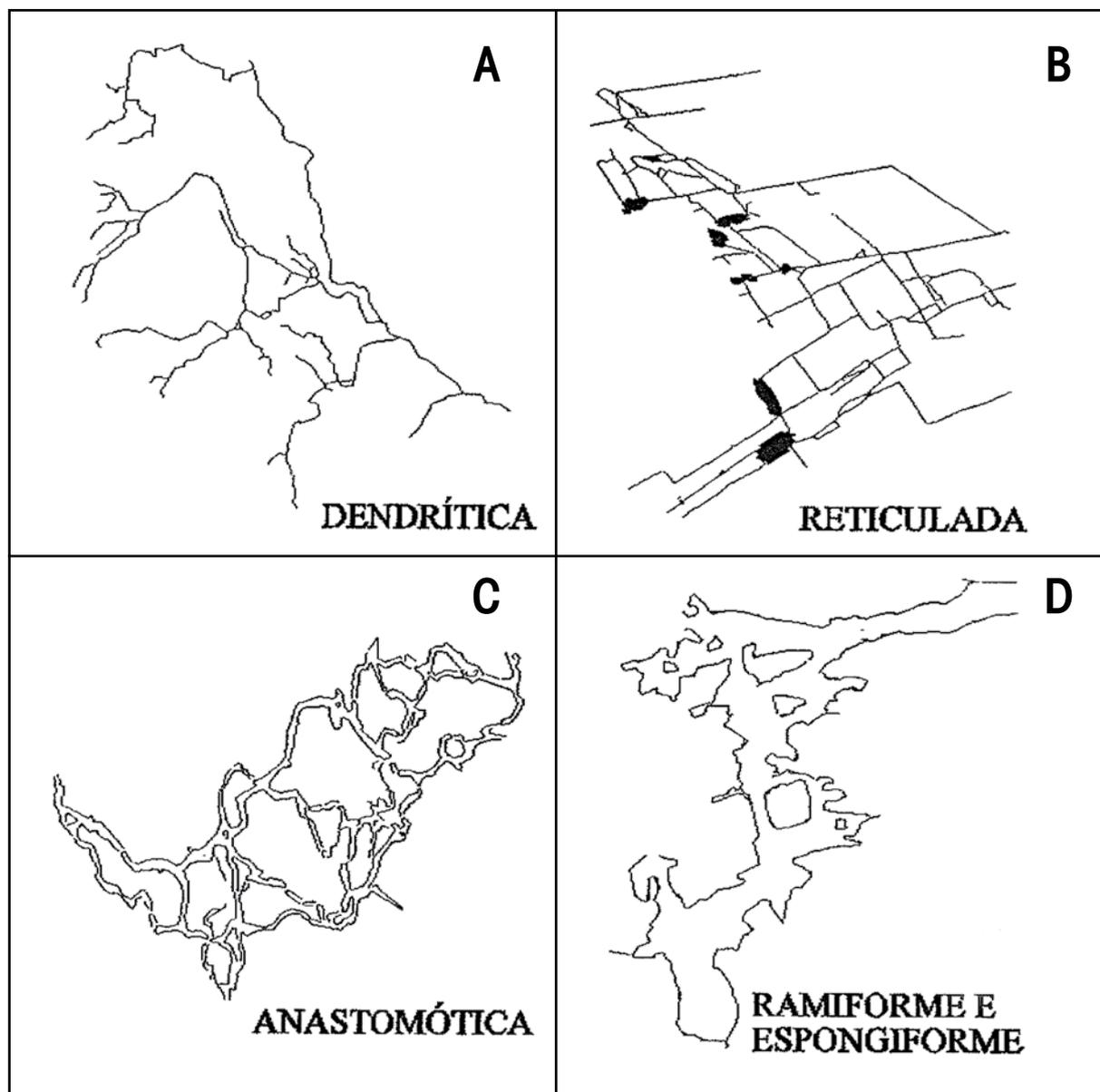


Figura 3.7: Padrões morfológicos de cavernas segundo Palmer (1991).



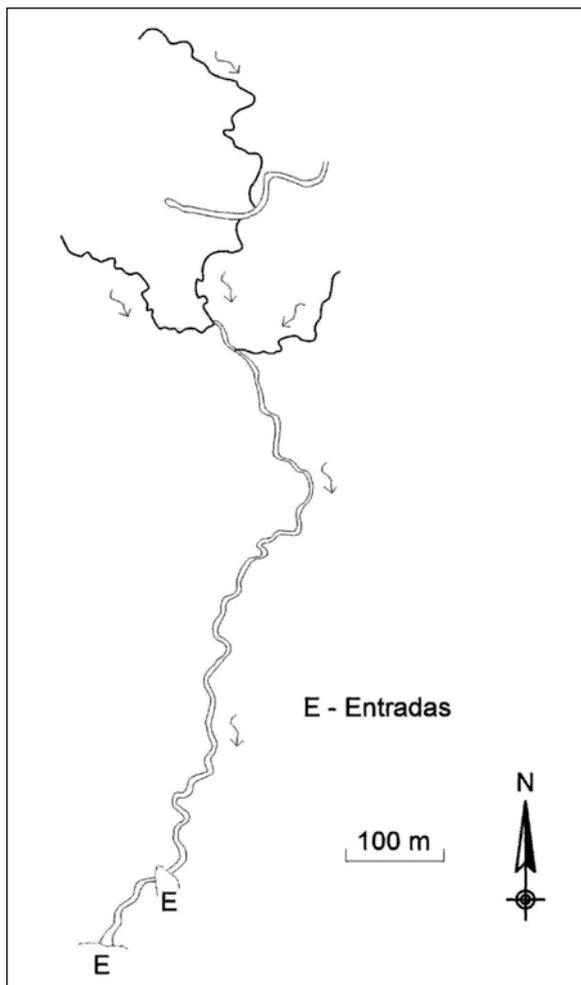


Figura 3.8: Gruta do Cesário, Campo Formoso, BA, uma caverna dendrítica.

- ✎ Cavernas reticuladas possuem galerias condicionadas por fraturas, que se entrecruzam em ângulos determinados pela estrutura da rocha. A Lapa Nova, em Vazante (MG), consiste em exemplo bem conhecido. Cavernas anastomóticas (ou anastomosadas) apresentam diversas galerias curvilíneas que se entrelaçam. A Gruta da Escada, em Matozinhos, MG, exemplifica este padrão.
- ✎ Cavernas espongiiformes se caracterizam por um padrão de salas e condutos de formato irregular, se unindo como os poros de uma esponja. Muitas das cavernas inseridas no calcário da Formação Caatinga possuem este tipo de padrão. Setores labirínticos da Toca dos Ossos, em Ourolândia, ilustram magnificamente este tipo morfológico.
- ✎ Cavernas ramiformes mostram condutos de perfil e seção irregular, se ramificando de forma errática. As cavernas no Grupo Una, na região de Campo Formoso, possuem esta morfologia, como a Toca da Barriguda (Figura 3.9).

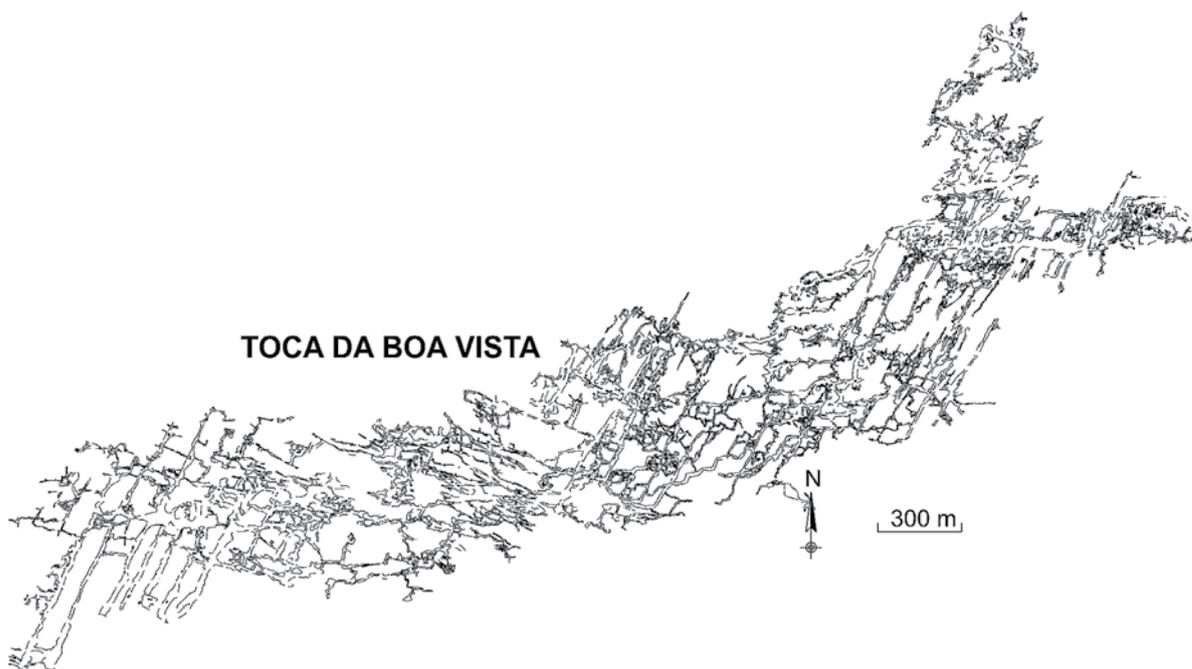


Figura 3.9: Toca da Boa Vista, Campo Formoso, BA, uma caverna reticulada/ramiforme.

Muitas cavernas mostram uma morfologia que abrange mais de um padrão, assim como gradação entre estes padrões podem ser comuns. Da mesma forma, muitas cavernas são apenas fragmentos de outrora grandes sistemas, em que um padrão morfológico não pode ser determinado com precisão. O termo genérico “caverna labiríntica”, muito usado por exploradores e espeleólogos, pode indicar cavernas do tipo espongiforme, ramiforme, reticulado ou mesmo anastomótico, dependendo da densidade de galerias que se interconectam.

Cavernas epigênicas são aquelas geradas pelo fluxo de água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas meteoricas (de chuva ou de rios superficiais). Compreendem a grande maioria das cavernas existentes. No entanto, varias cavernas, incluindo a maior do Brasil e algumas das maiores do mundo, ocorrem devido à ação química de águas ascendendo em profundidade, ou acidificadas no interior do maciço rochoso. Esta categoria recebe o nome de cavernas hipogênicas.

3.2.1 Cavernas Epigênicas

Nas cavernas epigênicas a água se infiltra no maciço rochoso a partir do exterior. A maneira como esta infiltração se dá será importante na definição do padrão das galerias. Em locais onde a infiltração é pontual, como, por exemplo, em um sumidouro ou em fundo de dolina, a tendência será a formação de uma caverna do tipo dendrítica. No caso de uma infiltração difusa, como em uma zona de inundação, cavernas labirínticas do tipo reticulado ou anastomótico podem se formar. Auler (1995) mostrou que boa parte das cavernas do carste de Lagoa Santa são labirintos reticulados formados pela infiltração difusa da água de lagos.

As cavernas podem ocorrer em todos os tipos de zonas hidrológicas. Na zona freática, os condutos tenderão a escolher o percurso mais simples de acordo com o gradiente hidráulico, em direção a zona de descarga. Assim sendo as fraturas e os planos de

acamamento mais propícios serão utilizados. Extensas cavernas se desenvolvem totalmente na zona freática. Um exemplo seria os sistemas quilométricos de cavernas alagadas na Florida, USA. No Brasil, cavernas exploradas por espeleomergulhadores como a Nascente do Rio Formoso, em Bonito, MS ou o Sistema da Pratinha em Iraquara, BA, exemplificam cavernas na zona freática.

Na zona vadosa, um tipo de caverna bastante simples é formado quando a água se infiltra em um abismo e percorre fraturas e planos de acamamento até atingir a zona freática. Neste tipo de caverna o curso d’água, por vezes temporário, não está conectado ao aquífero e fluirá independentemente do nível de base até adentrar a zona freática. Diversas cavidades verticalizadas em várias regiões brasileiras seguem este tipo de modelo, como alguns abismos no Vale do Ribeira, SP. Muitas cavernas também se desenvolvem no contato entre estas zonas hidrológicas.

Em regiões de climas sazonais, como a maior parte do Brasil, diversas cavernas tornam-se alagadas quando de chuvas intensas, transicionando da zona vadosa para freática. Um bom exemplo são os condutos e “teto baixo” da Gruta Olhos D’água, em Itacarambi, MG, que inundam quando de chuvas torrenciais. Outras cavernas possuem uma zona superior vadosa, atingindo o lençol freático e prosseguindo alagada na zona freática. Estes exemplos mostram que as cavernas podem existir em todas as zonas hidrológicas, possuindo frequentemente galerias em mais de uma delas.

Experimentos realizados em gesso mostram como ocorre a propagação de galerias a partir de um ponto de infiltração. Inicialmente, sob fluxo laminar, forma-se uma série de pequenos canalículos que se propagam em direção ao ponto de saída. Quando um desses protocondutos consegue se conectar ao ponto de saída, ele passara a transmitir uma quantidade maior de água, se alargando mais rapidamente. Isto fará com que os outros condutos se desenvolvam em direção a ele, ou então sejam abandonados, iniciando uma caverna de padrão dendrítico. Pesquisas mostram que



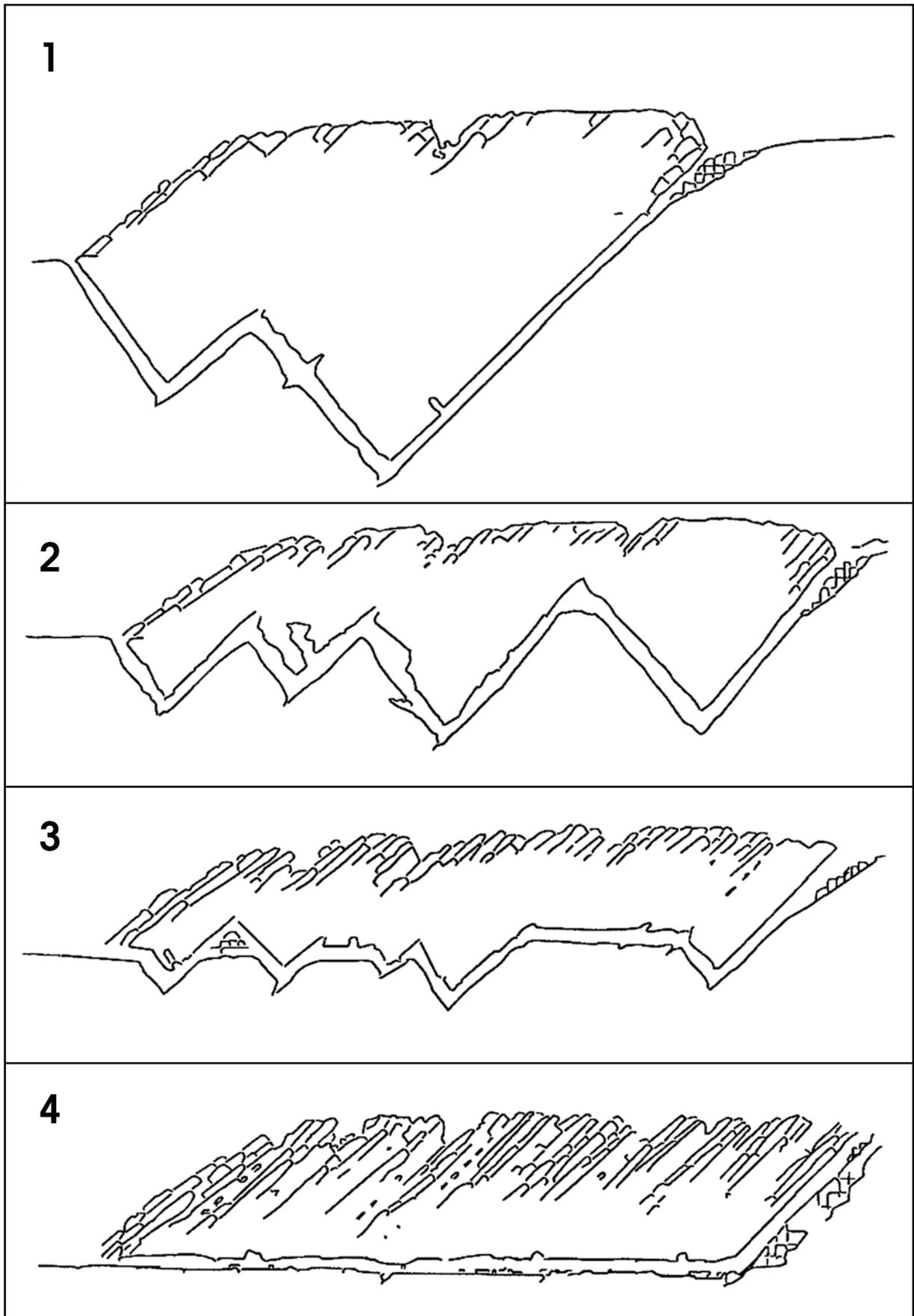


Figura 3.10: Modelo de Ford & Ewers, relacionando rotas de fluxo e densidade de fraturamento.

um importante incremento na taxa de dissolução de um protoconduto se dá quando ele ultrapassa o limite de transição entre o fluxo laminar e turbulento. O fluxo passará a ser turbulento quando o protoconduto atingir um diâmetro por volta de 10 mm, dependendo do gradiente hidráulico e da temperatura.

Em termos de química, é necessário que a água mantenha sua capacidade dissolutiva ao longo de todo o percurso. À medida que ela dissolve o carbonato, a água vai se tornando saturada, diminuindo assim a capacidade de alargar o conduto. No entanto, essa diminuição se dá de forma bastante lenta, tornando possível que longos protocondutos sejam alargados. Worthington & Ford (1995) acreditam que além do ácido carbônico, o ácido sulfúrico, ainda que em pequenas quantidades, pode ser importante na iniciação de condutos.

Ford & Ewers (1978) propuseram um modelo espeleogenético que é ilustrado na Figura 3.10. De acordo com esse modelo, a densidade das juntas na rocha irá definir o tipo de caverna gerado. Em carbonatos dobrados com pequena densidade de juntas, o fluxo tenderá a seguir as poucas zonas de descontinuidade disponíveis, adotando um perfil com "loops" profundos. À medida que a densidade de juntas aumenta, a água poderá escolher rotas de fluxo mais retilíneas, culminando no caso de cavernas essencialmente planas que seguem o contorno do lençol freático. No Brasil, onde muitos dos nossos carbonatos são horizontalizados, as cavernas tenderão a seguir planos de acamamento subhorizontais, gerando uma morfologia de amplos e longos condutos com poucos desníveis. Um bom exemplo seria a extensa galeria principal da Gruta do Padre, no oeste baiano.

Segundo Worthington (1991), a extensão da bacia de drenagem e o mergulho e a direção das camadas de carbonato são os principais fatores a determinar a que profundidade em relação ao nível freático a maior parte dos condutos irá se desenvolver. Cavernas ativas existem a grande profundidade, conforme demonstrado pela exploração por submersíveis e espeleomergulhadores. Profundidades acima de 300 m já foram atingidas em alguns locais.

No Brasil, a Lagoa Azul, em Niquelândia, GO, foi explorada até -260 m.

Depois que o conduto passa pela fase de iniciação, ele pode evoluir de duas maneiras principais. Na paragênese (Renault, 1968), o conduto evolui ascendentemente. Na singênese ele evolui descendentemente. Inicialmente, com o conduto totalmente na zona freática, a água, dissolve teto, paredes e piso ao mesmo tempo, favorecendo o aparecimento de uma seção aproximadamente circular. Com o rebaixamento do nível freático, o topo do conduto passa a possuir ar e, portanto, a dissolução passará a ocorrer somente no piso, criando pouco a pouco um perfil do tipo cânion.

As altas galerias de rios no carste do Vale do Ribeira são cânions vadosos que evoluíram desta maneira. Rebaixamentos abruptos do nível de base, ou juntas favoráveis, podem causar a migração da água para condutos inferiores independentes, deixando secas as galerias superiores. A evolução descendente será atenuada quando um nível impermeável for atingido. Os grandes sistemas do carste de São Domingos, GO, constituem belíssimos exemplos de cânions vadosos que atingiram (e escavaram) um embasamento ígneo.

Em uma evolução paragenética (Figura 3.11), o fluxo lento da água permite que se acumule sedimento no piso. Este sedimento impermeabilizara a base, fazendo com que a água dissolva, preferencialmente, no teto. Assim o conduto evoluirá ascendentemente, havendo um equilíbrio entre a deposição de materiais finos no piso e a dissolução no teto. O desenvolvimento paragenético cessará quando for atingido o nível freático. Em um conduto paragenético preservado, os sedimentos preenchem um cânion, deixando um espaço vazio no topo. No carste de Lagoa Santa, entre outros locais, é nítida uma fase paragenética.

Numerosas formas esculpidas pelas águas nas paredes, piso e teto de galerias podem fornecer indícios importantes a respeito dos processos envolvidos na espeleogênese. Estas feições recebem o nome genérico de espeleogens. Ondas de erosão (ou scallops) são concavidades nas paredes que são bastante úteis para se interpretar direção de fluxo em



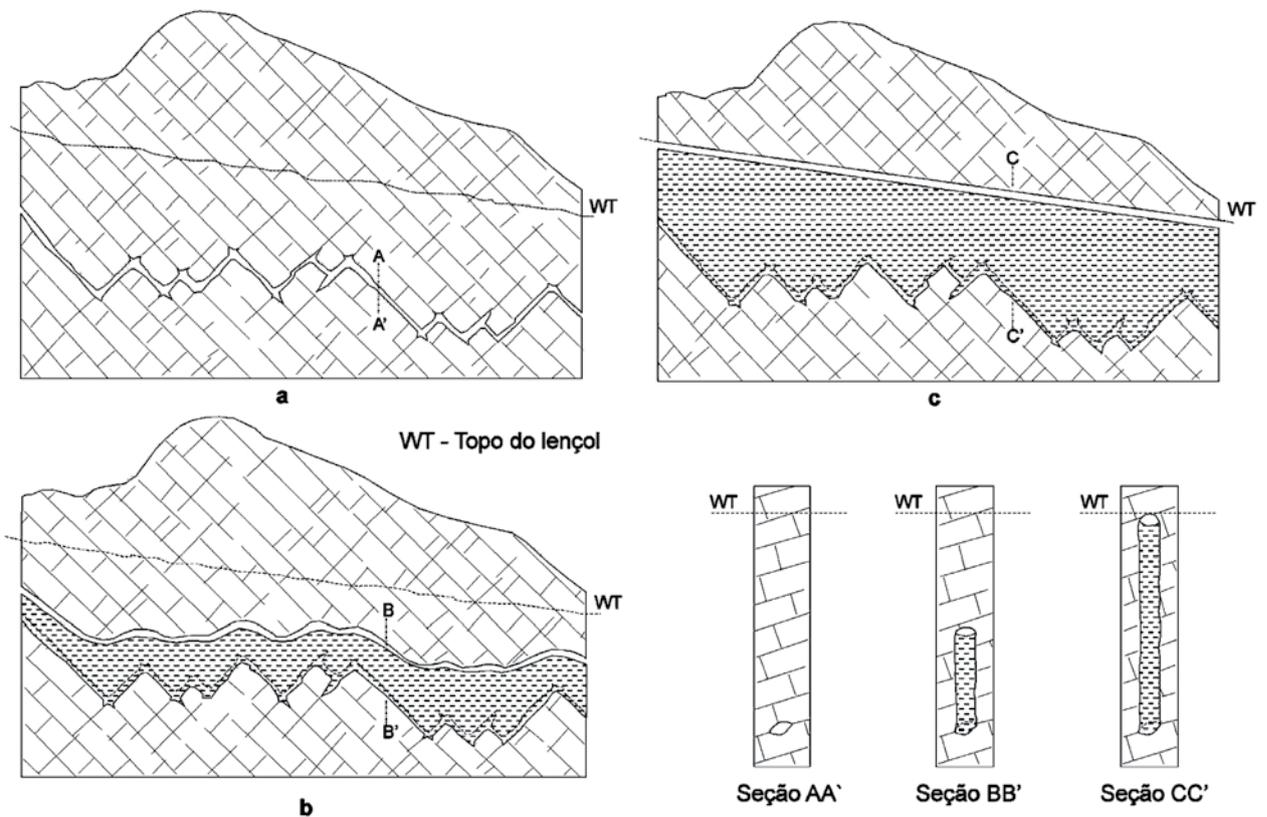


Figura 3.11: Evolução paragenética de uma galeria (perfil e seções) segundo Pasini (1967).

galerias secas. Possuem um bordo mais suave e outro mais inclinado. A direção pode ser determinada facilmente, sempre do lado mais inclinado para o lado mais suave. Conhecida a largura do conduto e o comprimento da onda de erosão, com o auxílio de um gráfico pode-se determinar a velocidade da água que gerou aquele conduto (Figura 3.12).

Cúpulas são depressões arredondadas que ocorrem em geral no teto, condicionadas por fraturas. Sua gênese é controversa. Alguns autores acreditam que são geradas por corrosão de mistura, quando do contato entre águas que descendem pela fratura com águas que preenchem totalmente o conduto da caverna. Outras hipóteses incluem dissolução por contato entre a água da fratura e o ar da caverna, ou mesmo por dissolução devido a águas ácidas injetadas durante inundações. Cavernas hipogênicas apresentam este tipo de feição, neste caso sendo interpretadas como formadas por dissolução por água

ascendente sob pressão ou pelo próprio vapor associado ao ar da caverna.

Anastomoses são um conjunto de canálculos no teto ou paredes. São bastante comuns em cavernas paragenéticas, formando-se no contato entre sedimento e solo. Anastomoses podem também evidenciar a fase inicial de espeleogênese em uma caverna. Pendentes são projeções nos tetos. Bastante comuns em cavernas que foram preenchidas por sedimentos, tem sua gênese provavelmente relacionada à dissolução diferencial na interface sedimento-rocha (Figura 3.13).

Cavernas vadasas podem ser percorridas por rios. Neste caso a água não mais ocupava todo o perímetro da galeria (salvo às vezes em caso de enchentes) e a gruta tendia a ser escavada para baixo, da mesma forma que um rio escava um cânion. Na fase vadosa também tem início a formação de espeleotemas, depósitos cristalinos muito frequentes em grutas. A caverna pode eventualmente tornar-se



Figura 3.12: Scallops no teto de uma galeria de caverna.



Figura 3.13: Pendentes na Gruta dos Túneis, Lagoa Santa, MG.



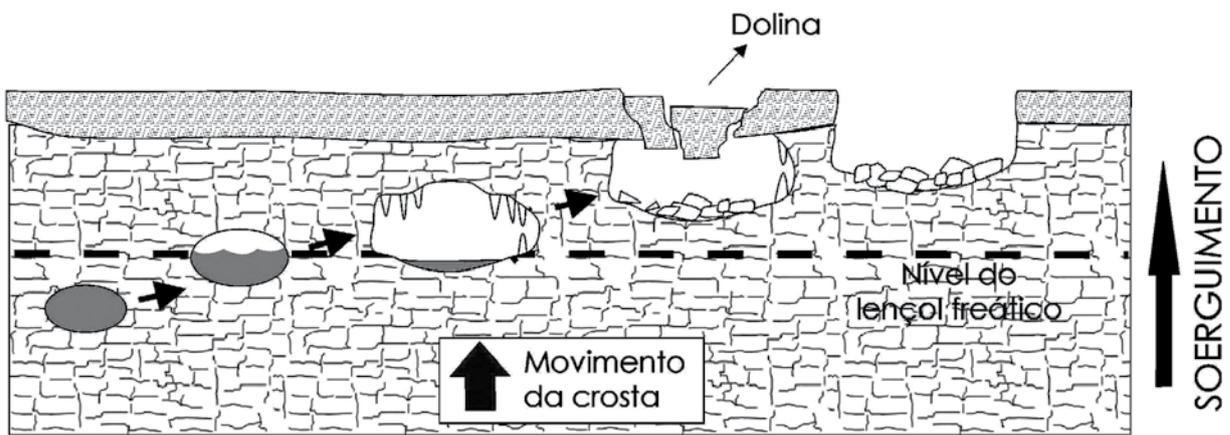


Figura 3.14: Ao final da evolução de uma caverna ela tende a se tornar seca devido ao soergimento e erosão superficial.

totalmente seca e por fim se aproximar (devido à erosão do terreno e soergimento) da superfície e ser removida pela erosão (Figura 3.14). O processo de formação e evolução de uma caverna é lento e pode levar milhões de anos. Durante todo este processo existem vários fatores e variáveis que interferem e dão as cavernas uma grande variabilidade de formas e tamanho.

3.2.2 Cavernas hipogênicas

Em uma caverna hipogênica, o agente ativo na dissolução provém da subsuperfície, podendo ser tanto ácido carbônico quanto ácido sulfúrico. A água ascendente, normalmente aquecida devido à profundidade, pode vir carregada destes ácidos. Cavernas criadas desta forma são denominadas cavernas hidrotermais. Ácido sulfúrico é o agente principal na gênese de muitas cavernas hipogênicas. Pode ser produzido a partir do gás H₂S que ascende pela rocha e se mistura com a água subterrânea produzindo o ácido sulfúrico que dissolve a caverna. A origem do H₂S pode estar ligada a bacias de hidrocarbonetos (petróleo), como no caso das enormes cavernas de Lechuguilla e Carlsbad nos Estados Unidos. A oxidação de lentes de pirita, um mineral do grupo dos sulfetos de ocorrência frequente em carbonatos, pode vir a gerar ácido sulfúrico em quantidades suficientes para formar grandes cavernas. Este parece ser o agente principal responsável em maior ou menor grau pela gênese de diversas cavernas em litologias do Grupo Una,

centro Norte da Bahia, como a Toca da Boa Vista (Auler et al. 2003).

Cavernas hipogênicas diferem em alguns aspectos importantes de suas correspondentes epigênicas. Como foram criadas a partir do interior da rocha, não possuem qualquer relação com o terreno superficial. Suas entradas são normalmente abatimentos fortuitos devido à interceptação de condutos preexistentes quando do rebaixamento natural da superfície. Sedimentos fluviais são em geral ausentes. A mineralogia dos espeleotemas é distinta, destacando-se, no caso de cavernas formadas por ácido sulfúrico, espeleotemas de gesso.

Pendentes, cúpulas e forte intemperismo na rocha são outras feições típicas. Cavernas hipogênicas não possuem necessariamente entradas, e portanto podem permanecer à margem das descobertas espeleológicas, dando a falsa impressão de que representam uma tipologia rara no contexto espeleológico.

3.2.3 Espeleogênese em cavernas não carbonáticas

Dentre as rochas não carbonáticas onde ocorrem processos de dissolução e consequente geração de um número expressivo de cavernas cita-se o gesso, o sal, o gelo, o quartzo, o arenito e o minério de ferro. Cavernas em gesso, sal e gelo ainda não foram descritas no Brasil, ao passo que cavidades nas demais litologias mencionadas são bastante frequentes, inserindo-se os exemplos brasileiros entre os mais representativos do mundo. Iremos

ênfatizar, pois, cavernas em arenito/quartzito e em minério de ferro.

Quartzitos e arenitos são rochas assemelhadas, compostas principalmente por sílica, sendo que os quartzitos são basicamente arenitos que sofreram metamorfismo, ou seja, foram sujeitos à alta temperatura e pressão. Os processos espeleogenéticos que atuam em arenitos e quartzitos são similares. A sílica e o quartzo são muito pouco solúveis, mas sob climas quentes podem sofrer lenta dissolução. Esta dissolução inicial irá permitir que a água comece a circular em canalículos (protocavernas) removendo os grãos de quartzo e alargando por ação mecânica o conduto. Estes processos ocorrerão, preferencialmente, nos planos de descontinuidade da rocha.

Em quartzitos e arenitos, a dissolução cumprirá um papel inicial importante, mas quantitativamente menor quando comparado com a evolução por erosão, que será responsável pelo efetivo alargamento dos condutos. Portanto, uma primeira fase dissolutiva leva a remoção do cimento silicoso que une os grãos de quartzo, ou mesmo a dissolução das bordas dos cristais de quartzo, fazendo com que os mesmos fiquem soltos. A ação erosiva da água pode, então, facilmente remover estes grãos, criando as cavernas.

Em minério de ferro pouco se sabe sobre a gênese das cavernas. Simmons (1963), trabalhando em áreas com presença de minério de ferro dolomítico no Quadrilátero Ferrífero, foi pioneiro em atribuir a gênese de cavernas em minério de ferro e canga a processos de dissolução. Segundo ele, a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva a formação de uma zona de minério de ferro alterado de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha. Em regiões de minério de ferro silicoso, a dissolução da sílica também exerce um papel importante.

Uma vez que o enriquecimento supergênico consiste na retirada de matéria do protominério (lixiviação), além do aumento residual do teor em ferro, o processo promove também um significativo aumento da porosidade e permeabilidade do corpo mineral. Ribeiro (2003), trabalhando no Quadrilátero Ferrífero, demonstrou

que pode haver uma redução de até 40% do volume da rocha, resultando em minério friável com alta porosidade. A remoção de sílica e/ou dolomito resulta em uma concentração e consequente geração de zonas com minérios de ferro de alto teor (processo supergênico).

A morfologia esponjiforme e o fato de que a entrada é muitas vezes dimensionalmente incompatível com os condutos interiores leva a supor que algumas das cavernas tivessem, originalmente, evoluído no interior do maciço, sem uma saída para o exterior (caverna oclusa). Da mesma forma, galerias maiores conectadas por condutos menores podem ter evoluído independentemente e posteriormente terem se conectado.

Autores como McFarlane & Twidale (1987) acreditam que a dissolução dos óxidos de ferro, e não somente de sílica e dolomita, são essenciais na carstificação em minério de ferro. A criação do que McFarlane & Twidale (1987) chamaram de "zonas pálidas" no saprólito dependeria da lixiviação de ferro. Devido ao caráter pouco solúvel de óxidos de ferro, estes autores evocam a atuação de agentes microbiológicos, já que existem microorganismos capazes de remover Fe através de complexação e formação de quelatos que possuam afinidade com o ferro. Ainda não há dados para quantificar a perda de volume da rocha via dissolução do ferro. Expressivos espeleotemas (pingentes) formados por oxi-hidróxidos de ferro demonstram a solubilidade do ferro.

Na Serra dos Carajás duas fases espeleogenéticas foram propostas por Pinheiro & Maurity (1988). Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorre a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo minerais instáveis de Fe, Al e Si que preenchem os vazios da canga e da Formação Ferrífera Bandada, mas também ocorrem em níveis inferiores a esta. A remoção deste material residual instável leva a formação de cavidades irregulares que podem ser observadas nas paredes e cavidades das cavernas (Pinheiro & Maurity, 1988). A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos (piping) que basicamente expandem as cavidades geradas na primeira etapa levando então a formação



de galerias e salões. Estes processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta a atuação de processos vadosos, propiciando também a atuação de processos de abatimento (Pinheiro & Maurity, 1988).

Pilo & Auler (2005), em revisão sobre o tema, adotam muitas das ideias discutidas anteriormente, admitindo a existência de duas etapas distintas, a primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos). A primeira etapa, endógena, envolve reações químicas no interior da massa rochosa na zona freática, gerando zonas de alta porosidade. Posteriormente o material friável resultante será lixiviado para o exterior através de processos similares ao "piping" descrito para cavidades em rochas siliciclásticas. Esta segunda etapa, iniciada na zona freática, pode ter continuidade na zona vadosa, quando os processos de "piping" podem vir a ser favorecidos.

Bordas de topo de serras, áreas onde haja quebra de relevo, ou encostas íngremes, são locais em que o gradiente hidráulico do lençol freático será mais pronunciado resultando em uma maior velocidade da água subterrânea e concomitante maior capacidade erosiva da mesma.

Iniciada a etapa erosiva das cavidades e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados. Material de granulometria fina será aportado para o interior das cavernas, principalmente via canalículos, de onde será evacuado para o exterior. Esta fase erosiva, aliada a processos de abatimento de blocos, é responsável pela maior parte da morfologia atualmente observada nas cavernas de minério de ferro estudadas. Evolução ascendente de galerias, devido a abatimentos, e também frequente em algumas grutas.

3.3 SEDIMENTAÇÃO EM CAVERNAS

3.3.1 Sedimentação clástica

A maior parte das grutas apresenta algum tipo de sedimentação. Em geral são argilas ou areias trazidas por rios ou enxurradas a cobrir o piso da caverna ou material desprendido do teto e paredes. Os sedimentos de origem não

química podem ser classificados em dois grandes grupos, ou seja, aqueles originários a partir de rochas (sedimentos clásticos) ou aqueles derivados de material orgânico. Sedimentação orgânica, por guardar relação com aspectos biológicos, não será tratada neste módulo.

Os sedimentos clásticos compreendem desde material com tamanho de blocos até minúsculos grãos de areia. A maior parte provém de fora da caverna (sedimentos alóctones), embora algumas rochas como calcários impuros, quartzitos ou arenitos, forneçam sedimentos provindos do interior da própria caverna (sedimentos autóctones).

A composição da sedimentação alóctone depende da área fonte. No caso de depósitos aluviais (trazidos por rios) pode representar material oriundo de áreas distantes, inseridas na bacia de captação da drenagem. Este material tenderá a possuir graus variados de arredondamento, fruto do transporte desde a área fonte. Por vezes é possível distinguir gradações na granulometria, importantes para se determinar o ambiente deposicional. Por exemplo, sedimentos de granulação muito fina, como argila, normalmente indicam sedimentação em situações de água estagnada ou de fluxo muito lento. Já sedimentos de granulometria mais grosseira, como seixos ou calhaus, necessitam de considerável caudal e normalmente são oriundos de fluxo com maior velocidade.

Entre os sedimentos autóctones, blocos caídos do teto perfazem a maior parte da sedimentação. Os abatimentos são processos naturais, inerentes ao ciclo evolutivo das cavernas. Lembrando que o vazio representado pela caverna suporta milhares de toneladas de rocha acima; há uma considerável tensão no maciço rochoso. Os abatimentos representam alívios de tensão, a partir dos quais a caverna busca atingir uma forma mais estável que melhor se ajuste ao jogo de tensões. Os abatimentos ocorrem de forma espaçada no tempo, não constituindo um perigo que deva preocupar os espeleólogos. Blocos podem ser de vários tamanhos, desde blocos com mais de 50 m de altura, como na Gruta dos Brejões (BA) até diminutas lascas. Outra forma de sedimentação autóctone compreende material



insolúvel (impurezas) comumente encontradas em meio à rocha matriz, como bolsões de argila ou zonas arenosas.

Praticamente todas as cavernas apresentam tanto sedimentação alóctone quanto autóctone, embora sedimentação alóctone seja mais comum em cavernas carbonáticas. Grutas hipogênicas tendem a apresentar reduzida sedimentação alóctone, como é o caso da Toca da Barriguda e Toca da Boa Vista. Grutas em minério de ferro e em rochas siliciclásticas apresentam, predominantemente, sedimentação autóctone. Temos, por fim, o exemplo de grutas em tálus que são constituídas por espaços vazios em meio a blocos abatidos.

3.3.2 Sedimentação química

Os depósitos cristalinos formados no interior da caverna recebem o nome genérico de espeleotemas (do grego “depósitos de cavernas”). Os espeleotemas conferem beleza às cavernas, compreendendo centenas de formas, desde as mais comuns, como coralóides, estalactites e estalagmites, até formas muito raras encontradas em poucas cavernas. Em cavernas carbonáticas, apesar de mais de uma centena de minerais terem sido identificados como formadores de espeleotemas, a grande maioria é constituída por apenas três minerais: calcita (CaCO_3), o mais frequente mineral de cavernas; aragonita (também CaCO_3 , porém com uma estrutura cristalina diferente) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Como a cor destes três minerais é branca, esta é a coloração dominante nas ornamentações de cavernas carbonáticas.

No caso da calcita e da aragonita, o processo mais comum de deposição envolve o processo inverso a reação química de dissolução mencionada anteriormente. A água saturada em carbonato de cálcio (sob forma de bicarbonato de cálcio, que é solúvel em água) libera dióxido de carbono (CO_2) ao entrar em contato com a atmosfera da caverna. O bicarbonato irá transformar-se em carbonato de cálcio, que é insolúvel, e portanto haverá a deposição do mineral sob forma de calcita ou aragonita. A gipsita é diferente, depositando-se muitas vezes devido a evaporação da água.

Portanto, os espeleotemas são sempre formados através da precipitação de minerais a partir de soluções aquosas que atingem o ambiente das cavernas. Os diferentes tipos de circulação de água dão origem a formas distintas de espeleotemas. Águas gotejantes podem formar estalactites no teto. As estalactites apresentam muitas vezes formato de um fino tubo apresentando um duto central por onde circula a água. Este tipo de estalactite recebe o nome popular de “canudo de refresco”. Este duto central pode vir a ser entupido (às vezes pelo próprio crescimento de cristais). Não podendo circular pelo interior da estalactite, a água passa a escorrer pelas bordas, dando origem a estalactites de formato cônico. Quando a frequência do gotejamento é alta, não há tempo para depositar na estalactite toda a carga mineral contida na gota. A gota atinge o solo e dá origem a estalagmites. A eventual junção de estalagmites e estalactites cria o espeleotema denominado coluna. Muitas vezes o teto não é plano e a gota escorre depositando uma delgada camada de calcita, que pode crescer e formar uma lamina tortuosa conhecida como cortina. Outra variedade de espeleotema originada a partir de gotejamentos e o escoamento de calcita. Conforme o nome indica, consiste em depósitos formados a partir do escoamento de água em paredes da caverna.

Muitas cavernas apresentam circulação de água no piso, sob forma de pequenos rios ou lagos. É possível que esta água também esteja carregada em minerais, podendo depositar espeleotemas. Um dos espeleotemas mais típicos gerados por águas circulantes são as represas de travertinos, barragens em geral de calcita que represam água. Formam-se em sequência podendo atingir vários metros de altura e dezenas de metros de extensão em casos excepcionais. No interior das represas de travertinos, ou mesmo em lagos, pode-se formar espeleotemas relacionados a águas estagnadas. Jangadas constituem finas camadas de calcita que flutuam na superfície da água. São formadas devido à liberação de CO_2 a partir da superfície da água, ficando “suspensa” pela tensão hidrostática, afundando



ao menor toque. Outro espeleotema peculiar é a perola de caverna, semelhante às perolas tradicionais, porém formadas a partir da acumulação de camadas concêntricas de calcita ao redor de um núcleo representado muitas vezes por pequenas pedras. No interior dos lagos, cristais denominados "dente de cão" podem também ser formados.

Em outra maneira de se formar espeleotemas a água pode circular através dos poros da rocha ou através de estreitas fissuras, sem chegar a formar gotas. Este tipo de água é conhecido como água de exsudação. É como se a rocha "suasse". Os espeleotemas formados por águas de exsudação são em geral mais raros e mais frágeis. As helictites, por exemplo, são formações que desafiam a lei da gravidade, formando feições cristalinas que crescem para frente ou para cima, ou mesmo apresentam

aspecto retorcido. Só se formam em ambientes confinados. Os espeleotemas denominados flores também são pouco comuns e possuem grande beleza. Algumas flores consistem em emaranhados de helictites nos remetendo a um "espaguete" cristalino, outras irradiam finos cristais a partir de um ponto único. As flores formadas pelo mineral gipsita, apresentam em geral aspecto retorcido.

Espeleotemas podem também ser formados a partir de águas de condensação, ou seja, o vapor contido na atmosfera. O ambiente no interior das cavernas é normalmente saturado, com a atmosfera se aproximando de 100% em relação à umidade relativa do ar. Este vapor pode aderir às paredes e formar pequenos espeleotemas, normalmente coralóides. A Figura 3.15 ilustra alguns dos principais tipos de espeleotemas.

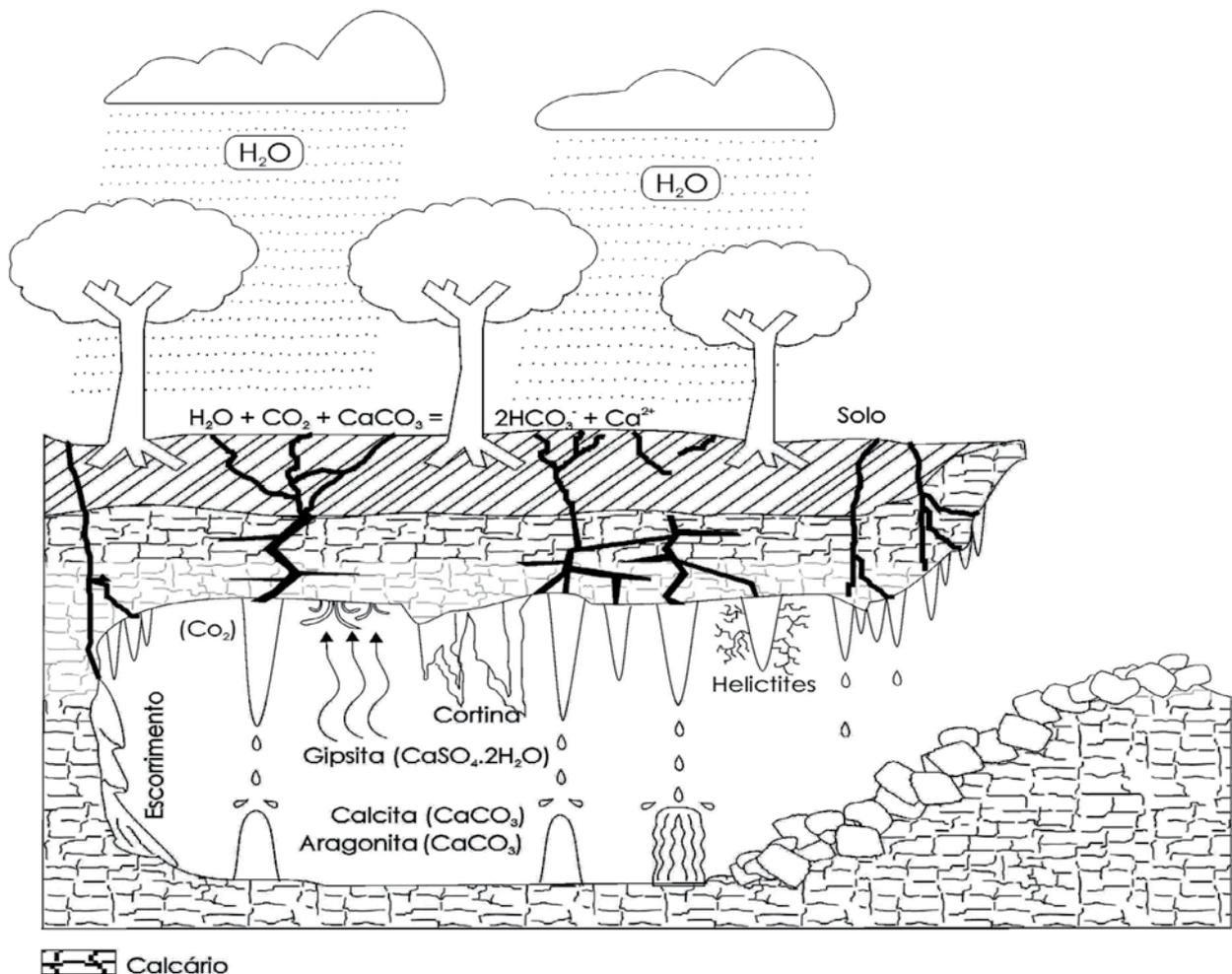


Figura 3.15: Ao final da evolução de uma caverna ela tende a se tornar seca devido ao soerguimento e erosão superficial.

Alem do valor estético, os espeleotemas podem ser utilizados para alguns trabalhos científicos de importância. É possível obter a idade precisa de espeleotemas de calcita e aragonita por meio do método que mede o decaimento radioativo do urânio para o tório. Estes estudos fornecem importantes informações sobre a idade das cavernas e da paisagem ao redor. As estalagmites, em particular, podem representar importantes arquivos paleoambientais, fornecendo informações importantes sobre as mudanças climáticas que ocorreram na região da caverna no passado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULER, A.S. **Lakes as a speleogenetic agent in the karst of Lagoa Santa, Brazil.** Cave and Karst Science 21: 105-110, 1995.
- AULER, A.S.; Smart, P.L. **The influence of bedrock-derived acidity in the development of surface and underground karst: evidence from the Precambrian carbonates of semi-arid northeastern Brazil.** Earth Surface Processes and Landforms 28: 157-168, 2003.
- FORD, D.C.; EWERS, R.O. **The development of cave systems in the dimensions of length and depth.** Canadian Journal of Earth Sciences 15: 1783-1798, 1978.
- LOWE, D.J. **The origin of limestone caverns: An inception horizon hypothesis.** PhD thesis, Manchester Metropolitan University, 1992.
- McFARLANE, M.J.; TWIDALE, C.R. **Karstic features associated with tropical weathering profiles.** Zeitschrift für Geomorphologie Suppl. Bd. 64: 73-95, 1987.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. **As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil.** Anais 1. Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe, p. 179-186, 1988.
- PALMER, A.N. **Origin and morphology of limestone caves.** Geological Society of America Bulletin 103: 1-21, 1991.
- PASINI, G. **Nota preliminare sul ruolo speleogenetico dell'erosione "antigravitativa".** Le Grotte d'Italia 4 (1): 75-88, 1967.
- PILO, L.B.; AULER, A.S. **Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG.** O Carste 17: 92-105, 2005.
- RENAULT, P. **Contribution a l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans La spéléogenèse.** Annales de Spéléologie 23 : 529-596, 1968.
- RIBEIRO, D.T. **Enriquecimento supergênico de Formações Ferríferas Bandadas: Estruturas de colapso e desordem.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- WORTHINGTON, S.R.H. **Karst hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains.** PhD thesis, McMaster University, 1991.
- WORTHINGTON, S.R.H.; Ford, D.C. **High sulfate concentration in limestone springs: An important factor in conduit initiation?** Environmental Geology 25: 9-15, 1995.







4. INTRODUÇÃO À BIOLOGIA SUBTERRÂNEA

AUTOR: RODRIGO LOPES FERREIRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA)

4.1. O AMBIENTE SUBTERRÂNEO

Os ambientes subterrâneos compreendem extensas redes de espaços de diferentes dimensões e graus distintos de conectividade (Figura 4.1). As cavernas (macro-cavernas), nesta perspectiva, compreendem somente os espaços de maior volume e dimensão, capazes de serem acessados pelo homem. No entanto, inúmeros organismos (especialmente invertebrados) são capazes de circular e mesmo estabelecer populações viáveis em espaços menores, como interstícios e fendas na rocha ou em seu contato com o solo. Desta forma, existe, desde a superfície até o interior de uma caverna, uma sucessão de habitats subterrâneos que se apresentam em diferentes configurações.

O primeiro tipo de “compartimento” de habitat compõe os chamados espaço intersticiais do solo, composto por pequenas fissuras e rachaduras associadas ao manto de intemperismo. Tal conjunto de habitats pode ser denominado compartimento endógeno, sendo acessado principalmente por organismos edafobiontes (que vivem no solo), que podem tanto acessar estes habitats por meio de suas minúsculas discontinuidades ou mesmo ativamente, por meio da escavação direta do solo (necaso de organismos fossoriais). O solo profundo, ao aproximar-se da rocha de embasamento, pode mesclar-se a um conjunto de fendas de maior calibre conformadas por

descontinuidades na rocha ou mesmo espaços existentes entre blocos de rocha oriundos da própria fragmentação da porção mais superficial da rocha. Tal região, onde existe este contato do solo com rochas fragmentadas, recebe o nome de meio subterrâneo superficial (MSS), que compõe uma variedade importante de habitats para inúmeras espécies. A rocha encaixante, por sua vez, pode possuir espaços gerados por discontinuidades da própria rocha que foram sendo progressivamente expandidos pela lenta ação da água solubilizando a rocha. Muitos destes espaços (em geral de volumes reduzidos) são capazes de estocar a água das chuvas que lentamente vão se escoando para porções mais profundas das rochas. Muitas vezes, estes habitats (diretamente associados às rochas encaixantes) mantêm-se encharcados ou bastante úmidos por todo o ano, possibilitando o estabelecimento de diferentes populações (principalmente de invertebrados). Tal conjunto de habitats constitui o chamado epicarste. Alguns estudos realizados nos últimos anos têm revelado comunidades ricas, muitas vezes formadas por populações de espécies altamente especializadas a este modo de vida. Finalmente, os grandes espaços subterrâneos localizados sob esta região epicárstica, compreendem as chamadas macro-cavernas, podendo, este, ser considerado o habitat mais tipicamente hipógeo.

Cada um destes compartimentos possui características distintas, que, por sua



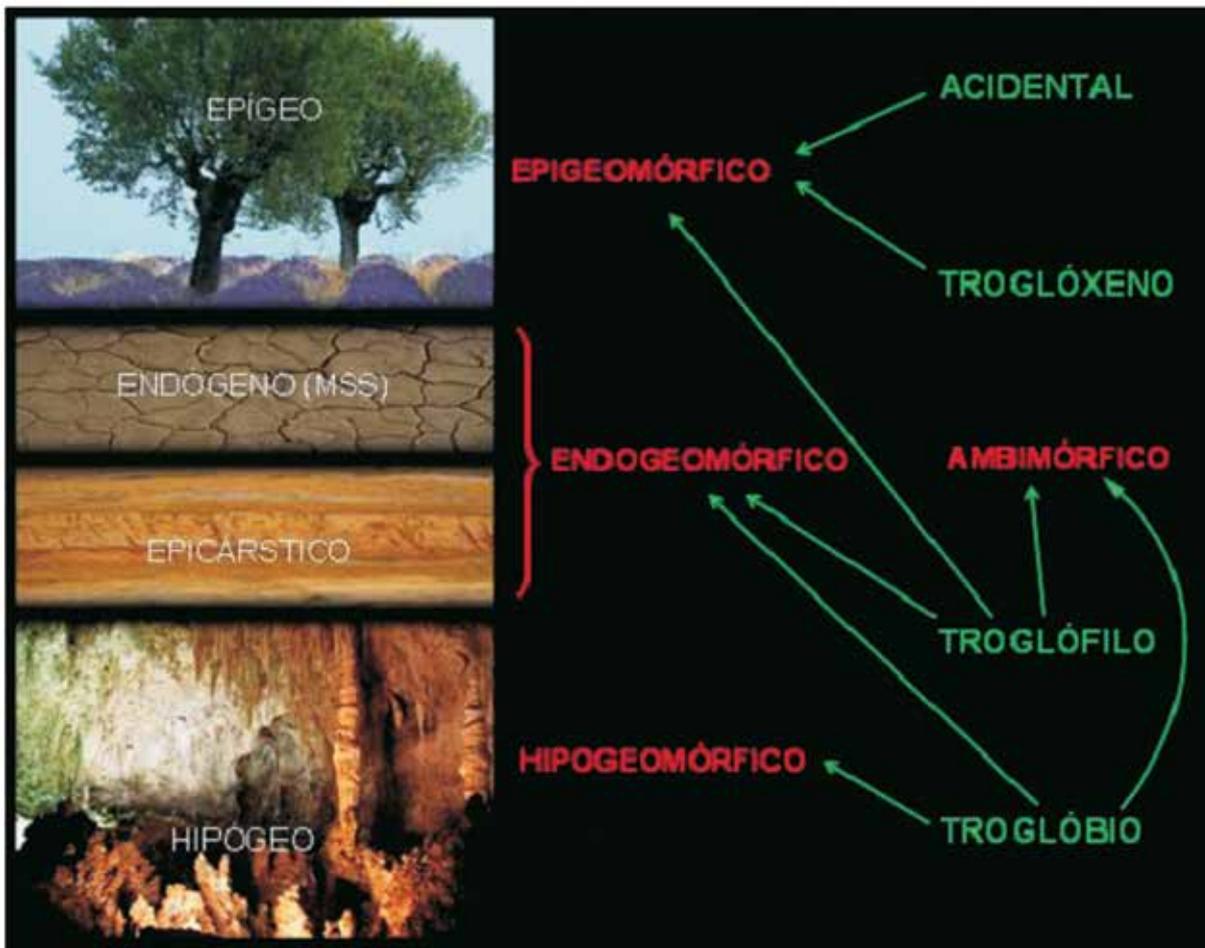


Figura 4.1: “Compartimentos” de habitats desde o sistema epígeo até uma macro-caverna. Em vermelho, as categorias de morfologia diferenciada mais frequentemente associada a cada compartimento e, em verde, as categorias ecológico-evolutivas de organismos associadas às suas morfologias preferenciais (ou mais frequentemente encontradas).

vez, geram pressões seletivas diferenciadas que continuamente atuam sobre as populações das espécies residentes. Desta forma, ao longo do tempo, a evolução vem produzindo morfologias que foram diferencialmente selecionadas em cada um destes compartimentos de habitats. A morfologia corpórea predominantemente encontrada em espécies de superfície, denominada epigeomórfica, compreende basicamente a elevada pigmentação tegumentar (primariamente como forma de proteção contra a radiação solar, e secundariamente como estratégias de atração sexual, aposematismo, camuflagem, dentre outras) e a manutenção de estruturas oculares bem desenvolvidas (já que a luz é uma importante pressão seletiva presente). Nos compartimentos endógenos e epicársticos, predomina

uma morfologia denominada endogeomórfica, que se caracteriza pela redução das estruturas oculares e da pigmentação tegumentar (já que nestes compartimentos afóticos, a pressão da luz deixa de atuar na “manutenção” destas características). Tais organismos, entretanto, apresentam apêndices locomotores e sensoriais frequentemente não alongados, em função dos espaços de reduzido tamanho que configuram estes habitats. Finalmente, a morfologia que frequentemente evolui em espaços subterrâneos de maior volume (macro-cavernas – ou sistemas hipógeos) é chamada de hipogeomórfica, sendo caracterizada, além da tendência à redução da pigmentação tegumentar e dos olhos, pelo alongamento de apêndices (locomotores e sensoriais) (figuras 4.2 e 4.3). Tal alongamento, selecionado em





Figura 4.2: O besouro cavernícola europeu *Leptodirus hochenwartii* exibindo morfologia tipicamente hipogeomórfica. Notar a ausência de olhos, a redução da pigmentação tegumentar e o alongamento de apêndices. Este foi o primeiro invertebrado troglóbio descrito pela ciência.



Figura 4.3: O peixe troglóbio *Stygichthys typhlops*, de Minas Gerais (região de Jaíba) exibindo morfologia tipicamente hipogeomórfica. Notar a ausência de olhos e a completa despigmentação tegumentar. Esta espécie compreende um dos peixes brasileiros mais modificados à vida subterrânea. Além disso, compreende uma espécie ameaçada. Ausência de olhos, a redução da pigmentação tegumentar e o alongamento de apêndices. Este foi o primeiro invertebrado troglóbio descrito pela ciência. Foto: Rodrigo L. Ferreira

“macro- espaços” aparentemente está ligado à compensação sensorial destes organismos, tendo em vista a inexistência de luz nestes habitats e também a uma maior facilidade de deslocamento pelos substratos das cavernas, muitas vezes encharcados. A cada uma destas morfologias, associam-se diferentes categorias de espécies que podem ser encontradas em cavernas, como será discutido à frente. Finalmente, existem organismos que apresentam morfologia ambimórfica, isto é, com características “mescladas” de outras morfologias.

Os ambientes externos, ou sistemas epígeos, são utilizados como base para a comparação das condições ecológicas prevalentes nos ambientes subterrâneos, chamados de sistemas hipógeos. Dessa forma, o meio cavernícola é caracterizado, principalmente, pela ausência permanente de luz, fazendo com que muitas das características bióticas e abióticas desses ambientes sejam influenciadas pela constância desta pressão ambiental. Geralmente, o ambiente físico subterrâneo varia menos que o ambiente epígeo circundante e os parâmetros ambientais caracterizam-se por permanecerem praticamente estáveis na maioria das cavernas (Poulson & White, 1969; Culver, 1982).

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

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

- 1. zona de entrada:** é aquela onde a luz incide diretamente e tanto a temperatura quanto umidade relativa do ar acompanham as variações externas. É a região mais influenciada pelo meio epígeo;
- 2. zona de penumbra:** há incidência indireta de luz e flutuações de temperatura menores quando comparadas à da zona de entrada. Sua extensão pode variar de acordo com a época do ano e a posição da entrada em relação ao sol;
- 3. zona afótica:** região onde há absoluta ausência de luz e habitual tendência à estabilidade ambiental.

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

1. horizonte superior da zona freática, que se conecta com a superfície por meio de fissuras inacessíveis pelas ressurgências, sumidouros, poços naturais ou cavernas;
2. zona de oscilação sazonal do lençol freático, caracterizada por riachos que secam em determinadas épocas do ano;
3. riachos permanentes em condutos abertos, não completamente preenchidos por água, como riachos no topo da zona freática e tributários na zona vadosa, situados nos níveis superiores da caverna e onde a circulação da água ocorre por gravidade.



Como as zonas de entrada de cavernas são regiões onde as variações ambientais são fortemente influenciadas pelo ambiente externo, fatores como luminosidade, temperatura e umidade também apresentam variações diárias e sazonais (Culver, 1982). Segundo Prous et al. (2004), regiões próximas às entradas demonstram gradientes de modificações estruturais, biológicas e físicas, criando uma zona de transição entre os sistemas epígeos e hipógeos. Dessa forma, a entrada de uma caverna pode ser considerada um ecótono. Essa região localiza-se em uma zona diferenciada pelo equilíbrio entre a disponibilidade de recursos (característica epígea) e pela estabilidade ambiental (característica hipógea). Tal fato indica que a zona de entrada pode funcionar como um filtro entre dois ambientes adjacentes, permitindo que somente organismos pré-adaptados possam atravessar e colonizar as cavernas.

4.1.1 A fauna cavernícola

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

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

espécies frequentemente possuem morfologia epigeomórfica (Figura 4.4);

2. os troglófilos são os organismos capazes de completar todo o seu ciclo de vida no meio hipógeo e ou epígeo. No meio epígeo, tanto os troglóxenos quanto os troglófilos, geralmente, ocorrem em ambientes úmidos e sombreados. Certas espécies podem, ainda, ser troglófilas sob certas circunstâncias e troglóxenas em outras (por exemplo, em cavernas que apresentam baixa disponibilidade de alimento). Tais espécies podem exibir diferentes morfologias (Figura 4.5);

3. os troglóbios restringem-se ao ambiente cavernícola e podem apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e no comportamento que, provavelmente, evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Frequentemente, nesses organismos, observa-se uma tendência à redução das estruturas oculares, da pigmentação e ao alongamento de apêndices, especialmente aqueles de função sensorial. Além destas características morfológicas, tais espécies também podem exibir especializações fisiológicas, como a tendência à redução da taxa metabólica basal, dentre outras. Tais espécies frequentemente possuem morfologias variáveis, sendo que os chamados “troglóbios recentes” tendem a possuir morfologias endogeomórficas ou ambimórficas e os “troglóbios avançados”, morfologias hipogeomórficas (Figura 4.6).

A figura 4.7 ilustra as principais modificações encontradas e uma espécie troglóbica, (especialmente naquelas consideradas “troglóbios avançados”, nas quais se destacam morfologias tipicamente hipogeomórficas). A espécie da figura corresponde a um



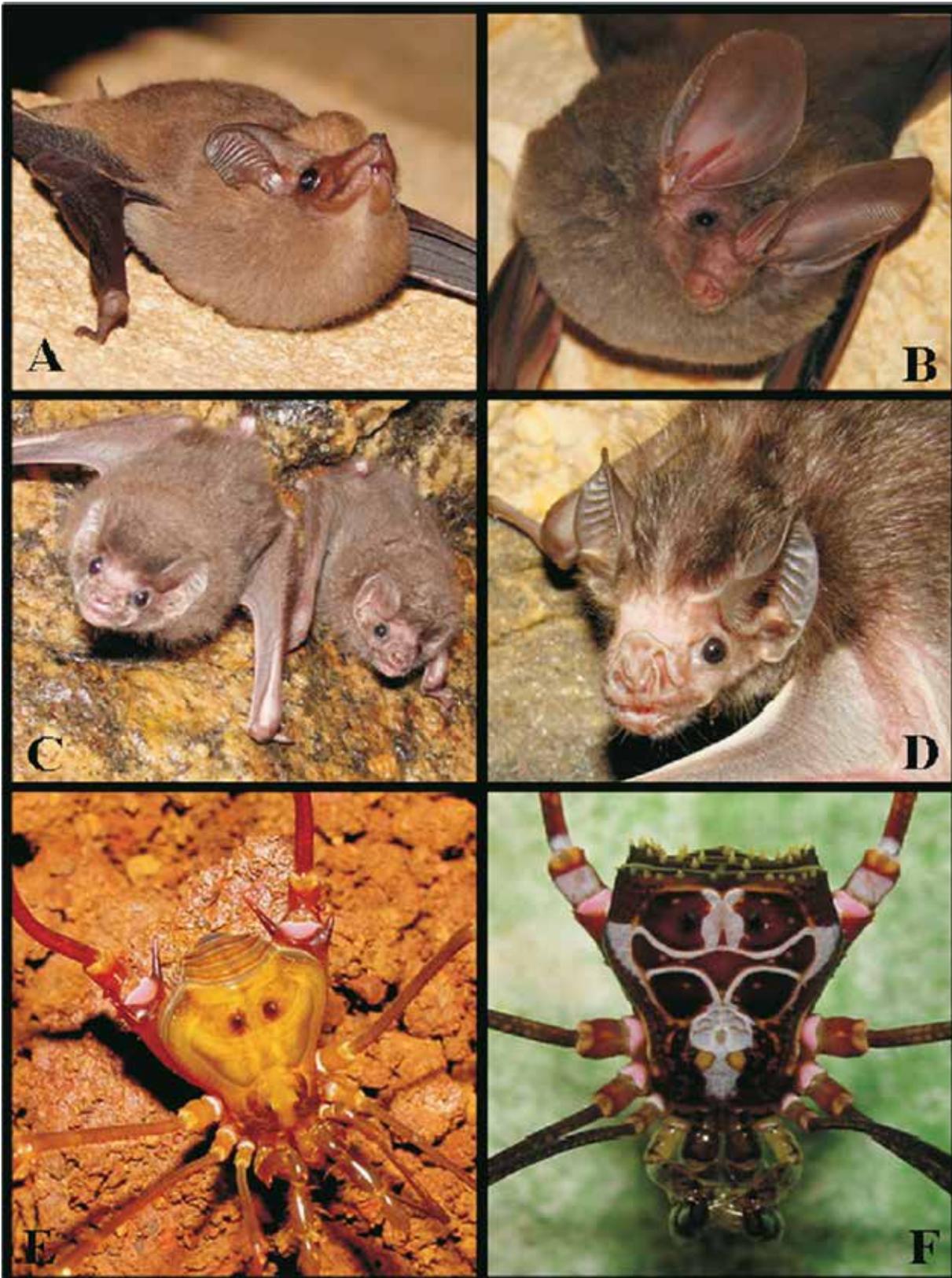


Figura 4.4: Algumas espécies troglóxenas encontradas no Brasil: A) *Peropteryx macrotis* Embalonuridae), Domingos Martins, ES; B) *Chrotopterus auritus* (Phyllostomidae), Pains, MG; C) *Diphylla ecaudata* (Phyllostomidae), Venda Nova do Imigrante, ES; D) *Desmodus rotundus* (Phyllostomidae), Luminárias, MG; E) *Goniosoma vatrax* (Opiliones: Gonyleptidae), Nova Lima, MG; F) *Goniosoma* sp. (Opiliones: Gonyleptidae), Vargem Alta, ES. Fotos: Rodrigo L. Ferreira



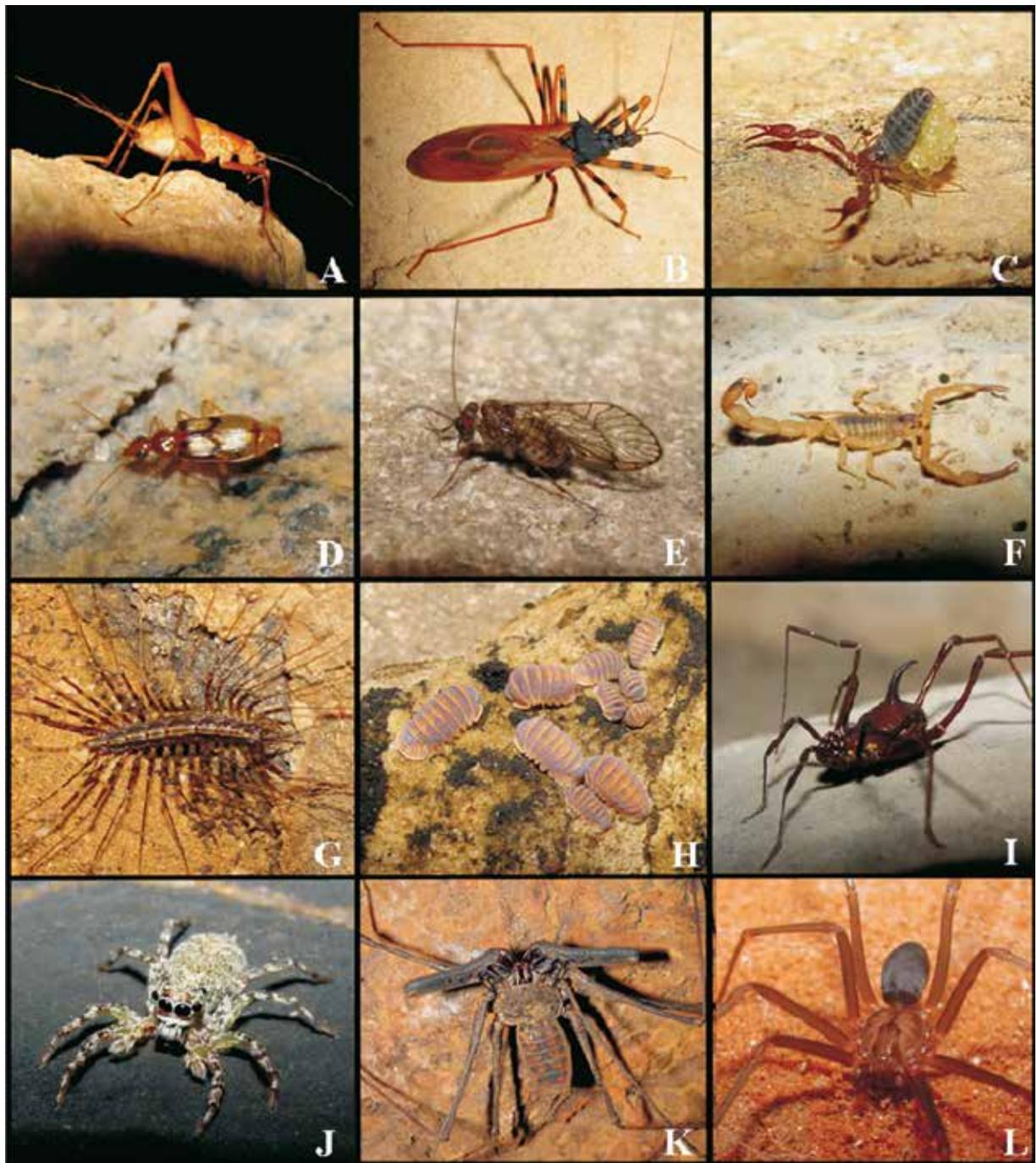


Figura 4.5: Algumas espécies troglófilas encontradas no Brasil: A) *Endecous* sp. (Ensífera: Phalangopsidae), Cambuci, RJ; B) *Zelurus* sp. (Heteroptera: Reduviidae), Santa Luzia, BA; C) *Spelaeochnes* sp. (Pseudoscorpiones: Chernetidae), Pau Brasil, BA; D) Carabidae (Coleoptera), Afonso Cláudio, ES; E) Dolabellapsocidae (Psocoptera), Pains, MG; F) *Tytius* sp. (Scorpiones: Buthidae), Mossoró, RN; G) Scutigera (Chilopoda), Pau Brasil, BA; H) *Venezillo* sp. (Isopoda: Armadillidae), Pau Brasil, BA; I) Gonylectridae (Opiliones), Pau Brasil, BA; J) Salticidae (Araneae), Arcos, MG; K) *Heterophrynus longicornis* (Amblypygi: Phryniidae), Palmas, TO; L) *Loxosceles* sp. (Araneae: Sicariidae), Altinópolis, SP. Fotos: Rodrigo L. Ferreira

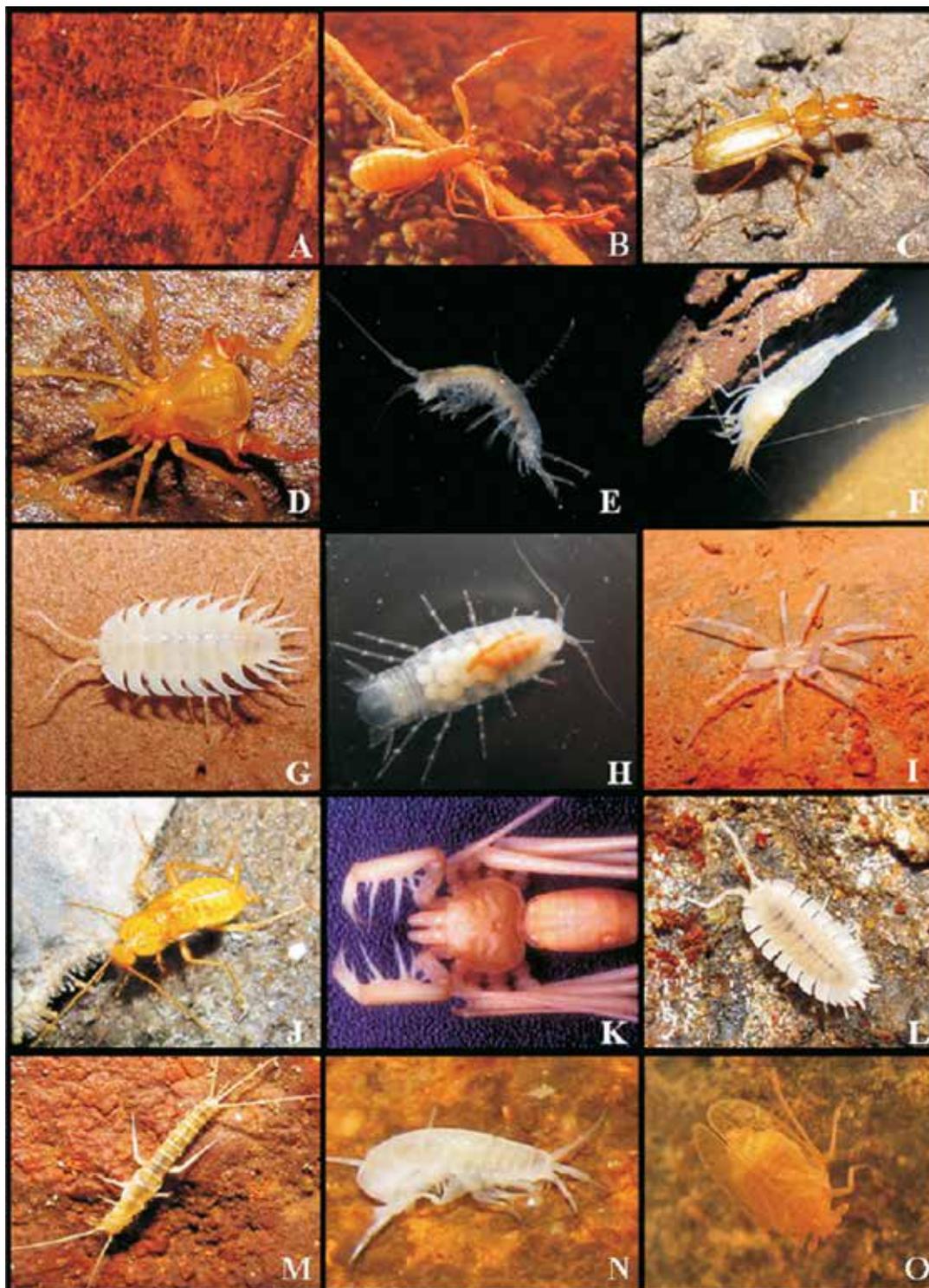


Figura 4.6: Algumas espécies troglóbicas encontradas no Brasil (exceto letra F): A) *Eukoenenia maqui-nensis* (Palpigradi), Cordisburgo, MG; B) Neobisiidae (Pseudoscorpiones), Iuiú, BA (nova espécie); C) *Coarazuphium cessaima* (Coleoptera: Carabidae), Itaetê, BA; D) *Iandumoema uai* (Opiliones: Gony-leptidae), Itacarambi, BA; E) Amphipoda, Felipe Guerra, RN (nova família); F) *Troglocaris* sp. (Deca-poda), Planina, Eslovênia; G) Styloniscidae (Isopoda), Iuiú, BA (nova espécie); H) Cirolanidae (Isopo-da), Felipe Guerra, RN (novo gênero); I) *Lygroma* sp. (Aranae: Prodidomidae), Nova Lima, MG (nova espécie); J) *Lithoblatta camargoi* (Blattodea), Iraquara, BA; K) *Charinus* sp. (Amblypygi:Charinidae), Carinhanha, BA (nova espécie); L) Trachelipodidae (Isopoda), Santa Tereza, ES (novo gênero), M) *Coletinia brasiliensis* (Zygentoma: Nicoletiidae), Campo Formoso, BA; N) *Spelaeogammarus trajanoe* (Amphipoda: Bogidiellidae), Várzea Alta, BA; O) Kinnaridae (Homoptera), Felipe Guerra, RN (novo gê-nero). Fotos: Rodrigo L. Ferreira



homóptero da família Cixiidae encontrado em uma caverna ferruginosa do quadrilátero ferrífero. Indivíduos troglóbios desta família são comumente encontrados em tubos de lava, principalmente nas ilhas Canárias e Hawaii. Como são fitófagos, tais organismos associam-se a raízes que interceptam galerias de cavernas. Tais raízes são freqüentes nos tubos de lava devido à sua superficialidade, como ocorre com muitas cavernas ferruginosas. Em outras cavernas situadas em

litologias distintas, às vezes mais profundas, é mais rara a presença de raízes e conseqüentemente de cíxiidos, como na maioria das cavernas brasileiras. O único indivíduo encontrado na caverna alimentava-se de raízes e compreende um dos cíxiidos mais especializados à vida subterrânea. Tais modificações morfológicas incluem a ausência de estruturas oculares, a total despigmentação do tegumento e a redução das asas (Figura 4.7). Cixiidos epígeos possuem olhos e asas

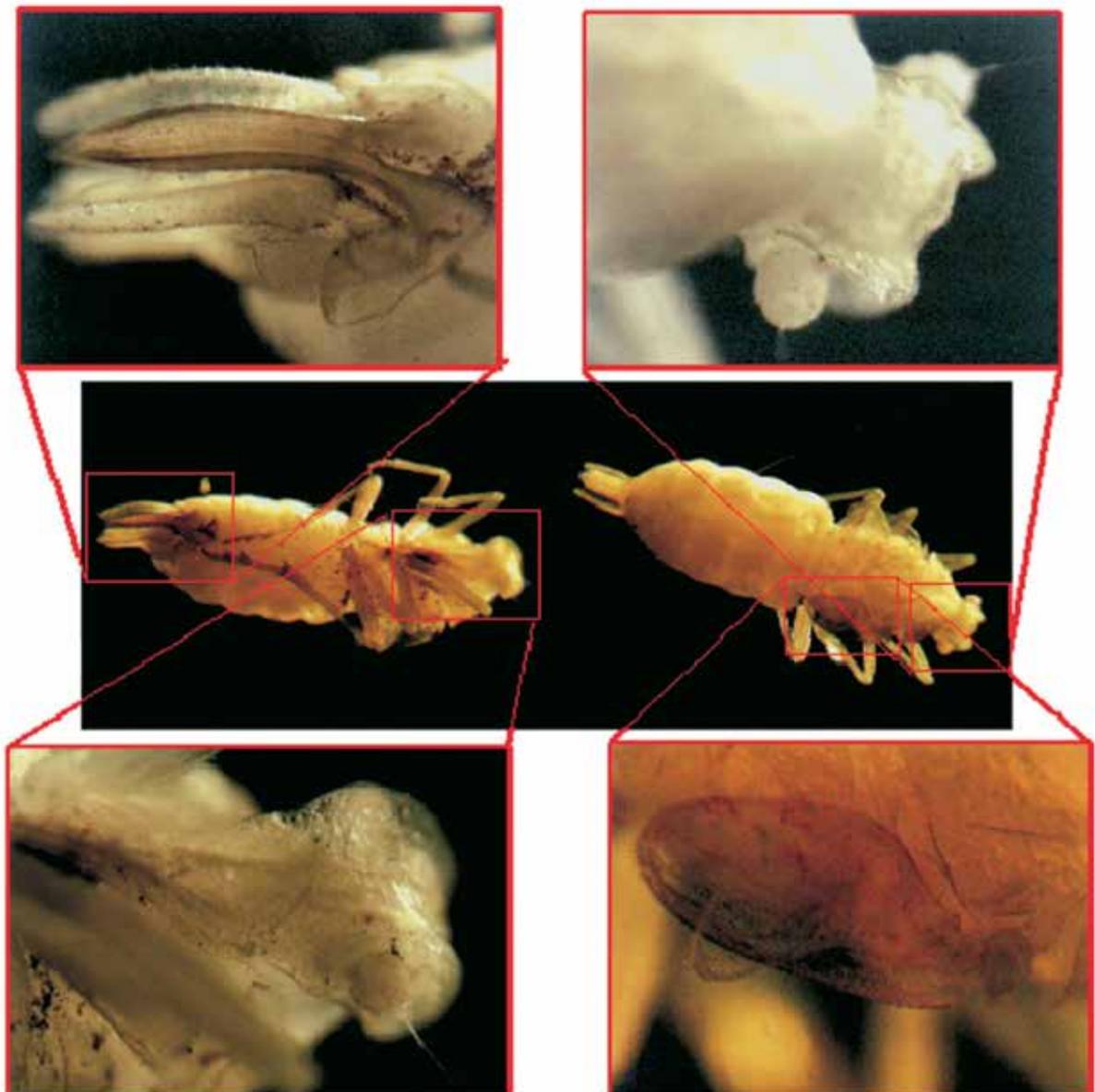


Figura 4.7: Homóptero troglóbico da família Cixiidae. Ao centro, o aspecto geral do organismo (vista latero-ventral e vista laterodorsal); Acima, à esquerda, detalhe do ovopositor, o que indica que o indivíduo é uma fêmea adulta; Acima, à direita, detalhe da região cefálica (vista dorsal), onde se percebe a anoftalmia; Abaixo, à esquerda, detalhe da região cefálica (vista látero ventral), evidenciando a anoftalmia; Abaixo, à direita, detalhe das asas, mostrando marcante redução destas estruturas. Fotos: Rodrigo L. Ferreira.

bem desenvolvidas além de forte pigmentação (Figura 4.8).

O conceito de espécie troglóbia diz respeito à sua restrição nos habitats subterrâneos. No entanto, para se saber precisamente se uma espécie é restrita aos ambientes hipógeos, é necessário se conhecer muito bem a fauna externa. Para as regiões tropicais (em especial a região neotropical), a mega-diversidade externa associada a um enorme grau de desconhecimento da fauna torna praticamente impossível se determinar se uma espécie é ou não troglóbia de acordo com sua distribuição. Desta forma, na tentativa de se aproximar de um diagnóstico mais confiável a respeito do real "status" de uma determinada espécie, foi criado o termo troglomorfo. Tal termo refere-se a características morfológicas utilizadas na determinação de espécies potencialmente troglóbias, já que resultam de processos evolutivos ocorrentes após o isolamento de populações em cavernas. Tais características estão preferencialmente relacionadas à morfologia hipogeomórfica, que tende a

ser mais recorrente em habitats hipógeos de maior volume (macrocavernas). Os troglomorfismos, desta forma, são específicos a cada grupo, não representando sempre as mesmas características (como redução de olhos e pigmentos). Sendo assim, para certos grupos, ausência de olhos e de pigmentos podem ser consideradas troglomorfismos, enquanto que para outros não. Para a maioria dos grupos, a redução da pigmentação melânica, das estruturas oculares e o alongamento de apêndices, podem ser consideradas características troglomórficas. Entretanto, as características a serem utilizadas para estes diagnósticos diferem dependendo do táxon analisado. Certos grupos, por exemplo, possuem espécies sempre despigmentadas e anoftálmicas, mesmo no ambiente epígeo (e.g. Palpigradi). Nestes casos, os troglomorfismos são mais específicos (como alongamento dos flagelômeros, aumento no número de órgãos laterais, dentre outros, para Palpigradi). A ausência de olhos e de pigmentos, para este grupo, não constituem troglomorfismos. Desta forma, é



Figura 4.8: Homóptero da família Cixiidae (epigeomórfico). A seta vermelha indica os olhos bem desenvolvidos e a seta verde indica as asas também desenvolvidas e funcionais. Notar a forte pigmentação do organismo. Foto: Rodrigo L. Ferreira



necessário se conhecer a biologia de cada grupo no intuito de se diagnosticar efetivamente a existência ou não destes caracteres.

Além disso, é sempre fundamental associar as características morfológicas encontradas em cada espécie como ambiente externo à caverna à qual a referida espécie se associa. Em muitos casos, a análise da morfologia, por si, pode não ser suficiente para determinar se a espécie é (ou não) troglóbia. Um exemplo: as traças pertencentes à família Nicoletiidae são sempre brancas e anoftálmicas. Se estivermos coletando em uma caverna localizada no sul de São Paulo, em meio à uma Mata Atlântica bem preservada e encontrarmos uma população cavernícola de uma traça desta família, não podemos excluir a possibilidade de que existam indivíduos da mesma espécie fora da caverna, já que na floresta, existem inúmeros habitats capazes de manter tais indivíduos (como o folheto sombreado e úmido da floresta, espaços sob troncos e rochas, dentre outros). Por outro lado, se estivermos coletando em uma caverna situada no interior da Paraíba, em meio à Caatinga, e encontrarmos outra população de traças da mesma família, podemos considerar que existem enormes possibilidades de se tratar de uma espécie troglóbia, já que as condições externas à caverna (de extrema insolação, elevadas temperaturas, solo ressequido, dentre outras) dificilmente permitiriam o estabelecimento de populações epígeas daquela espécie (de tegumento fino, frágil que permitiria uma rápida perda de água, levando à morte do indivíduo por dessecação). Sendo assim, muitas vezes nem mesmo um taxonomista especialista em determinado grupo é capaz de precisar se uma dada espécie é ou não troglóbia, sendo sempre necessário contextualizar suas características morfológicas em relação aos ambientes externos às cavernas às quais se associam.

4.1.2 O aporte de alimento para o interior das cavernas

A ausência permanente de luz solar exclui a possibilidade da ocorrência de produtores fotossintetizantes em locais profundos do

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

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

Assim, a matéria orgânica é importada para as cavidades por agentes biológicos ou por agentes físicos, de modo contínuo ou intermitente. O alimento também pode penetrar nas cavernas através da água de percolação, das aberturas verticais nos tetos e das paredes ou em "pulsos", carregado por rios ou riachos (Gilbert et al. 1994). Essa movimentação de nutrientes e detritos do meio epígeo para o meio hipógeo é freqüente; em alguns casos, 100% da matéria orgânica é importada (Culver, 1982, Howarth 1983).

No meio externo, esses detritos podem ser usados como alimento por inúmeros invertebrados aquáticos (Minshall, 1967; Allan, 1995; Galas et al., 1996). O aporte destes para rios e pequenos riachos é feito, principalmente, pela vegetação das margens, de acordo com sua estrutura e estado de conservação (Allan, 1995). Após cair nos rios, a água transporta estes detritos em direção às cavernas. Tais detritos, geralmente compostos por troncos,



galhos, folhas, bactérias e animais epígeos (zooplâncton e artrópodes aquáticos), acessam este ambiente por meio de sumidouros. No meio hipógeo, fragmentos vegetais são depositados ao longo dos cursos d'água, constituindo depósitos de matéria orgânica (Barr, 1967; Simon, 2000; Ferreira & Horta, 2001). Estes depósitos são lentamente decompostos por bactérias, fungos e demais invertebrados detritívoros (Galas et al., 1996; Simon 2000).

O biorrevolvimento da superfície do sedimento e a fragmentação do detrito proveniente da vegetação ripária são exemplos de processos realizados por organismos pertencentes às comunidades aquáticas, que resultam na liberação de nutrientes na água (Cummins et al., 1989; Devái, 1990). Assim, estas comunidades caracterizam-se como importantes componentes do sedimento de rios e lagos, sendo fundamentais para a dinâmica de nutrientes, a transformação de matéria e o fluxo de energia (Callisto & Esteves, 1995). Tal fato pode ser aplicado tanto para as comunidades epígeas quanto para as hipógeas. Dessa forma, todos os processos ocorridos no meio externo influenciam diretamente o ecossistema subterrâneo.

4.1.3 Dinâmica trófica em sistemas subterrâneos

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

Vários estudos em cavernas indicam a tendência de haver um menor número de espécies explorando os recursos alimentares,

geralmente limitadas a teias tróficas mais simplificadas. Considera-se, então, que as comunidades de invertebrados cavernícolas são menos complexas quando comparada às comunidades epígeas (Culver, 1982; Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Trajano, 2000).

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

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

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



Dessa forma, a produção primária que sustenta essa comunidade é realizada por meio da microbiota que cobre as superfícies da água e das rochas calcárias. Esse biofilme microbiano utiliza o sulfeto de hidrogênio como doador de elétrons no processo de quimiossíntese. O fluxo de energia é realizado por bactérias e fungos heterotróficos que se alimentam das bactérias autotróficas ou utilizam moléculas orgânicas excretadas por elas. A partir daí, ricas populações de flagelados, nematóides, oligoquetas, copépodos, anfípodos, colêmbolos, isópodes, aranhas e coleópteros, dentre outras, distribuem-se ao longo da cavidade, todas elas utilizando-se, de forma indireta, do recurso primariamente produzido pelas bactérias. Desencadeia-se, dessa forma, uma teia alimentar atípica em ambientes cavernícolas, envolvendo consumidores, predadores e detritívoros, todos baseados em produtividade primária proveniente de quimiossíntese (Camacho, 1992; Sarbu et al., 1996). A produção primária totalmente baseada em organismos quimioautotróficos é, entretanto, rara e não pode ser caracterizada como modelo trófico geral para cavernas convencionais.

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

No mesmo estudo, Simon (2000) investigou os processos de decomposição de folhas e de gravetos e o papel de várias fontes de matéria orgânica na dinâmica trófica no riacho

que percorre a Organ Cave, EUA. A matéria orgânica grossa (CPOM) se torna uma fonte alternativa de energia, além da dissolvida (DOM) em cavernas com grandes entradas. A caverna é eficiente em reter CPOM e a perda de massa de folhas é mais rápida que a de gravetos, que representam, então, uma fonte mais estável de carbono. Assim, FPOM e DOM tornam-se importantes fontes de alimento em locais mais distantes dos pontos de entrada, onde o transporte de CPOM é pouco provável. Consequentemente, a cadeia trófica cavernícola pode ser estruturada pela presença de raspadores de biofilme, coletores, fragmentadores e predadores (Simon, 2000).

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

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

No Brasil, o primeiro trabalho enfocando a disponibilidade e o processamento de recursos alimentares em um ambiente subterrâneo foi realizado por Souza-Silva (2003). A dinâmica trófica cavernícola foi avaliada nos meios aquáticos e terrestres da Lapa do Córrego dos



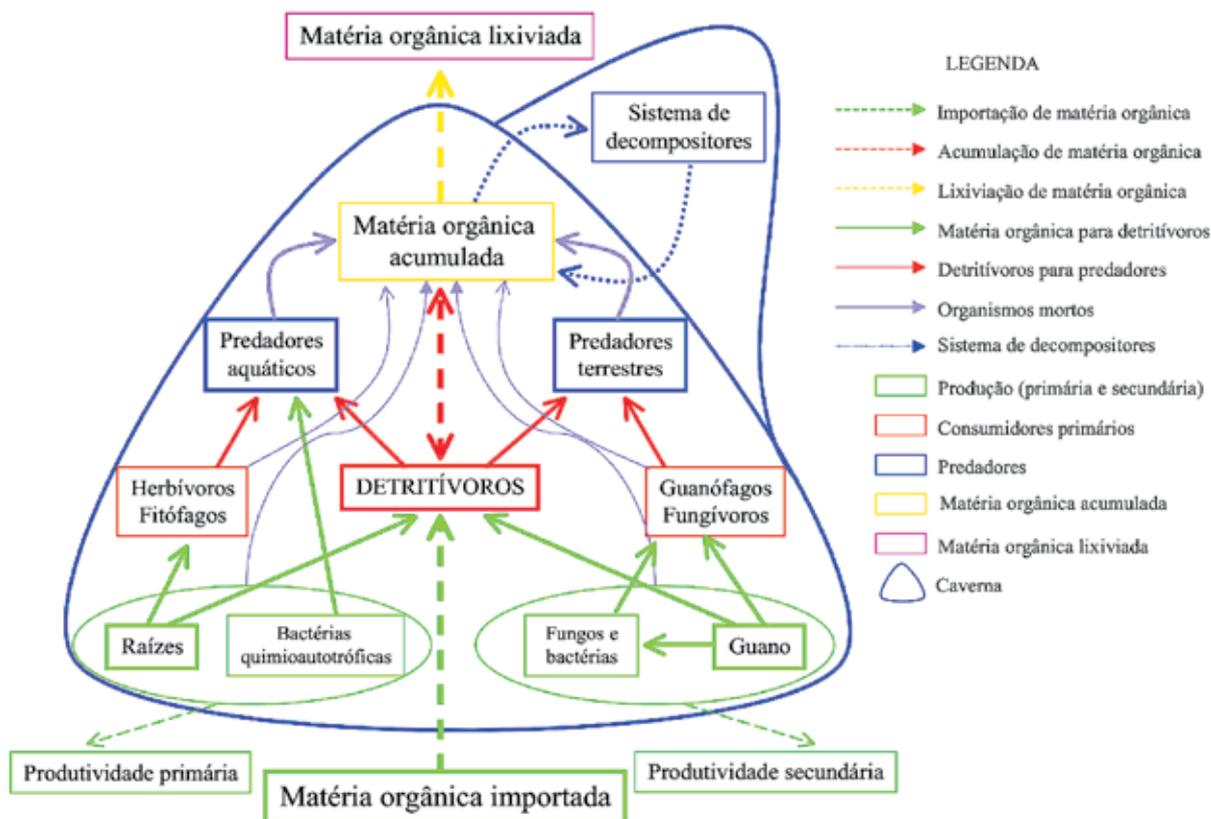


Figura 4.9: Diagrama representando principais estruturas e processos tróficos em uma caverna (Ferreira, 2004).

Porcos, Damianópolis, Goiás. Foram quantificados a disponibilidade e o consumo de recursos alimentares e analisada a estrutura da mesofauna, além da caracterização dos agentes e das vias de produção de matéria orgânica. No ambiente terrestre, a principal influência na composição, na distribuição e na abundância de invertebrados é determinada pelo guano de morcegos. O produto secundário é um recurso alimentar efêmero, dependente de uma constante produção para a manutenção das comunidades terrestres.

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

proporciona uma fonte diversa de recursos e micro-habitats, suprimindo a depleção causada pela ação lixiviadora dos fluxos de inundação (Souza-Silva, 2003).

A partir das informações básicas a respeito da dinâmica trófica cavernícola, o fluxo energético desses ecossistemas pode ser generalizado em determinadas estruturas e processos relativamente simples, principalmente quando comparados a sistemas epígeos (Figura 4.9).

4.2 EVOLUÇÃO EM AMBIENTES SUBTERRÂNEOS

Saber como certas características dos troglóbios evoluíram torna o estudo da vida em cavernas mais interessante (Ferreira & Martins, 1999). Em geral, esses animais apresentam várias especializações relacionadas ao ambiente cavernícola, resultantes de um processo biológico lento e contínuo conhecido como "evolução regressiva". Esse processo, ainda não totalmente esclarecido, é interpretado com a ajuda de duas hipóteses hoje



muito aceitas, por seu bom embasamento teórico e experimental: a hipótese do acúmulo de mutações neutras e a da seleção por pleiotropia.

Para descrever a primeira hipótese é fundamental esclarecer antes o que significa o termo "mutação neutra". Mutações são mudanças no código genético de um indivíduo, que podem levar a variações de forma, metabolismo ou comportamento transmissíveis a seus descendentes. As mutações são espontâneas ou induzidas (por radiações e por diversas substâncias químicas). Uma "mutação neutra" é aquela que não influencia nenhum aspecto importante da sobrevivência e/ou da reprodução de um organismo. A "neutralidade", porém, depende do ambiente em que esse organismo vive. Essa hipótese assume que a regressão de certas estruturas, observada em alguns organismos que vivem em cavernas, é resultado do acúmulo de mutações neutras (que aparecem casualmente em indivíduos de uma população) durante várias gerações. Sem função nesses ambientes, tais estruturas (olhos, por exemplo) seriam gradativamente reduzidas com o passar das gerações, pois mutações casuais nesse sentido não afetariam a sobrevivência ou reprodução do indivíduo. Uma mutação que, por exemplo, reduzisse o tamanho do olho de um peixe seria muito prejudicial se ele vivesse em um rio de superfície, mas neutra em uma caverna totalmente escura. Nesse ambiente, os olhos não têm função. O acúmulo de mutações neutras desenvolveria e fixaria um determinado caráter regressivo, desde que a população cavernícola continuasse isolada de populações externas. A hipótese de acúmulo de mutações neutras, portanto, propõe que a regressão de estruturas em muitos troglóbios pode ter ocorrido por causa da ausência de pressões seletivas (como a luz) que eliminariam indivíduos mutantes no meio externo: nesse meio, um peixe com visão reduzida teria sua vida dificultada e, portanto, menos chance de transmitir a mutação a seus descendentes.

A segunda hipótese baseia-se na pleiotropia, fenômeno no qual um só gene determina a modificação de vários caracteres (no

fenômeno oposto, herança poligênica, um só caráter é determinado por vários genes). Uma mutação em um gene pleiotrópico pode aumentar ou diminuir todos os caracteres que ele determina ou aumentar um e reduzir os demais. A hipótese da seleção por pleiotropia propõe que mutações em um gene pleiotrópico afetariam de modo diferente os caracteres determinados por esse gene, levando à seleção de um ou mais entre eles. Assim, em um peixe (hipotético) com um gene desse tipo, que condicionasse um caráter útil no ambiente cavernícola (como o sistema de linha lateral, que permite aos peixes detectar variações de temperatura ou pressão da água) e outro "dispensável" ali (como olhos), a seleção poderia resultar no aperfeiçoamento de uma característica e redução da outra, por efeito pleiotrópico negativo. Assim, o aperfeiçoamento de um caráter acarretaria a redução do outro associado, desde que isso não reduzisse as chances de sobrevivência e reprodução. No peixe hipotético acima (com o sistema de linha lateral e o desenvolvimento dos olhos ligados ao mesmo gene), mutações que tornassem mais eficaz o primeiro caráter seriam positivamente selecionadas, levando à redução dos olhos, caso o efeito pleiotrópico nesse gene fosse negativo. Como essa redução não afeta a vida do peixe na caverna, os olhos continuariam a ser atrofiados, podendo até desaparecer, no decorrer de várias gerações. Ao contrário da hipótese de acúmulo de mutações neutras, a de pleiotropia está diretamente ligada à escassez alimentar, condição comum em muitas cavernas.

Entretanto, se essa escassez fosse a principal determinante do processo evolutivo em cavernas, os depósitos de guano não poderiam ser considerados locais apropriados para a ocorrência da evolução regressiva. Em geral, tais depósitos oferecem recursos abundantes para as comunidades que vivem neles, e segundo alguns cientistas isso poderia desacelerar esse tipo de evolução nos organismos. Os troglóbios eventualmente encontrados em depósitos de guano, para esses cientistas, já estariam presentes nas cavernas (e já teriam evoluído até essa condição), e se associaram ao guano apenas depois de sua deposição



pelas colônias de morcegos. Em depósitos de guano de cavernas da Bahia e de Minas Gerais, principalmente nos últimos anos, têm sido descobertos numerosos organismos troglóbios e troglomórficos (que já mostram características de troglóbios). Populações relativamente densas de ácaros, colêmbolos e traças são encontradas com certa frequência nesses depósitos. Tais descobertas permitem questionar a hipótese de que a escassez de alimentos seria a principal determinante da evolução de características troglomórficas em organismos que vivem em cavernas, principalmente naqueles associados a depósitos de guano. A comparação da idade dos depósitos de guano com o tempo de desenvolvimento de um organismo troglóbio também ajuda esse questionamento. Um exemplo está na toca da Boa Vista, caverna do norte da Bahia. Em muitas de suas galerias há registros de guano fóssil pulverizado, e nessa caverna existem populações numerosas (dezenas de indivíduos) de uma traça troglóbia, da ordem Zygentoma. Amostras desse guano foram datadas pelo geólogo Augusto Auler em cerca de 16 mil anos. Tal prazo está incluído no tempo necessário para a evolução de características troglomórficas em espécies cavernícolas terrestres, estimado entre 10 mil e 100 mil anos por estudos empíricos. As traças, portanto, provavelmente desenvolveram essas características em um ambiente com bastante matéria orgânica, contrariando a idéia de que essa evolução estaria ligada à escassez de nutrientes. As informações obtidas nestas pesquisas reforçam a hipótese neutralista de evolução regressiva, já que a escassez ou não de alimento parece ter pouca influência no processo de evolução de organismos associados ao guano.

4.3 ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS

A fauna cavernícola brasileira começou a ser relativamente bem estudada a partir da década de 80 (Dessen et al., 1980; Chaimowicz, 1984; Chaimowicz, 1986; Godoy, 1986; Trajano & Moreira, 1991). Poucas cavernas, entretanto, foram estudadas intensivamente, todas elas cavernas calcárias (Trajano, 1987;

Ferreira & Pompeu, 1997; Ferreira & Martins, 1998,1999).

As cavernas são, até certo ponto, importantes para o equilíbrio de ecossistemas em suas áreas de ocorrência. As interferências sobre o meio físico decorrentes de fenômenos naturais ou da ação antrópica refletem-se diretamente nas cavernas que existem nas áreas sujeitas a estes impactos. A desestruturação de sistemas cavernícolas causada por diferentes impactos pode, de médio a longo prazo, causar modificações no sistema externo, acentuando ainda mais o estado de desequilíbrio de um dado ecossistema. Como exemplo, pode-se citar enchentes (Lisowski & Poulson, 1981; Lewis, 1982) ou mesmo a diminuição da água em drenagens hipógeas (Elliot, 1981) devido a atividades antrópicas. Estes eventos podem modificar intensamente o regime hídrico da porção à jusante ou à montante da drenagem, causando diferentes impactos sobre a fauna e flora aquática e às vezes até mesmo sobre comunidades ripárias. Outros exemplos podem ainda ser citados, como a remoção de populações de morcegos frugívoros de cavernas. Mesmo não existindo estudos detalhados a este respeito, parece bem real a possibilidade de redução nas taxas de polinização e mesmo de dispersão de sementes nos sistemas externos caso este evento venha a ocorrer, o que pode, a longo prazo, levar a eventuais "bottle necks" para muitas populações de plantas que dependam destes polinizadores (Myers, 1992). Estudos detalhados de sistemas cavernícolas são, desta maneira, essenciais para uma caracterização completa e confiável do ecossistema no qual as cavernas se inserem.

Impactos ambientais podem resultar de atividades naturais ou antrópicas, que produzem alterações bruscas em partes ou no ambiente como um todo. Cavernas calcárias, devido à sua gênese, passaram, em sua evolução geológica, por momentos de permanente escuridão e maior estabilidade ambiental que sistemas externos. Entretanto, a situação ambiental de cada caverna depende do tipo e do momento em que se encontra sua evolução geológica, sendo que diferentes sistemas



certamente encontram-se em diferentes condições ambientais (influenciadas claramente pelo regime climático externo regional).

Desta forma, qualquer evento que modifique a situação presumivelmente "original" de uma caverna calcária (permanente escuridão e elevada estabilidade ambiental), independentemente do tempo desde sua ocorrência, pode resultar em impacto. Situações que modifiquem um sistema cavernícola com velocidade relativamente alta podem causar distúrbios aos quais muitos organismos não conseguirão adaptar-se, resultando em extinção local de muitas taxa. Sendo assim, o tempo desde a ocorrência de um impacto, mesmo sendo importante para a evolução de grupos ou sistemas biológicos em cavernas, mostra-se, provavelmente, menos importante que a intensidade com a qual este evento tenha modificado um dado sistema cavernícola. Uma vez que a determinação do tempo transcorrido desde a modificação de uma caverna por um dado evento é praticamente inviável, o acompanhamento de certas variáveis (ambientais, tróficas e zoológicas) de uma caverna aliado à comparações entre estas mesmas variáveis, podem funcionar como objetos para a determinação do grau de conservação de um dado sistema, mesmo não sendo estas, as "ferramentas" mais adequadas para este tipo de estudo.

A conservação de sistemas cavernícolas é, desta forma, fundamental tanto para a preservação das muitas relações ecológicas existentes apenas nestes ambientes, quanto para a manutenção destes ecossistemas. Além disso, enquanto sistemas complexos (embora menos complexos que os ecossistemas epígeos) as cavernas possuem grande importância na medida que permitem a compreensão de muitas estruturas e processos ecológicos, podendo, assim, funcionar como excelentes locais para a pesquisa ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAN, J. D. **Stream ecology:** structure and function of running waters. Michigan: Kluwer Academic, 1995. 388 p.
- BARR, T. C. **Observations on the ecology of caves.** American Naturalist, Chicago, n. 992, v.101, p. 474- 489, 1967.
- BARR, T.C.; KUENHE, R. A. **Ecological studies in the mammoth Cave ecosystems of Kentucky.** II. The Ecosystem. Annales de Speleologie, Paris, v. 26. p. 47-96, 1971.
- CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita, Lago Batata (Pará, Brasil). Oecologia Brasiliensis. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia v. 1, p. 281-291 , 1995.
- CAMACHO, A. I. (Ed.). **The natural history of biospeleology.** Madrid: SCIC, 1992. 680 p.(Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales).
- CULVER, D.C. **Cave life evolution and ecology.** Cambridge/Massachussets/London: Harvard University, 1982. 189 p.
- CUMMINS, K.W.; WILZBACH, M.A.; GATES, D.M.; PERRY, J.B.; TALIAFERRO, W.B. **Shredders and riparian vegetation.** **Bioscience.** Washington, v. 39, n. 1, p. 24-30, 1989.
- DEVÁI, G. **Ecological background and importance of the change of chironomid fauna in shallow Lake Balaton.** Hydrobiologia, v. 1991, p.189-198, 1990.
- FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos,** 2004. 158 p. Tese (Doutorado em Ecologia. Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. **Natural and Human Impacts on Invertebrate communities in Brazilian Caves.**



- Brazilian Journal of Biology, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 7-17, 2001.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil)**. Diversity and Distributions, Oxford, v. 4, p. 235-241, 1998.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to brazilian caves**. Tropical Zoology, v. 12, n. 2, p.231-259, 1999.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Cavernas em risco de extinção**. Ciência Hoje, v. 29, n. 173, p. 20-28, 2001.
- FERREIRA, R. L.; POMPEU, P. S. **Riqueza e diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, minas Gerais, Brasil**. O Carste, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 30-33, 1997.
- GALAS, J.; BEDNARZ, T.; DUMNICKA, E.; STARZECKA, A.; WOJTAN, K. **Litter decomposition in a mountain cave water**. Archive Hydrobiology, v. 138, n. 2, p.199-211, 1996.
- GILBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater ecology**. San Diego: Academic, 1994. 571 p.
- GRAENING, G. O. **Ecosystem dynamics of an ozark cave**. 2000. 99 p. (Ph.D.) - University of Arkansas, Arkansas.
- HOLSINGER, R.; CULVER, D. C. **The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology**. Brimleyana, v. 14, p. 1-162, 1988.
- HOWARTH, F.G. **Ecology of cave arthropods**. Annual Review of Entomology, Palo Alto, v. 28, p. 365-389, 1983.
- JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; MCCOMB, A. J. **Root mats in ground water: a fauna-rich cave habitat**. Journal of North American Benthological Society, Glenview, v. 15, n. 4, p. 508-519, 1996.
- MINSHALL, G. W. **Role of allochthonous detritus in the trophic structure of the Woodland springbrook community**. Ecology, Washington, v. 48, n. 1, p. 139-149, 1967.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. **The cave environment**. Science, Washington, v. 165, p. 971-981, 1969.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Delimitation of epigean-hypogean ecotone zone in two limestone caves in southeastern Brazil**. Austral Ecology, v. 29, p. 374-382, 2004.
- SARBU, S. M.; KANE, T.C.; KINKE, B. K. **A chemoautotrophically based cave ecosystem**. Science, Washington, v. 272, p. 1953-1955, 1996.
- SOUZA-SILVA, M. S. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia. Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SIMON K. S. **Organic matter and trophic structure in karst groundwater**. 2000. 91 p. (Ph.D.) Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- TRAJANO, E. **Cave faunas in the atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation**. Biotropica, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea: introdução**. São Paulo: Re-despeleo Brasil, v. 1. p. 92, 2006.







5. ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM TERRENOS CÁRSTICOS E CAVERNAS

AUTOR: CRISTIANO FERNANDES FERREIRA
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS (CECAV)

5.1 INTRODUÇÃO

Os ambientes cársticos são delicados por natureza e denotam maior complexidade à gestão ambiental, na medida em que costumam esconder algumas das suas feições mais notáveis e importantes: cavernas, redes subterrâneas de drenagem, vazios oclusos e inacessíveis nos maciços.

Não se analisa uma região com características cársticas apenas levando-se em conta os aspectos superficiais, que normalmente são considerados nos estudos de impactos. O endocarste é determinado pelo exocarste, que por sua vez, determina o endocarste, numa relação intrínseca e dinâmica.

Apesar de não serem as únicas feições de destaque e de caráter inusitado, são certamente figuras centrais nas análises de tais ambientes, juntamente com outras importantes feições, como as surgências e sumidouros, as dolinas, os paredões encastelados, cheios de canyons e lapiás.

Mesmo em regiões consideradas anteriormente como pseudocársticas, como as que ao contrário das rochas carbonáticas são tomadas por rochas ditas menos solúveis, como os minérios de ferro ou pacotes siliciclásticos, têm sido observados fenômenos comuns e situações de semelhante fragilidade àquelas observadas nos ditos terrenos cársticos autênticos.

Essas características de interrelação das feições cársticas, superficiais e subterrâneas,

concorrem para uma maior susceptibilidade a impactos ambientais que, dependendo do tipo, podem afetar áreas bem mais distantes, como outras bacias hidrográficas (adjacentes) e numa rapidez nem sempre compatível com possíveis ações de controle. Essas regiões possuem a capacidade de encobrir os impactos em locais não imaginados e de acumulá-los de forma a induzir cenários trágicos repentinos, como no caso dos abatimentos em áreas urbanas. E o pior é que, na grande parte das vezes, os danos são irreversíveis, pelo caráter não renovável das feições (das cavernas e seus espeleotemas), bem como de sua fauna tão especializada e desenvolvida sob condições críticas, irreproduzíveis.

Na sequência serão abordados os diversos tipos de atividades humanas causadoras de impactos, que serão lembrados e debatidos. Muitas ações ou atividades possuem especificidades capazes de causar danos das mais variadas formas às cavernas, como a mineração, agropecuária, turismo, represamentos, obras lineares e de engenharia, urbanização (observe a figura 5.1, na qual está reproduzido o carste subjacente no sudeste da cidade de Minnesota-EUA, onde diversos tipos de ações potencialmente danosas estão representadas).

Também serão tratadas algumas formas de controle e minimização dos impactos gerados por tais atividades, promovida uma reflexão sobre as análises de contexto de empreendimentos, a definição de áreas de influência e





Figura 5.1: Representação do carste subjacente no sudeste da cidade de Minnesota-EUA, onde se observa diversos tipos de atividades antrópicas potencialmente causadoras de impactos ambientais neste frágil tipo de terreno. Fonte: http://www.winona.edu/geology/WRB/WRB/Downloads/SEMN_Karst_Illustration/SEMN_karst_illustration.jpg (autor desconhecido).



o monitoramento necessário à aferição da eficácia das medidas de controle de impactos nas cavernas.

5.2 IMPACTOS ÀS CAVERNAS E AMBIENTES CÁRSTICOS POR TIPO DE ATIVIDADE

5.2.1 Mineração

As atividades minerárias são talvez as que mais chamam a atenção quando o assunto é degradação ambiental, especialmente relacionada às cavernas. A grande maioria das rochas carstificáveis apresenta aplicações produtivas, algumas mais ou menos valorizadas de acordo com uma série de fatores econômicos, tais como abundância ou escassez local, demanda internacional, entre outros aspectos.

As formações ferríferas, por exemplo, são altamente demandadas pelo mercado internacional, e as cavernas que ocorrem nestes tipos de rocha estão em geral associadas justamente aos maiores teores de ferro.

Por outro lado as rochas carbonáticas, como o calcário, dolomito e mármore têm inúmeras aplicações (veja tabela 5.1) e são muito exploradas para abastecer os mercados internos, geralmente associados à agricultura (corretivos), construção civil (cimento, cal, ornamentação) ou demais ramos industriais (fundentes siderúrgicos, indústria química, etc.). Porém, até mesmo cavernas em rochas siliciclásticas, como os quartzitos, têm sido alvo de impactos por atividades minerárias, geralmente relacionadas à construção civil, para ornamentação (Pedra São Tomé, p.ex.).

São várias as formas e causas dos impactos a cavernas em áreas de mineração. Langer (2001) discute diversos tipos de impactos potenciais, como os causados pelas operações de engenharia na extração e beneficiamento, que geram impactos em cascata, relacionados à geomorfologia, poeira, barulho, fauna cavernícola, qualidade de água, e ao aquífero de modo geral.

Tais problemas variam também de acordo com o tipo de mineração e técnicas empregadas (ou falta delas).

As minas no Brasil são, em geral, a céu aberto, especialmente as que extraem minérios onde costumam ocorrer cavernas. Este tipo de mineração tende a causar mais problemas ao meio espeleológico do que as minas subterrâneas, que dificilmente ocorrem em áreas cársticas ou são planejadas de forma a causar conflitos.

Entretanto, é comum observar danos em cavernas por conta de um tipo de mineração pouco usual, a busca por salitre², ou até mesmo calcita em suas formas mais puras, atividade que levou muitas cavernas a impactos às vezes significativos em determinados trechos. Jennings (1985) alerta para a extração de minerais e outros produtos viáveis economicamente do interior de cavernas (tais como fertilizantes, pólvora e até afrodisíacos), por exemplo. A Gruta da Pedra Santa em Cantagalo-RJ foi bastante explorada por pessoas que acreditavam no poder das suas calcitas (espeleotemas) em combater a desnutrição infantil, mineral que era triturado e misturado ao leite de crianças.

Outro fator que em geral pode determinar o grau de impacto às cavernas no país é o tamanho do empreendimento minerário.

Frequentemente regiões em que ocorrem pequenos e grandes empreendimentos revelam que aqueles de menor porte são os que mais provocam danos às cavernas, quando comparados a empresas melhor estruturadas (maiores) e, por isso, mais visadas pelos órgãos de proteção ambiental e pelas comunidades.

Tal problema ocorre justamente pela falta de recursos para aplicar no planejamento, controle e monitoramento por parte de pequenos empreendedores.

É muito comum em diversas regiões do Brasil a exploração artesanal de calcários, por exemplo. Utilizam-se de explosivos improvisados, marretas para cominuição dos blocos entre outros instrumentos rústicos. Em geral,

2 Nitrato de potássio ou de sódio, podendo ocorrer nitratos de cálcio nas cavernas calcárias (nitrocalata $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Produto derivado das fezes de morcegos (guano) que vivem nas cavernas e cavidades cársticas. Originam as nitreiras e salitreiras. Foi amplamente extraído na história para a fabricação de pólvora. Existem relatos desse tipo de extração nas grutas de Lagoa Santa-MG e em cavernas dos Estados Unidos, por volta da guerra civil americana.

Tabela 5.1: Sumário dos vários usos das rochas carbonáticas e cal. Fonte: THE OPEN UNIVERSITY (1995), pag. 61.

UTILIDADES DO CALCÁRIO E CAL
1- Na agricultura para fertilizantes do solo, em fertilizantes, torta para gado, farinha para aves. Também em inseticidas e herbicidas.
2- Com soda, areia, etc., para fabricar vidros.
3- Pulverização de minas de carvão para evitar o espalhamento de chamas resultante de explosões localizadas.
4- Como carga para asfalto, borracha e pastas para limpeza.
5- Como escorificante e purificante de ferro e aço e outros metais.
6- Com argila, areia, etc., para fabricação do cimento.
7- Para fabricação de barrilha (Na_2CO_3) e soda cáustica (NaOH).
8- Como agregado para concreto, pavimento e lastro de ferrovias.
9- Com soda, fluorita etc., para a fabricação de aço e outros metais.
10- Na refinação do açúcar.
11- Na agricultura para fertilizante do solo.
12- Na purificação de gases.
13- Na desidratação de gases, óleos, solvente, etc.
14- Com coque em fornalhas de arco voltáico para produzir carbureto de cálcio.
15- Estabilização de solo em construções e estradas.
16- Com cloro produz pó alvejante seco (cloreto de cal).
17- Na agricultura e horticultura para fertilização de solo e pesticidas.
18- Para fazer hidróxido de cálcio medicinal.
19- Como carga de borracha e outros materiais.
20- Para fabricação de graxas e para absorver dióxido de carbono.
21- Para fabricação de tijolos, blocos leves, argamassas, estuque e caiação.
22- Com óxido de etileno como intermediário para fabricação de plásticos, agentes ativos de superfície e detergentes.
23- Para tratar minérios e preparar sais não-ferrosos.
24- Com sulfato de alumínio para produzir Branco Satin – um revestimento brilhante para papel.
25- Com cloro para produzir solução alvejante para algodão e fabricação de papel.
26- Para tratar e purificar esgotos e efluentes.
27- Com dióxido de carbono para produzir carbonato de cálcio precipitado para pastas de dente, cosméticos, etc.
28- Com caulim, etc., na fabricação de cerâmicas.
29- Para tratamento e purificação da água.
30- Para tratamento de peles e couro.
31- Para purificar constituintes para tintas, vernizes e pigmentos.
32- Na recuperação de gases de coque para produção de amônia.
33- Para extração de magnésia da água do mar.
34- Com óleos e gorduras para fazer velas e graxas.
35- Para fins medicinais, por exemplo penicilina, aspirina, etc.
36- Na fabricação e purificação de substâncias corantes.
37- Para produção de gomas e gelatinas a partir de couros e ossos.
38- Para purificação de óleos e petróleos.
39- Para purificação de sal comum.
40- Em resinas, plásticos e borrachas.
41- Em compostos orgânicos e inorgânicos e solventes.
42- Para tratar produtos da destilação da madeira.
43- Para estiramento de arames.
44- Para purificação de açúcares e xaropes.



tais atividades não são licenciadas pelos órgãos ambientais, ocorrendo clandestinamente por diversos micro-empresendedores, o que leva a uma série de situações indesejáveis do ponto de vista ambiental e social.

Mesmo pequenos empreendimentos que foram licenciados pelos órgãos ambientais ainda podem não conseguir implementar todas as medidas de controle consideradas e acabar afetando o patrimônio espeleológico. Há que se ressaltar que existem, é claro, inúmeros empreendimentos de pequeno e médio porte que conseguem realizar suas atividades sem que incorram em qualquer tipo de problema às cavernas. Da mesma forma que, grandes empreendimentos podem causar danos ao patrimônio espeleológico.

Portanto, deve-se considerar todo tipo de empreendimento da mesma forma, com o mesmo rigor das normas instituídas sem que se faça distinção.

A presença de inúmeras frentes de lavra de pequeno porte, consideradas individualmente num processo de licenciamento, pode sim causar danos irreparáveis ao patrimônio espeleológico e ao ambiente cárstico, especialmente se os órgãos ambientais utilizarem-se de pesos e medidas distintas, em função, por exemplo, das condições econômicas de cada empreendedor. Recomenda-se nestes casos a análise conjunta, num processo de gestão ambiental integrado e não apenas de cada empreendimento individualmente.

A associação entre empreendedores também é uma ação a ser incentivada nestes casos, a fim de solucionar impasses financeiros para a realização de estudos e adoção das medidas que se fizerem necessárias.

Independentemente do tamanho do empreendimento minerário ou do seu tipo, os principais impactos aos ambientes cársticos e cavernas são muito parecidos. O mais incisivo deles é, sem dúvida, a supressão parcial ou mesmo total da caverna. Tal medida ocorre normalmente em virtude do planejamento de lavra não considerar a localização das cavidades.

Atualmente, a legislação permite tais intervenções, desde que atendidos uma série de critérios estabelecidos.



Figura 5.2: Frente de lavra em Colombo-PR, onde se percebe na seta o que restou da Gruta Cinco Níveis.



Figura 5.3: Frente de lavra em Pains-MG, onde se observa a abertura de uma caverna oclusa no maciço.

Tem sido bastante comum a supressão de cavernas com o objetivo simples de se eliminar entraves burocráticos nos processos de licenciamento ambiental, fato que deve ser de grande preocupação dos órgãos ambientais responsáveis.

Também pode ocorrer este tipo de impacto em empreendimentos já licenciados, que durante a fase de operação acabam por suprimir total ou parcialmente cavernas oclusas no maciço, não identificadas durante os estudos ambientais (figura 5.2 e 5.3). Nestes casos é recomendada uma reavaliação da licença, considerando possíveis implicações ambientais resultantes da supressão de tais cavernas.

Outro impacto similar à supressão e bem comum é o soterramento ou entulhamento de cavernas, especialmente de suas entradas.

Ocorrem situações de cavernas na base dos maciços serem soterradas com o avanço da lavra a partir do topo, o que pode levar até a sua supressão total (figura 5.4 e 5.5).



Figuras 5.4 e 5.5: Na esquerda caverna encontrada numa área de lavra em Goiás. Na direita, o mesmo local, três meses depois. As setas mostram a antiga caverna soterrada.

Também é recorrente que cavernas presentes no interior de dolinas sejam soterradas por rejeitos ou estéril indevidamente ali colocado, ensejando com isso não apenas impactos diretos pela supressão da caverna como também impactos indiretos relacionados à recarga dos aquíferos.

Há que se considerar a importância de se preservar ao máximo as dolinas nestes tipos de empreendimentos. Assim como a ocorrência de problemas erosivos em ambientes de mineração especialmente desencadeados por estéreis ou rejeitos. Portanto, é essencial um projeto de controle dos sedimentos, através de leiras, tanques de decantação, entre outras medidas usuais para se evitar o assoreamento de cursos de água e cavernas.

A Gruta de Bacaetava, no Paraná é um exemplo claro deste tipo de impacto, tendo recebido sedimentos das áreas a montante através do Rio Bacaetava que atravessa diversas minerações antes de entrar nesta cavidade (figura 5.6). Na região, além da detonação de parte da Gruta de Bacaetava, houve também uma incisiva alteração da drenagem

natural do Rio Bacaetava, que causou também a destruição de mais de 160 metros da Gruta Escura, localizada a montante (figura 5.7) e atualmente com apenas 90 metros de extensão e diversos impactos.

Outros danos a cavernas bem comuns nestes tipos de empreendimentos são as rachaduras, deslocamentos de camadas da rocha e até mesmo abatimentos de galerias. Também se observam quebras de espeleotemas, originados geralmente pelos mesmos processos, ou seja, vibrações. Tais abalos ocorrem em geral pela realização de detonações nas proximidades das cavernas ou pela utilização de técnicas inadequadas de desmonte. Bancadas muito altas geram fortes abalos pela própria queda da grande massa de rocha retirada. Além de contra indicado pelos aspectos ambientais, tal prática pode ser extremamente perigosa, causando ultralancamento de partículas em um raio bem maior, por exemplo.

O uso simultâneo de quantidades exageradas de explosivos nos diversos furos (sem retardos, por exemplo) também é outro fator causador de abalos, uma vez que a energia



liberada não pode ser absorvida a contento pelo pacote rochoso. Tais problemas se devem muitas vezes pela realização de planos de lavra inadequados, que desconsiderem os riscos e até mesmo a geração de prejuízos financeiros ao próprio empreendedor, como o desperdício de explosivos ou a necessidade de detonações secundárias.



Figura 5.6: Sumidouro do Rio Bacaetava na Gruta de Bacaetava-PR. Notar ao fundo blocos detonados em mineração e barras de cascalho no leito do rio, resultado da não contenção de sedimentos a montante.



Figura 5.7: Rio Bacaetava, no Paraná, onde as setas mostram trechos da Gruta Escura destruídos e a redefinição do leito do rio.

Deve-se atentar também para danos desta natureza gerados pelo trânsito de máquinas pesadas em locais próximos ou sobre às cavernas, especialmente nas vias de acesso às minas.

Em geral, observa-se nas cavernas a ocorrência de rachaduras, deslocamentos, abatimentos e quebra de espeleotemas, na maioria das vezes ocasionadas por fatores naturais, próprios da evolução da cavidade. Portanto, nem sempre é fácil diferenciar o que é natural do que foi induzido pela atividade antrópica.

Mas, quando o impacto é incisivo, os sinais são flagrantes, geralmente com um acúmulo exagerado de blocos, rachaduras, espeleotemas com indícios de fraturamentos recentes, como por exemplo, a rocha sã, sem marcas de dissolução ou inundações, comuns nas paredes das cavernas (figuras 5.8, 5.9, 5.10).

Ainda relacionado ao problema anterior, ocorrem também impactos ambientais a cavernas por conta da poluição sonora e sobrepressão acústica resultantes da operação de máquinas e detonações. Tais problemas causam impactos principalmente à fauna cavernícola, sendo de difícil mensuração, mas nem sempre de difícil controle. A manutenção de áreas vegetadas no entorno das cavernas e a adoção de distâncias de segurança tendem a reduzir os efeitos destes ruídos.

Grande parte dos problemas citados concorre para alterações, às vezes importantes, na dinâmica hídrica do carste. Por conta do assoreamento causado por minerações em condutos subterrâneos, pode ocorrer o alagamento de porções a montante ou, por vezes, a seca de trechos a jusante anteriormente alagados.

Em casos extremos, há a possibilidade inclusive de desestruturação de galerias por estes motivos, com o abatimento de espaços anteriormente alagados. Ocorreram também casos de minerações que aparentemente causaram a redução de lagos internos em cavernas, como na Gruta Tamboril em Unai-MG. No caso da já citada região de Bacaetava-PR, mais de 160 metros de um rio subterrâneo foi destruído e recanalizado em uma mineração. Em muitas minerações, ainda, há o

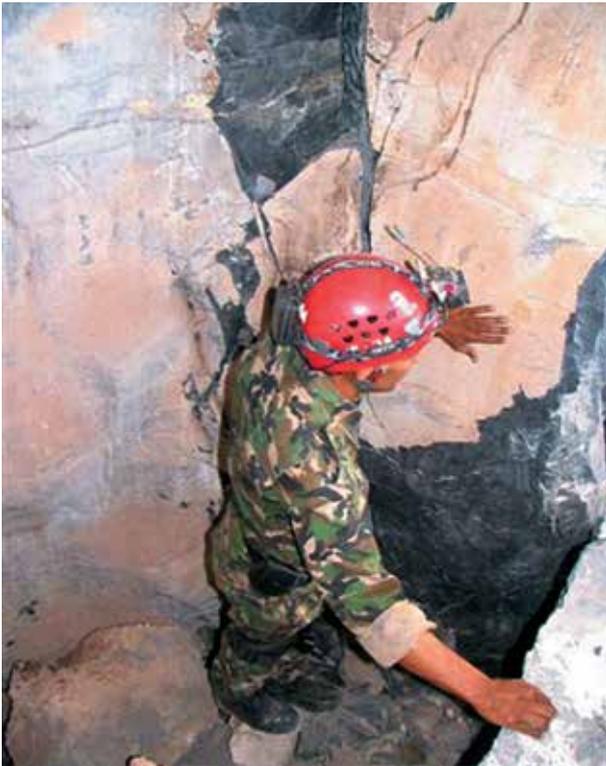


Figura 5.8 e 5.9: Na esquerda, caverna em frente de lavra ao norte do Distrito Federal, em Goiás. Na direita, caverna em minério de ferro próxima à frente de lavra na região de Carajás-PA. Em ambas, notar a diferença de cor entre a rocha sã e as rachaduras nas paredes da caverna.



Figura 5.10: Caverna em minério de ferro na região de Carajás-PA, nas proximidades de uma frente de lavra paralisada. Notar a sucessão de blocos abatidos do teto, e diferenças de cor entre a rocha sã e as paredes da caverna.



rebaixamento do aquífero, ou seja, o aprofundamento da mineração a porções inferiores ao nível do lençol, causando com isso a inundação das minas e a necessidade de bombeamento de água para a jusante destes locais. Medida que gera bastante impacto, já que pode secar feições próximas, sejam cavernas ou lagoas cársticas.

Muitas vezes as minerações se aproveitam de maciços aflorantes que também funcionam como áreas de recarga, com inúmeros lapiás, corredores de diáclases e dolinas. Tais medidas além de poder expor condutos ativos, resultam em menor captação de água pelo ambiente subterrâneo, o que pode levar a déficits hídricos em cavernas a jusante.

É comum também problemas de poluição de águas em mineradoras, geralmente associados à disposição inadequada de óleos e graxas das máquinas utilizadas. Como em tais ambientes é intrínseca a relação entre a superfície e o subterrâneo, frequentemente tais óleos ou graxas alcançam sistemas ativos de cavernas.

5.2.2 Agropecuária

As atividades agropecuárias são as que causam a maioria dos impactos nas cavernas brasileiras, justamente pela característica ocupação e alteração de extensas áreas, inclusive cársticas. São raros os casos de impactos extremos como a supressão, mas o grau de interferência pode ser desde baixo a alto, e em algumas regiões é onipresente. Em muitos casos os impactos são indiretos, causado por problemas gerados a muitos quilômetros de distância.

É preciso lembrar que com a chegada da agricultura moderna nos anos de 1970, ampliou-se bastante a ocupação das áreas centrais do Brasil, especialmente nos cerrados e coincidentemente nas regiões cársticas. Mas de forma indireta, também houve um aumento importante da demanda por insumos agrícolas, tanto defensivos potencialmente poluidores, como de correção de solo. Este último, gerando um aumento crescente da produção de calcários ou dolomitos moídos, representando

uma forte pressão sobre regiões espeleológicas através da mineração. Portanto, além dos impactos diretos da agricultura, que veremos agora, existem muitos outros inseridos nesta cadeia produtiva que podem, inclusive, apresentar resultados mais drásticos.

O primeiro impacto que mais se destaca em função das atividades agropecuárias é sem dúvida a supressão vegetal. Além da perda por si só das matas nativas, de importância ecossistêmica, há uma relação direta de impactos ao meio cavernícola.

Como já visto, o meio subterrâneo é totalmente dependente do meio superficial, não apenas como fonte de recursos orgânicos, como também em função da água, dos sedimentos que estão sempre reconstruindo o ambiente cavernícola, da manutenção do equilíbrio climático ou atmosférico, entre outros.

A retirada da vegetação no entorno e sobre a caverna é, portanto, um impacto bastante acentuado, porque tende a repercutir negativamente nos diversos fatores citados, diminuindo a quantidade e qualidade dos insumos orgânicos, intensificando o aporte de sedimentos terrígenos em detrimento dos químicos, e expondo especialmente as entradas das cavernas a condições mais severas do ponto de vista climático (figura 5.11). Há com isso, inclusive, uma exposição visual das entradas, que pode induzir atitudes de vandalismo, pela facilidade de acesso criada.



Figura 5.11: Planície fluvial encaixada entre muralhas cársticas na região de São Desidério-BA. A seta indica a localização de uma caverna na base do paredão, junto a plantações de subsistência.

Outra repercussão indireta da supressão vegetal é a diminuição de áreas de alimentação de morcegos, sabidamente importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico em cavernas.

Com a retirada da vegetação, a terra precisa ser preparada para a agricultura. Com isso, potenciais impactos podem ocorrer no epicarste e, conseqüentemente, resultar em danos à fauna subterrânea e também a processos naturais de desenvolvimento da caverna. Essa ação leva a um outro problema sério advindo da agropecuária, que é a questão da erosão, uma vez que os solos geralmente se encontram mais expostos, mesmo com culturas já instaladas (figura 5.12).



Figura 5.12: A seta mostra uma pequena dolina na região de Lagoa da Prata-MG, no fundo da qual se acessa uma caverna em pelitos, a Toca do Lobo. Notar que todo o entorno foi alterado para implantação de pastagens, o que provocou processos erosivos pronunciados, responsáveis pelo assoreamento da dolina e parte da caverna.

Cavernas assoreadas, cujas áreas de entorno foram tomadas por atividades agropecuárias, são bastante comuns e tal ocorrência pode levar a diversos impactos secundários, tais como o soterramento de substratos faunísticos, o entupimento de condutos com conseqüente alagamento ou secagem de galerias e, em alguns casos, a caverna pode ser completamente obstruída, o que representa praticamente uma supressão.

As alterações citadas levam também a mudanças na dinâmica hídrica de diversas formas. A primeira delas refere-se à qualidade das águas cársticas. A retirada da vegetação

nativa dificulta a infiltração e altera a composição da água. Pode não haver mais interação da água de infiltração com os substratos húmicos e raízes que normalmente lhe conferem maior competência dissolutiva. A interrupção do gotejamento e desenvolvimento de espeleotemas também pode ser resultante do desmatamento e entupimento de canalículos.

Com a menor infiltração e também com o maior assoreamento dos cursos de água subterrâneos, pode ocorrer uma tendência ao escoamento preferencialmente superficial, em detrimento do já estabelecido escoamento subterrâneo.

Como já comentado, áreas anteriormente alagadas podem secar pela interrupção de condutos, assim como trechos a montante, inclusive superficiais, podem sofrer alagamento.

Há também os impactos referentes à captação excessiva de água para irrigação, especialmente em regiões cársticas, onde todo o sistema fluvial está capturado no subterrâneo.

Em algumas regiões, as entradas das cavernas funcionam como cacimbas de água, onde muitas vezes são instaladas bombas motorizadas que adicionam novos impactos (poluição do ar, barulho, etc.). Em outras, onde a produção é ainda mais mecanizada, há a utilização de pivôs centrais, que demandam grandes quantidades de águas subterrâneas podendo levar ao rebaixamento do aquífero e até mesmo o colapso de estruturas cársticas (dolinas, cavernas).

Como já falado no início, a agricultura moderna se valeu de diversos artifícios para aumentar a produção de forma muito impressionante. Uma delas é altamente nociva aos ambientes naturais, incluindo-se as cavernas, trata-se dos agroquímicos, especialmente os defensivos, que podem ser bastante agressivos a ambientes sensíveis como as cavernas. Tais defensivos são aspergidos em grandes áreas e, via de regra, são lixiviados pelas chuvas e atingem as cavernas, seja pela condução dos cursos de água ou pela infiltração. Já os fertilizantes tendem a uma eutrofização das águas, o que também pode representar danos importantes, sobretudo às comunidades cavernícolas dependentes de uma boa qualidade



de água. Situação que pode ocorrer junto às pastagens, currais ou demais criações (pocilgas, granjas, matadouros, etc.), caso não haja algum tipo de prevenção.

Em regiões essencialmente agrícolas é comum observar cavernas sendo utilizadas como bota-fora ou depósitos de vasilhames de agroquímicos carcaças ou até mesmo como curral, aí dependendo das condições topográficas da caverna, por vezes sombreadas e mais aprazíveis ao gado. Em uma pequena caverna na região agrícola de Pains, MG, observou-se centenas de vasilhames vazios de agroquímicos despejados no seu interior, onde há um sumidouro eventual que drena as águas de chuva.

Há que se lembrar também das agroindústrias, que em geral causam danos por contaminação das águas, com o lançamento de efluentes não tratados nas drenagens e outras feições cársticas. Citando o caso de agroindústrias, Gillieson (1996) relata que foram jogadas mais de 5.000 carcaças de ovelhas na entrada de uma caverna no sul da Austrália (Earls Cave). Também no Hawai (Kaua'i Island), matadouros direcionavam seus efluentes para cavernas, impactando diretamente a fauna cavernícola.

5.2.3 Turismo

O turismo surge como uma alternativa considerada potencialmente sustentável e altamente rentável. Ao menos essa é a concepção usual, principalmente se confrontada com outros ramos produtivos mais dependentes dos recursos naturais.

Porém, nem sempre se observa sustentabilidade ambiental ou mesmo financeira neste tipo de empreendimento, especialmente promovido em cavernas, onde a atividade deve ser melhor planejada, considerando os fatores de sensibilidade e dificuldades inerentes ao ambiente escuro e caótico das cavernas.

Devido a uma série de fatores – dentre os quais se destacam as crises econômicas, a falta de empregos, e a demanda cada vez maior por novos atrativos, especialmente vinculados à aventura ou contemplação da

natureza, associados a uma falta de regulação rígida nesta área – nas últimas décadas ocorreu no Brasil uma maior visitação das cavernas, o que resultou na alteração drástica em dezenas, talvez centenas destas feições. Muitas consideradas patrimônio natural de grande relevância, justamente por suas características monumentais ou fantásticas, detentoras de grandes salões, pórticos, rios, cachoeiras, espeleotemas frágeis e de extrema beleza.

As atividades de visitação, em suas diversas formas, constituem importante ferramenta de educação e, de sensibilização, mas em muitos casos, se transformou em meio de destruição. Muitas cavernas foram descaracterizadas através desta prática.

Vale lembrar que, as cavernas são recursos naturais não renováveis, elas se formaram com o passar de muito tempo, de muita água. Portanto, apesar de benéfica em muitos casos, a atividade de espeleoturismo deve ser bem pensada a fim de resultar em ganhos na conservação destes ambientes, em conhecimento acerca do seu funcionamento e não apenas em recreação descompromissada.

Pode-se dividir a atividade de visitação a cavernas em muitas modalidades. A mais notória, a de massa, ocorre naquelas cavernas já estruturadas para o turismo (total ou parcialmente), muitas vezes com a adoção de sistemas de iluminação artificial, passarelas, entre outras infra estruturas e que recebem uma quantidade anual de visitantes bastante elevada (figura 5.13).

Em geral, a visitação em massa resulta em muitos danos, especialmente se as atividades não foram bem planejadas antes da abertura. Por outro lado, têm-se a vantagem de representar uma opção fácil à grande maioria da população. Além de valer como um chamariz, evitando muitas vezes a abertura de outras cavernas para atividades de visitação não planejada.

Outras modalidades bastante similares, entre si, são as atividades de exploração, de pesquisa, e aventura, esta última considerada um ramo essencialmente turístico.

As atividades de exploração, em geral, são conduzidas por pessoas e grupos previamente



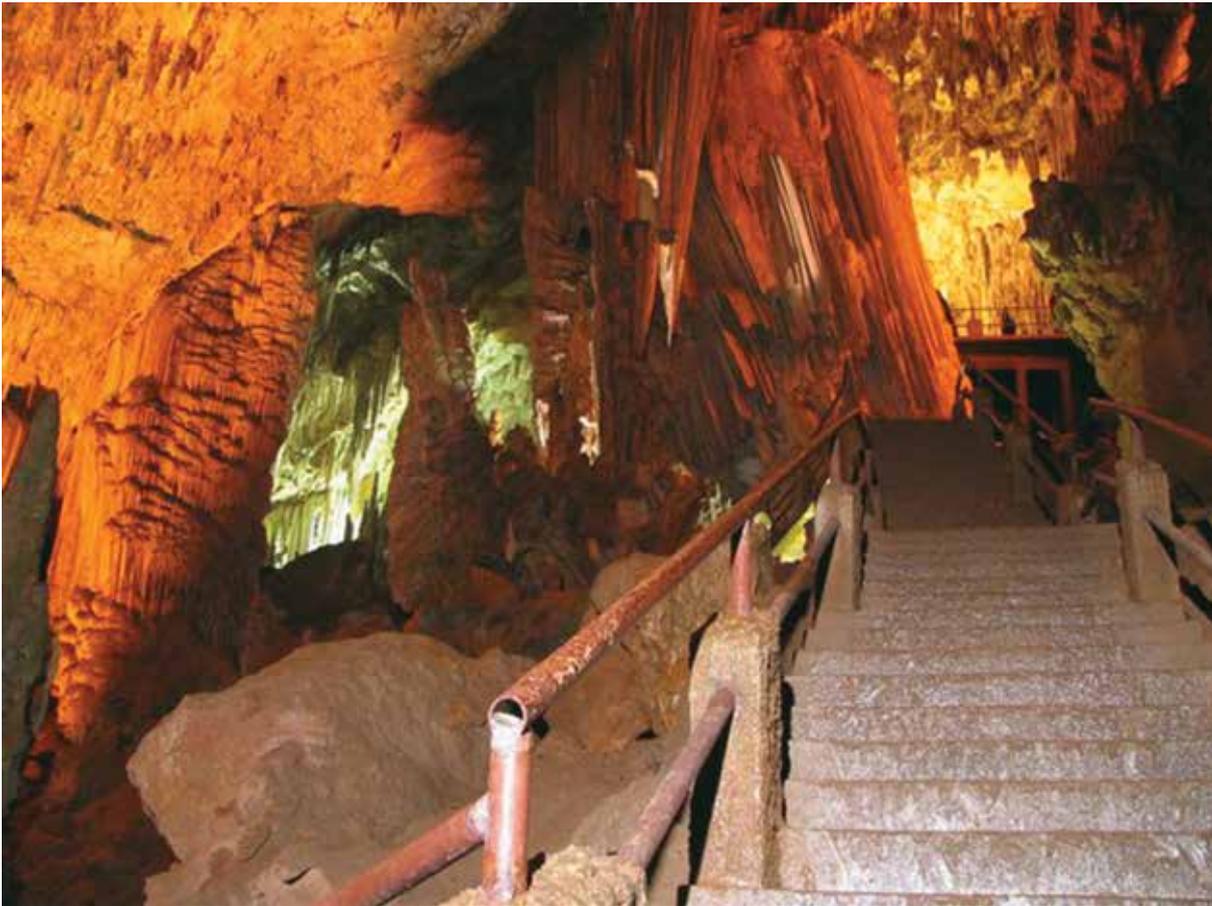


Figura 5.13: Pesadas estruturas de caminhamento na Caverna do Diabo, em Eldorado-SP. Notar ao fundo diversos pontos de iluminação artificial (lâmpadas incandescentes de grande potência).

preparados, coordenados e cujo objetivo se concentra em encontrar novas cavernas ou novas galerias, onde já estejam realizando o trabalho de mapeamento. Elas também ocasionam impactos, especialmente porque as cavernas novas precisam ser amplamente exploradas em busca de galerias ou outras características de importância. Com isso, ocorre o pisoteio de formações delicadas, a desobstrução de restrições ao avanço da expedição, tais como de espeleotemas, paredes ou sífões, além de outros impactos menos pronunciados. Entretanto, alguns danos são inevitáveis e na maioria das vezes, pensados de forma a serem minimizados.

Há que se lembrar que a melhor forma de proteger é conhecer. O que leva também ao outro tipo de atividade de visitação anteriormente citada, a visitação de caráter científico, cujos danos, em geral, são pouco significativos. Especialmente se considerado o

resultado em informações úteis, advindas de coletas e análise da fauna cavernícola, sedimentos e espeleotemas, que na maior parte das vezes não representam danos ecológicos ou estéticos significativos. Em alguns casos também são realizados testes em pesquisas aplicadas ao manejo de cavernas ou regiões cársticas, igualmente pouco significativas, no que tange os impactos produzidos.

Por outro lado, as atividades de aventura, podem ser bastante arriscadas, tanto para as cavernas, como para os próprios praticantes. Algumas cavernas são propícias a estas atividades, com a presença de lances verticais que exigem a adoção de técnicas específicas ou com a ausência de estruturas ou formas de vida sensíveis. Quando realizadas com responsabilidade, em geral, não há danos às cavidades. Porém, quando operadas de forma abusiva ou excessiva, podem resultar em danos similares às cavernas utilizadas para turismo de massa.



É comum observar ancoragens mal fixadas ou exageradas, quebra de espeleotemas, vestígios de acampamento em zonas pouco propícias, até mesmo com a utilização de fogueiras no interior das cavidades, algo extremamente contra-indicado.

As atividades de aventura podem envolver riscos, especialmente nos lances verticais mais extensos ou nas cavernas alagadas, onde se pratica o mergulho em caverna, técnica avançada de mergulho que exige muito treinamento, prática e concentração. De toda forma, há de se ter atenção para se evitar acidentes que inclusive podem ser fatais, a exemplo da queda na Caverna Água Suja-SP, do afogamento na Casa de Pedra-SP, do mergulho fatal no Buraco dos Impossíveis-BA ou na Lagoa Misteriosa-MS, entre outros. O mergulho em cavernas, porém, tem sido muito utilizado como ferramenta de exploração e conhecimento, com o mapeamento e a coleta de materiais importantes à ciência.

Uma variação bastante danosa de visita-ção a cavernas é aquela praticada geralmente de forma eventual, não sistemática, sem controle e que resulta em vandalismo. Geralmente manifesta-se através das pichações, quebra de espeleotemas e demais formações, roubo de fósseis, ataque à fauna, lixo e, até mesmo, a queima de fogos de artifício em seu interior (figura 5.14).

Algumas cavernas brasileiras foram totalmente descaracterizadas por esta ação, como por exemplo, a Gruta do Catingueiro em Lagoa da Prata-MG, ou a Gruta da Faustina, em Pedro Leopoldo-MG. Esta última está localizada às margens de uma rodovia movimentada e seu pórtico de entrada é chamativo, pelo tamanho, talvez por isso tendo sido tão depredada.

Por fim, há ainda as formas de turismo religioso, que podem ser permanentes, temporárias e ocasionais. As primeiras são representadas pelos santuários ou templos estabelecidos nas cavernas, que pouco mantém suas

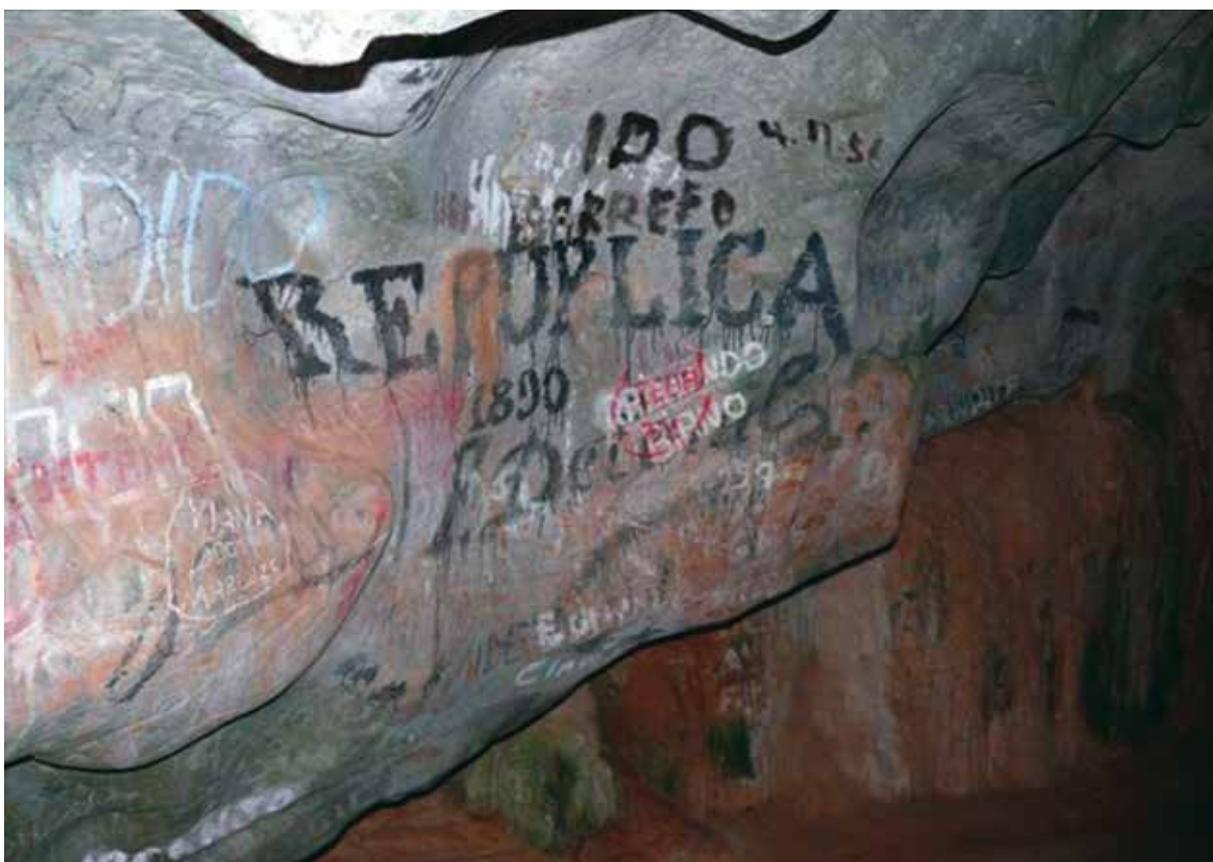


Figura 5.14: Parede pichada na entrada da Gruta de Ubajara-CE. Nesta foto observam-se pichações antigas, anteriores à criação do Parque, inclusive com caráter histórico (República, 1890).

características originais, a exemplo da Gruta de Bom Jesus da Lapa e da Gruta da Mangabeira, ambas no interior da Bahia (figura 5.15). Estas se equivalem às grutas turísticas de massa, pelo grau de intervenções e quantidade de visitantes anuais.

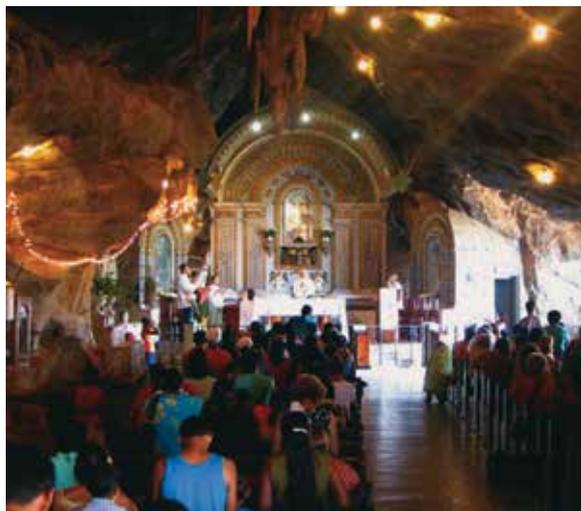


Figura 5.15: Igreja na Gruta de Bom Jesus da Lapa -BA. Notar que diversas modificações foram realizadas, inclusive com a colocação de um piso cerâmico, alargamento de galerias, entre outros.

Já as cavernas com turismo religioso temporário, são aquelas nas quais em datas religiosas são realizadas cerimônias, possuindo não mais que pequenos altares. Entretanto, costumam receber uma quantidade impressionante de pessoas em um curto período de tempo. São inúmeros os exemplos, como a Lapa Velha e Nova de Vazante-MG, Gruta da Paixão na região da Chapada Diamantina-BA, ou mesmo a Gruta de Ubajara-CE, que antes de integrar o parque nacional homônimo recebia até cerimônias de casamento.

O uso religioso ocasional agrega inúmeros tipos de manifestação religiosa em cavernas no país, não necessariamente na mesma cavidade e geralmente relacionado à rituais afro-brasileiros. Em geral, este tipo de uso não causa maiores impactos.

Sobre as alterações provocadas pelas atividades turísticas em cavernas, existem diversos estudos que apontam diferentes tipos de impactos. Um dos mais estudados é relativo às alterações microclimáticas, que consideram

parâmetros tais como temperatura, umidade relativa e gás carbônico (Gillieson, D., 1996; Mangin, A., et. al., 1999; Polido-Bosch et.al.,1997; entre outros). Tais levantamentos procuram estabelecer relações positivas entre a atividade turística, geralmente de massa, e a variação destes parâmetros citados, supostamente induzidos pela intensa visitação.

Em grande parte das vezes, sobretudo em cavernas cujas trocas energéticas são baixas com o exterior (poucas entradas, sem fluxos de ar ou água pronunciados, etc.), são observadas variações significativas nos parâmetros estudados. São especialmente comuns tais variações quando a caverna possui sistemas artificiais de iluminação, geralmente elétrica incandescente, mas também pode ocorrer pela simples transpiração humana ou sistemas pessoais de iluminação (carbureteiras). Nestes casos é comum o aumento de temperatura e a redução da umidade, parâmetros que podem variar de forma importante e com isso ensejar uma série de impactos à fauna e também aos espeleotemas, que dependem do ambiente cavernícola equilibrado para se manterem ou desenvolverem normalmente.

No Brasil existem diversas cavernas que são iluminadas por sistemas artificiais, como por exemplo, a Caverna do Diabo em Eldorado-SP, Gruta da Lapinha-MG, Gruta de Ubajara-CE, Gruta de Botuverá-SC, Gruta de São Miguel-MS, Gruta da Mangabeira-BA, entre outras.

A Caverna do Diabo chegou a possuir um sistema de iluminação com lâmpadas de vapor metálico com mais de 1000 watts cada luminária, dispostas em todo o seu trecho turístico. Em 2006, já com lâmpadas um pouco menos potentes, a gruta possuía 257 lâmpadas das mais variadas potências, o que totalizava na caverna cerca de 60 mil watts, algo suficiente para iluminar as casas de um pequeno vilarejo com 200 moradias, aproximadamente.

Atualmente têm sido propostos novos sistemas de iluminação que consumam bem menos energia, baseados em tecnologias novas como o LED (*Light Emission Diode*), que além de não produzirem quantidades significativas de calor, são econômicas, muito mais duráveis e não raras vezes iluminam mais. Outros



projetos têm proposto sistemas de iluminação mais branda e direcionada apenas a determinadas formações e valendo-se de lanternas de cabeça individuais para cada visitante. Com isso, diminuem-se as intervenções e poluição térmica, além de proporcionar uma experiência turística realista, incluindo-se ingredientes como a surpresa, mistério, o caráter exploratório, entre outros elementos mais autênticos do ambiente cavernícola.

Outro impacto comum a cavernas turísticas é a compactação do pavimento e demais modificações estruturais para facilitar ou adequar o ambiente ao propósito (figuras 5.13 e 5.16). Tais medidas podem provocar a perda de habitat a determinadas espécies cavernícolas que se desenvolvem nos substratos.

Também podem ocorrer problemas quanto ao escoamento eventual de água, causando erosão ou o acúmulo de lama nas trilhas. Em muitos casos, espeleotemas delicados e importantes são soterrados, pisoteados e completamente descaracterizados.



Figura 5.16: Pavimento compactado em parte da trilha na Caverna do Diabo, em Edorado-SP. Observa-se que os espeleotemas também foram afetados.

Em alguns casos, os empreendedores abrem valas nas trilhas, trincheiras em trechos de teto baixo, de forma a propiciar a passagem de pessoas sem que seja necessário se curvarem.

Na Chapada Diamantina, a singular Gruta da Torrinha possui diversos trechos com essas trilhas/trincheiras, o que sugere uma quantidade enorme de material retirado e

transportado para outros lugares. Em outras cavernas são retirados blocos e até mesmo espeleotemas para a passagem das trilhas ou escadas, muitas vezes envolvendo pesadas obras de alvenaria cuja construção certamente causou transtornos ao ambiente.

Para se evitar obras ou danos desnecessários é recomendável o estudo e planejamento adequado destes ambientes (Plano de Manejo Espeleológico). Indica-se a adoção de estruturas mais leves e apropriadas, de baixo impacto, em alguns casos suspensas do pavimento ou de formações frágeis e que oferecem muito mais segurança ao turista.

Diversos materiais têm sido testados no sentido de se portarem inertes ao ambiente, tais como madeira plástica ou ligas metálicas inoxidáveis. A grande dificuldade reside no caráter inóspito e rústico destes ambientes, que leva a uma deterioração rápida dos materiais. Mas a tendência é a adoção de interferências mínimas, quando necessárias, com estruturas mais leves, inertes, de fácil manutenção ou substituição completa.

Ainda com relação a estruturas construídas ou adaptadas em cavernas para o uso turístico de massa, há também aquelas com propósitos puramente estéticos, de caráter duvidoso, que podem representar danos consideráveis. Existem muitos exemplos, como as represas formadas Rio da Tapagem, dentro da Caverna do Diabo-SP ou o enchimento de água nos travertinos secos da Gruta de Maquiné em Cordisburgo-MG (figura 5.17). Tais intervenções, consideradas drásticas, se deram para formar espelhos d'água de forma a refletir o teto das cavernas. Entretanto, vários distúrbios podem advir desta prática, desde alterações no sistema hídrico, na composição faunística, como também na estabilidade micro-climática.

Visitação de massa em cavernas pode levar a um acúmulo indesejável de diversos materiais, principalmente lixo, ou até mesmo substâncias inusitadas. Jablonsky (1990, 1992) citado por Gillieson (1996) coloca que muitas cavernas turísticas apresentam uma camada de poeira recobrendo espeleotemas, cuja composição remete ao algodão presente nas vestes, células mortas da pele, esporos

de fungos, insetos e poeiras inorgânicas, tudo trazido pelos visitantes. Consta que foram retirados manualmente mais de 50 quilos desta poeira, referentes a cinco anos de visitação na Caverna Carlsbad, no Novo México. Certamente que tal insumo artificial pode levar a uma alteração no equilíbrio ecológico de tais cavernas, ou no desenvolvimento de espeleotemas.

Outras formas de lixo, mais comuns, tais como embalagens, copos ou garrafas descartáveis e até mesmo material fotográfico (filmes, flashes, máquinas) são encontrados em cavernas turísticas, mas quando inorgânicos e pouco abundantes oferecem unicamente impactos visuais.

Já os restos de comida são bastante prejudiciais ao equilíbrio ecológico. Na Gruta dos Ecos-GO, por exemplo,   beira do lago subterrâneo onde costumeiramente os grupos descansam, encontrou-se uma aglomeração anormal de aranhas marrom (*Loxosceles* sp.) sobre os restos de alimentos, provavelmente utilizando-os de forma oportunista ou aproveitando-se do atrativo exercido para outros seres pertencentes   sua dieta preferencial. De qualquer forma, esta aglomeração representava um risco aos visitantes, uma vez que se trata de uma aranha venenosa.

Recomenda-se sempre que os grupos não lanchem nas cavernas, e se o fizerem, procurem locais mais adequados, como as entradas e tenham todo o cuidado de levarem todo o lixo.

Outras formas de poluição advinda do espeleoturismo é a questão do alarido (poluição



Figura 5.17: Barragem construída na Caverna do Diabo em Eldorado-SP. A seta indica o barramento, que é sucedido de outro logo a jusante.

sonora) que pode causar estresse na fauna, especialmente em col nias estabelecidas de morcegos.

Também há a poluição luminosa, dos sistemas elétricos implantados, antes visto como um problema pelos distúrbios microclimáticos, mas que também pode causar o crescimento de organismos clorofilados exóticos ao ambiente originalmente af tico, tais como samambaias (figura 5.18), algas e musgo. Este crescimento causa alterações nas cores dos espeleotemas e demais formações (geralmente verde e preto).

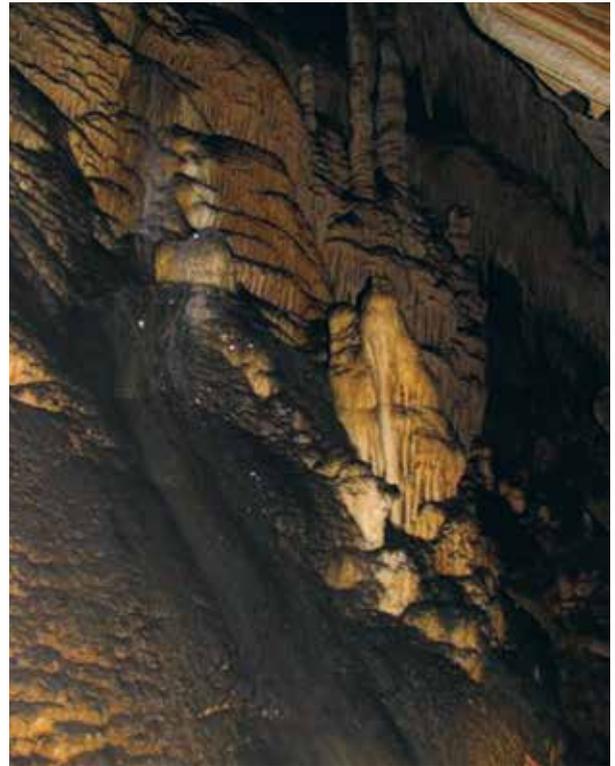
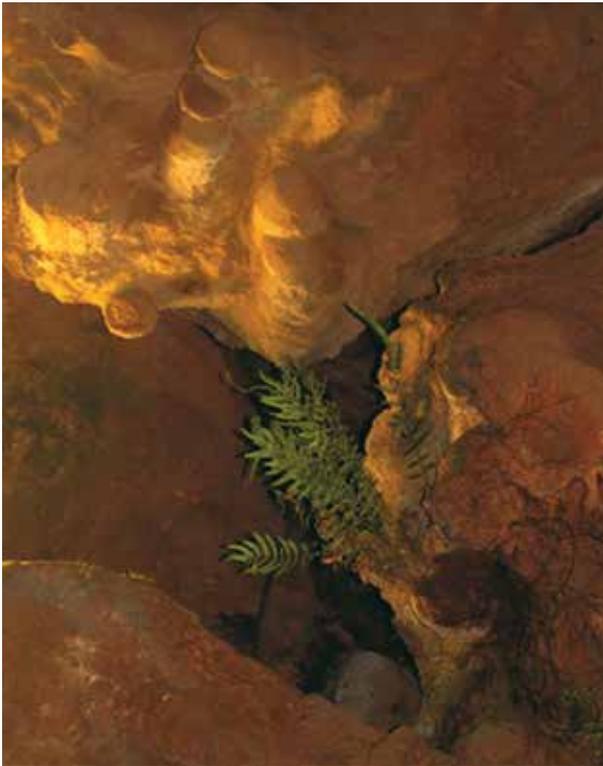
A utilização de sistemas pessoais de iluminação baseados no acetileno (carbureteiras) também pode causar problemas s rios, através da fuligem que geram, do calor e também dos subprodutos (borra).

A Caverna de Santana no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-SP apresenta, em grande parte do circuito turístico, essas fuligens negras depositadas sobre formações anteriormente brancas, fruto de mais de 50 anos de utilização turística deste sistema (figura 5.19).

Em algumas cavernas, com pouco ou nenhum controle do acesso turístico ocorrem também situações bastante indesejáveis, como acampamento em seu interior, ou proximidades, geralmente por conta de grandes travessias. É comum nestes casos encontrar dejetos humanos, o que além de causar muitos inc modos, também representa um aporte espúrio de nutriente e uma fonte de contaminação.

A Gruta da Mangabeira em Ituaçu-BA, no percurso turístico encontrado após o santuário religioso, observou-se problemas s rios deste tipo, além do acúmulo exagerado de lixo. Trata-se de um dos maiores percursos turísticos de massa do Brasil, com cerca de 3 mil metros de extensão, geralmente percorridos por grandes grupos (até 60 pessoas com apenas um guia), sem que existam neste percurso, banheiros instalados. Tal aço pode ser encarada como uma forma adicional de vandalismo.





Figuras 5.18 e 5.19: Na foto da esquerda observa-se o crescimento de samambaias na Caverna do Diabo, próximo a uma luminária. Na foto da direita tem-se um dos trechos turísticos da Caverna de Santana, em Iporanga-SP. Este trecho, num dos níveis mais elevados e secos da caverna, mostra o acúmulo exagerado de fuligem emitida pelas carbureteiras que foram utilizadas por décadas como meio de iluminação desta importante caverna.

Tais ações muitas vezes levam aos proprietários dos empreendimentos ou das terras onde se encontram cavernas procuradas turisticamente a adotarem portões como forma de controle.

Porém, até mesmo os portões podem significar conflito com a fauna cavernícola e nem sempre são eficazes, sobretudo se existem outras entradas ou o pórtico é muito grande.

5.2.4 Represamentos

Os represamentos, especialmente a formação de grandes lagos em geral com o propósito de geração de energia elétrica, são potencialmente danosos aos ambientes cavernícolas, sobretudo quando ocorrem em áreas cársticas bem desenvolvidas e complexas.

Com o crescimento do país e a demanda crescente por energia, as regiões cársticas têm sido alvo cada vez mais constante de projetos hidrelétricos.

Muitos lagos foram formados sem qualquer preocupação relativa ao patrimônio espeleológico. Vale lembrar que, em muitos casos, não apenas o patrimônio espeleológico foi perdido, como também arqueológico, paleontológico e faunístico associados aos ambientes de caverna. De acordo com a base de dados do CECAV, a hidrelétrica de Serra da Mesa no Rio Tocantins-GO alagou completamente 39 cavernas, podendo ter afetado mais 75 outras presentes nas suas proximidades (figura 5.20)³.

Além disso, a construção de barragens em regiões cársticas frequentemente se torna uma tarefa árdua e incerta, uma vez que a maior

3 Os dados utilizados nesta análise foram coletados por grupos de espeleologia, entre outros, durante anos, e algumas coordenadas podem não ter sido tomadas com aparelhos tão precisos como os GSPs atuais. Entretanto, são bastante válidas, sobretudo porque não houve continuidade das prospecções espeleológicas que exaurisse a possibilidade de outras cavernas na área afetada, o que leva a crer que a perda do patrimônio espeleológico foi bem maior.

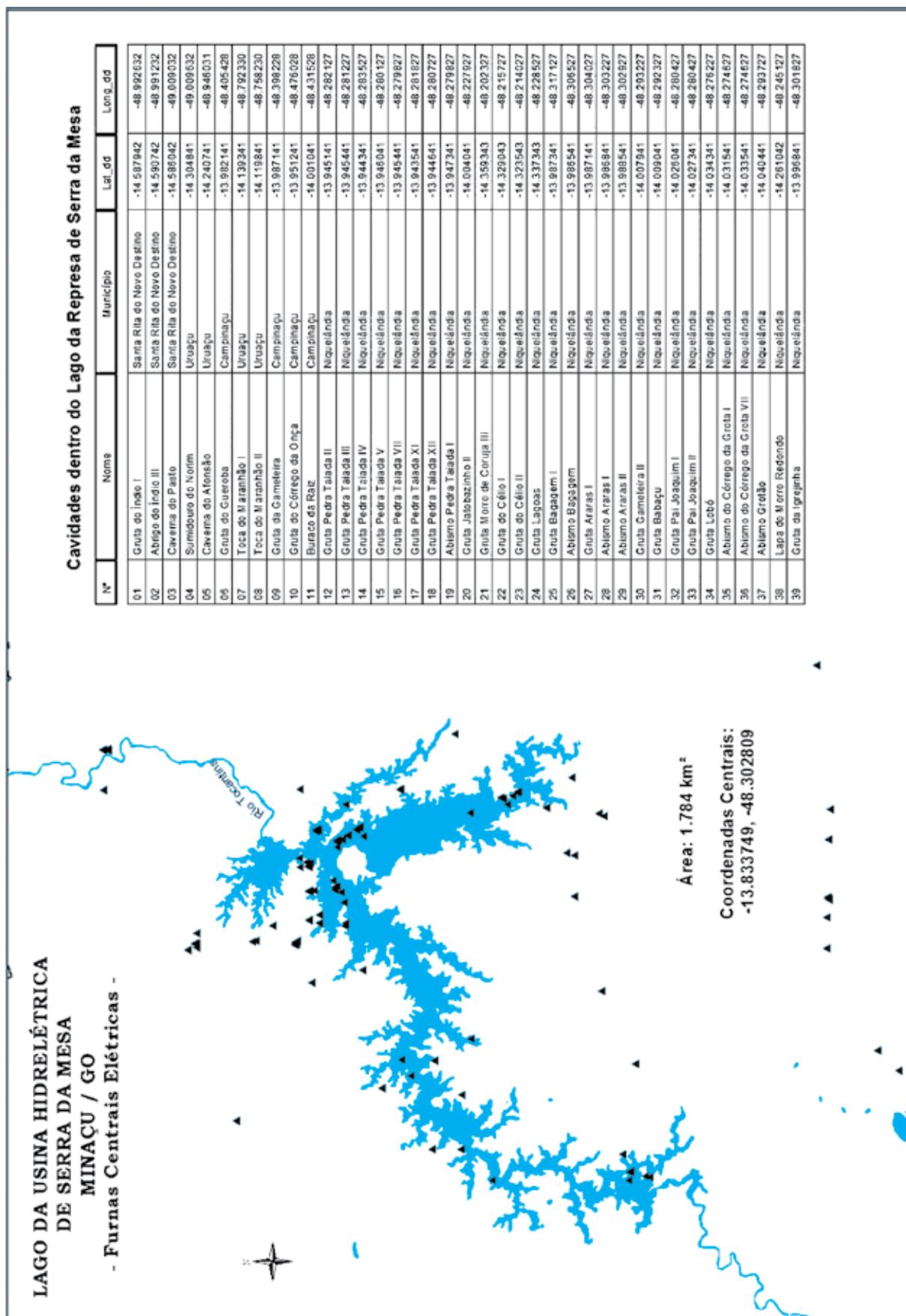


Figura 5.20: Lago da Hidrelétrica de Serra da Mesa-GO e localização das cavernas (triângulo preto). São 39 cavernas localizadas no interior do lago, feições descobertas antes da formação da barragem.



parte da drenagem está capturada no subterrâneo, onde nem sempre é possível determinar as rotas de fluxo ou a presença de grandes vazios (veja exemplo das rotas de fugas na figura 5.23, mais adiante).

São comuns na literatura internacional relatos sobre as dificuldades ou técnicas avançadas de como se conter a água em regiões tão cheias de fugas, de "buracos" (no sentido literal), ou de repercussões inesperadas do represamento, tal como o alagamento de regiões bem distantes da área projetada (ver por exemplo BONACCI, 1987, que cita casos específicos do carste iugoslavo).

Em relação ao ambiente cavernícola, os impactos causados por represamentos não são muito diversos, mas em geral bastante drásticos. O mais notório é a própria supressão completa pelo alagamento, especialmente daquelas cavernas associadas ao sistema fluvial principal, que será alvo do barramento.

Estas cavernas podem ficar bem abaixo da cota de alagamento, com isso não restando qualquer conduto ou ligação com o futuro meio superficial. Nestes casos o impacto é total, mesmo que não se destrua fisicamente as estruturas rochosas, a caverna é literalmente afogada, sem qualquer possibilidade de manutenção dos processos naturais relativos à fauna cavernícola ou suas formações físicas, como os sedimentos (figuras 5.21).

Nos casos de alagamento parcial, geralmente em cavernas pouco relacionadas ao sistema atual de drenagem (cavernas fósseis ou senis), o impacto pode ser igualmente danoso, especialmente à fauna cavernícola, que tem um dos principais locais de sua manutenção afetados, o substrato (pavimento). Nestes casos, são inúmeros os outros danos colaterais, como mudanças microclimáticas, especialmente o aumento exagerado da umidade, estagnação ou aumento dos processos



Figura 5.21: Na seta observa-se uma pequena caverna em rochas areníticas, na margem do Rio Xingu, Altamira-PA. Com a construção da hidroelétrica de Belo Monte, esta caverna será totalmente alagada.

de sedimentação, introdução de espécies exóticas, entre outros. Em alguns casos o alagamento parcial pode ser tão danoso como um alagamento total.

Outro impacto advindo da inundação de grandes áreas refere-se à mudança na dinâmica hídrica do carste, o qual pode agregar inúmeras cavernas em sistemas subterrâneos. Barramentos tendem a reduzir e equilibrar o fluxo de água a jusante, o que pode induzir até impactos positivos em alguns sentidos, mas significam mudanças repentinas nos processos de formação e desenvolvimento de cavernas freáticas, podendo afetar áreas bem mais extensas que as previstas.

Como é sabido, o sistema cárstico é interligado, tanto através de condutos subterrâneos, quanto ao meio superficial. Portanto, a redução da vazão pode gerar uma série de distúrbios como, por exemplo, a transformação de antigas ressurgências em sumidouros. Pode significar o secamento de lagoas cársticas ou de lagos subterrâneos antigamente rigidos pelo nível natural do aquífero ou até mesmo a ocorrência de abatimentos de cavernas anteriormente inundadas.

A mudança do nível de base local a montante também pode afetar cavernas em seus processos de desenvolvimento, especialmente relativos à erosão. A pressão exercida pela altura da lâmina d'água ou variações do nível do reservatório podem implicar em abatimentos de cavernas submersas ou em suas adjacências (MARINOS et. al., 1997; PILÓ, 1999)

No interior da área represada, como já dito, podem ocorrer fugas de água, por vezes generalizadas, inclusive pondo em risco o empreendimento. Em alguns casos, a formação de novas galerias ou a desobstrução de condutos previamente preenchidos por sedimentos pode ocorrer em virtude da pressão da lâmina d'água resultando em ressurgências inesperadas em locais distantes, (FORD, D.C. & WILLIAMS, 1989). Em outros, micros condutos espalhados por toda a área funcionam como ladrões, o que gera um problema bastante complexo em virtude da dificuldade de se localizá-los, pois, muitas vezes tais sumidouros estão escondidos sob o solo.

Em geral os empreendimentos se valem de mantas impermeáveis, geralmente argilosas, para recobrir locais potencialmente mais susceptíveis a tais processos. Porém, a obstrução de condutos que levavam águas de chuvas, por exemplo, a cavernas a jusante do barramento, pode afetar em diversos aspectos tais cavernas, diminuindo a umidade, aporte de sedimentos ou recursos orgânicos, entre outros. Além disso, de forma indireta, com a instalação de grandes lagos em áreas anteriormente vegetadas, há a possibilidade de ocorrer uma diminuição de recursos orgânicos na caverna em função da redução das colônias de morcegos, que perdem importantes fontes de alimento (supressão das matas).

Por fim, há que se atentar para os impactos causados na própria instalação dos empreendimentos hidrelétricos, ou qualquer formação de barragens. Por vezes são bastante incisivas as alterações, com a detonação de afloramentos, terraplenagem, retirada de terra ou outros materiais de áreas próximas.

Enfim, uma gama de alterações próprias de grandes obras de engenharia que podem afetar o ambiente cavernícola, em áreas adjacentes, de forma bastante incisiva. Podem ocorrer nestes casos problemas relacionados à vibração (detonações e trânsito de máquinas) como abatimentos, rachaduras, quebras de espeleotemas, entre outros, e também problemas erosivos, como assoreamento causados pela grande remobilização de solos.

5.2.5 Obras lineares e outras obras de engenharia

Outro tipo de obra que pode gerar conflitos com a preservação espeleológica está relacionada à construção de estradas, ferrovias, linhas de transmissão, gasodutos e oleodutos.

Assim como as hidrelétricas, tais empreendimentos tendem cada vez mais a ocorrer em áreas cársticas ou detentoras de cavernas, podendo representar problemas ambientais de diversos tipos.

Além do crescimento do país é preciso lembrar que as regiões espeleológicas ocorrem em vários tipos de rocha, disseminadas por áreas extensas, que podem ser cortadas



por tais empreendimentos, visto que têm a capacidade de atravessar muitos quilômetros de terra.

Obras lineares podem ocasionar a supressão de cavernas, especialmente se não forem realizados estudos e levantamentos espeleológicos nas áreas afetadas. Muitas vezes, pelo tamanho do empreendimento, não há uma prospecção espeleológica satisfatória em toda a extensão da obra, o que pode levar à destruição de cavernas ou trechos, por conta das intervenções mais drásticas, como detonações (vibrações e sobrepressão acústica) e terraplenagem (soterramento). Em geral, também é retirada a vegetação, não apenas no local, mas também em suas margens, o que varia de acordo com o tipo de empreendimento (rodovia, estrada simples, oleoduto, etc.).

Como já mencionado, os impactos ao meio cavernícola decorrentes da supressão vegetal em sua área de entorno podem ser bastante danosos, especialmente à questão da infiltração de água, aporte de recursos orgânicos, estabilidade micro-climática e formação dos depósitos sedimentares.

Em muitos casos tais empreendimentos se estabelecem justamente acima de cavernas. Um caso muito emblemático é a BR-122 no trecho entre a BR-242 e a cidade de Iraquara-BA na Chapada Diamantina. Tal rodovia, já instalada e com previsão de reforma, corre pouco acima da Gruta da Fumaça, Sistema Lapa Doce (uma das maiores cavernas do Brasil) e da Lapa da Torrinha, todas de grande importância espeleológica (figura 5.22). Em casos como esses os riscos de danos às formações, tanto na construção, como na operação da estrada é eminente.

Tais obras podem causar também os danos por vibrações, como os deslocamentos, rachaduras, entre outros. Existem vários relatos na literatura sobre este aspecto, com a inserção de obras lineares em áreas pouco estudadas que abrigam vazios internos que se colapsam representando inclusive danos à própria infra estrutura (WHITE, 1988; Zhou & Beck, 2005).



Figura 5.22: Esta foto mostra a proximidade entre a entrada da Gruta da Fumaça (seta), em Iraquara-BA e a BR-122 (espeleólogos). A estrada foi construída sobre trechos significativos da caverna.

Com a retirada da vegetação e modificação na morfologia das áreas em obra, por exemplo, a formação de aterros podem ocorrer problemas na dinâmica hídrica. Dentre eles, aqueles ligados a entupimentos e consequentes alagamentos ou secamentos, alteração de cursos de água naturais ou destruição de áreas de recarga. Também ocorrem problemas de erosão e especialmente o assoreamento. É comum também a formação de enxurradas e fluxos concentrados, por conta da impermeabilização das áreas e escoamento inadequado. Especialmente nos casos de asfaltamento, cujas águas mal dissipadas e direcionadas para áreas de cavernas podem induzir impactos como a remoção de sedimentos e outras alterações na morfologia interna das cavernas.

Com a operação dos empreendimentos, como as rodovias, ferrovias e até mesmo com os dutos, podem ocorrer acidentes bastante perigosos aos ambientes cársticos, sobretudo em função da sua natureza mais sensível e de rápida disseminação de poluentes.

É comum ocorrerem derramamentos de poluentes, combustíveis e demais materiais tóxicos no leito de tais infraestruturas. No caso das estradas, os motores dos próprios veículos produzem tais resíduos, especialmente graxas e óleos. Em se atingindo sistemas cársticos, a dimensão dos acidentes pode se ampliar e se acelerar de forma a não ser possível uma contenção.

Vale lembrar que no carste não existe um solo filtrante que minimize os danos por poluentes, conforme ressalta Kholer (2001). Desta forma, além de representar um risco ao ecossistema cavernícola, também pode contaminar o aquífero cárstico, frequentemente utilizado para abastecimento público e outros fins. Cavernas muito próximas às estradas sofrem também com a poluição sonora, além de mais expostas ao ataque de vândalos.

5.2.6 Urbanização

As intervenções em áreas urbanas ou adjacentes visando à instalação de estruturas ou mesmo a abertura de novos loteamentos são, em geral, atividades potencialmente lesivas

aos ambientes cársticos, especialmente as cavernas.

No país e no mundo diversas cidades situam-se em regiões cársticas, muitas delas de grande tamanho. No caso do Brasil, cita-se parte da Região Metropolitana de Curitiba e Belo Horizonte, além de diversas cidades de médio porte como Sete Lagoas-MG, entre outras.

Para se ter idéia, cerca de 25% das águas para abastecimento público no mundo são captadas de aquíferos cársticos (GILLIESON, 1996). E a cada dia aumenta a pressão sobre tais áreas em virtude do crescimento exagerado e não planejado das cidades.

As operações de loteamento frequentemente causam diversos distúrbios pelos aterros, operação de máquinas, desmatamentos, erosão, entre outras ações, como já discutido. Pode ocorrer o soterramento de estruturas cársticas importantes, intrinsecamente ligadas às cavernas, como sumidouros, dolinas e até surgências. Tais impactos ocorrem também pela instalação de outros empreendimentos, não apenas loteamentos, mas também indústrias.

É comum ocorrer a contaminação de águas cársticas por efluentes domésticos ou industriais nestas áreas (ver Kryza & Staško, 2000). Em alguns casos, ocorre o lançamento de efluentes diretamente nos solos ou sumidouros, que acabam funcionando como verdadeiros esgotos, alterando radicalmente as condições ecológicas destas cavernas e tendendo à destruição da fauna autenticamente cavernícola.

Como os rios em regiões cársticas são em geral subterrâneos, não se vê o tamanho do problema causado pelas emissões, e nem há grande preocupação em solucioná-los. É comum a captação de águas contaminadas para abastecimento, pois a comunicação dos aquíferos é altamente facilitada pela presença da rede interligada de condutos (figura 5.23). Além disso, devido à alta quantidade de cálcio e magnésio dissolvido e a consequente alcalinidade que isto implica ($\text{pH} > 7$), as águas cársticas frequentemente apresentam-se azuis e cristalinas, uma vez que floculam todo sedimento argiloso em suspensão (CASTRO & KOHLER, 1996), dando a falsa impressão de pureza ou potabilidade.



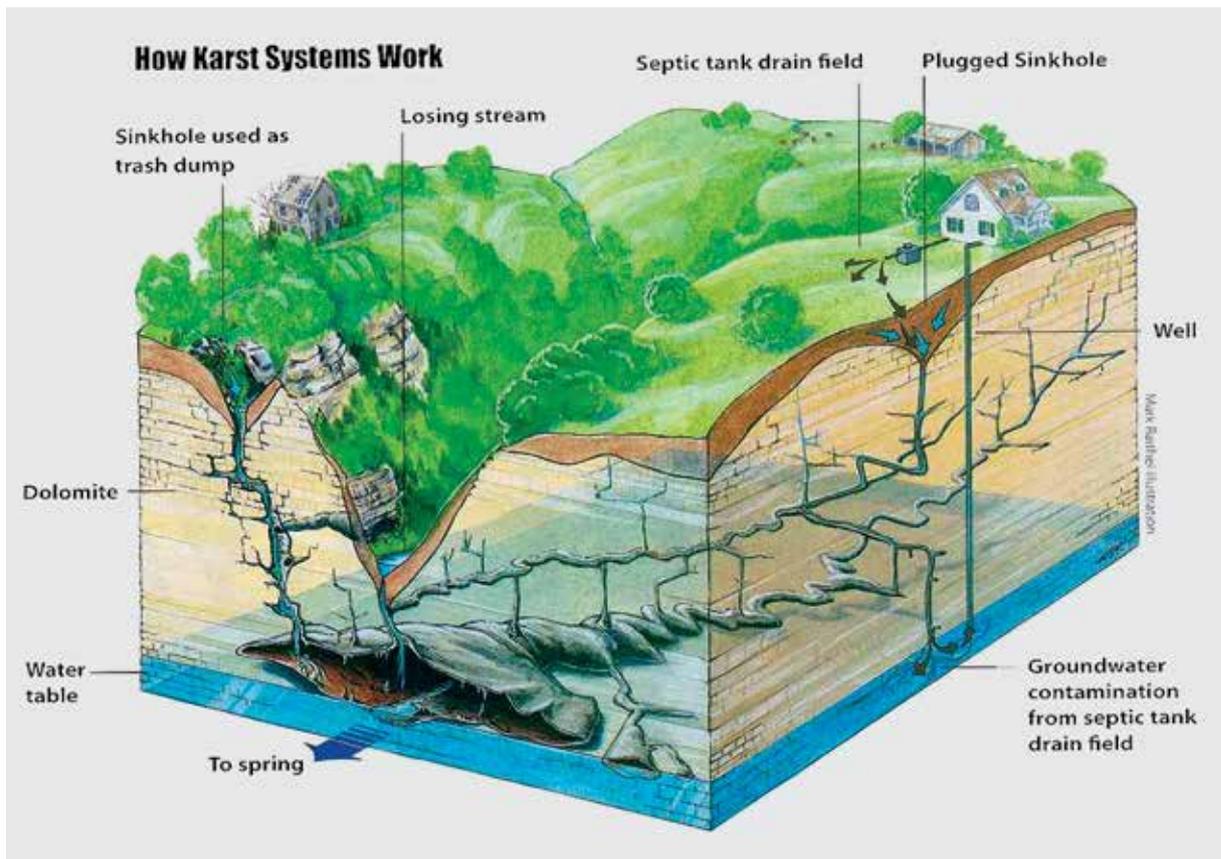


Figura 5.23: Representação de uma área cárstica que mostra a intercomunicação dos condutos, do aquífero cárstico e os problemas de qualidade de águas quando não se tem cuidados na emissão e tratamento dos efluentes domésticos, ou urbanos. Do alto, à esquerda, no sentido horário tem-se: dolina utilizada como depósito de lixo; fuga de água; sumidouro de fossa; dolina preenchida; poço; aquífero contaminado por sumidouro de fossa; direção da ressurgência; nível do aquífero; dolomito. Autor: Marck Raithel. Fonte: retirado da internet (http://www.courier-journal.com/blogs/bruggers/uploaded_images/KarstDiagram-70pct-730206.jpg)

Um fator adicional de contaminação em muitas áreas urbanas é a disposição irregular do lixo em botas-foras, lixões improvisados entre outros, também usual no interior das próprias cavernas ou dolinas (figura 5.24).

Além da contaminação das águas, ocorre também um problema bastante sério que pode repercutir em tragédias, que é a captação descontrolada e excessiva de águas do aquífero cárstico. Além de resultar em uma série de problemas como o secamento de lagoas cársticas ou lagos internos, pode também facilitar o abatimento de áreas totalmente alagadas, anteriormente sustentadas pela presença de água (Teixeira, et. al., 2000; Piló, 1999; Nakazawa, et. al. 1995).

Casos como este já ocorreram em grandes centros urbanos, como Sete Lagoas-MG, Rio Branco do Sul-PR e Cajamar-SP, onde casas e



Figura 5.24: Bota fora em caverna na região da APA Morro da Pedreira-MG.

ruas foram engolidas por crateras. Problemas referentes ao aquífero cárstico em regiões urbanas não cessam por aí. Também ocorre a impermeabilização de extensas áreas, inclusive de recarga, que podem induzir ora o secamento de cavernas, ora a inundação de trechos a montante.

Outra forma de poluição é a sonora, especialmente quando as cavernas se localizam muito próximas às cidades ou indústrias. Devido à proximidade com centros urbanos, problemas com vandalismo também são frequentes. Em alguns casos as cavernas são utilizadas como moradias improvisadas, ou como depósitos de tralhas diversas como materiais de construção ou até mesmo garagem (Gruta da Garagem em Pains-MG) ou campo de futebol (Gruta Pontes do Sumidouro, Campo Formoso-BA).

5.3 MEDIDAS DE CONTROLE E MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS

Toda atividade potencialmente lesiva ao meio ambiente deve ser acompanhada de medidas de controle ou mitigação prévia de impactos, especialmente em ambientes cársticos que, como já observado, possui especificidades que o tornam muito mais susceptível, principalmente quando se trata do manejo de suas águas.

Na maioria dos casos, medidas usuais de controle, já aplicadas em regiões não cársticas, são bastante efetivas. As boas práticas adotadas em minerações, agropecuária, entre outros, costumam ser simples e de baixo custo. Entretanto, dependendo do tipo de atividade e da demanda de recursos naturais, medidas mais complexas se fazem necessárias.

Outro fator complicador é a sucessão de empreendimentos de mesmo tipo de demanda por recursos em uma área comum, sem que sejam analisados em conjunto nos processos de licenciamento ambiental. Pois, um empreendimento analisado em separado pode ser potencialmente pouco danoso, por isso receber licenças mais permissivas. Mas ao se observar o conjunto dos empreendimentos de mesmo tipo na região, verifica-se a potencialidade e ocorrência de danos mais significativos.

Um exemplo típico é a questão da captação de águas subterrâneas. Numa região como Pains-MG, por exemplo, diversas atividades ocorrem de forma adjacente, como a mineração, produção de cal e cimento, agricultura, abastecimento público, entre outros. Todas demandantes de água, ou causadoras de impactos ao aquífero (rebaixamento de lençol, entupimento de áreas de recarga, etc.). Ao mesmo tempo, nem todas as atividades realizam um trabalho de monitoramento ou estudos hidrogeológicos prévios que considerem as características estruturais do aquífero (fraturamento, compartimentação, formação potencial de cones de rebaixamento, etc.), mesmo porque, são estudos caros e complexos, mas determinantes em muitos casos. Nestas situações é clara a necessidade de controle estatal, através de processos de outorga e gestão que considerem seriamente a questão do aquífero subterrâneo e não apenas os cursos de água superficiais.

Outra medida de controle, geralmente aplicada à mineração, mas também a outras atividades que causam abalos e vibrações, é a realização de estudos e testes com sismógrafos. Estes estudos são fundamentais para a definição de áreas de influência de empreendimentos, não apenas relacionados à proteção de cavernas.

No Brasil não há parâmetros definidos de vibração ou sobrepressão acústica específicos para cavernas, mesmo porque, tais formações podem ser muito diferentes, em função do tamanho, tipo de rocha, formações internas, entre outros. Em geral, utiliza-se como uma das referências os índices propostos pela ABNT para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas (ABNT, NBR 9653 de 2005). Com isso, pode-se definir, juntamente com outros fatores específicos do quadro natural, um raio máximo de expansão das áreas de lavra sobre as áreas de caverna. Em geral recomenda-se a adoção de raios mais conservadores, a terem a eficácia aferida por medidas de monitoramento.

Nas minerações e em outras atividades, tais como construção de estradas, terraplenagens e até mesmo áreas agrícolas,



é bastante recomendável a adoção de leiras de contenção para se evitar o assoreamento sobre feições delicadas, como dolinas, sumidouros, rios e mesmo campos de lapíás, ou outras áreas de recargas. No mesmo sentido, os tanques de sedimentação são úteis para se evitar o assoreamento dos cursos de água superficiais ou subterrâneos. As técnicas são as mais usuais, não sendo nenhum mistério sua aplicação nos empreendimentos ou sua solicitação pelos órgãos licenciadores. A única diferença é a observância de feições cársticas que, em determinados casos, eram encarados até mesmo como bota fora.

Outra forma de se conter partículas e especialmente a poluição sonora é a adoção de barreiras verdes, preferencialmente nativas, junto às áreas afetadas ou de produção. Além disso, a manutenção das matas sobre as cavernas e suas áreas de entorno não apenas é uma medida que minimiza efeitos danosos provocados pelas atividades humanas como propicia a continuidade dos processos naturais de desenvolvimento da caverna.

Na agricultura, além destas práticas serem desejáveis, mesmo porque podem favorecer na qualidade e quantidade de água disponível, deve-se também incentivar a adoção de práticas orgânicas (agricultura sustentável) de controle de pragas ou fertilização, com o objetivo de se evitar os diversos danos, inclusive contaminação dos recursos hídricos.

A redefinição de projetos é uma necessidade em muitos casos, especialmente quando se trata de cavernas de grande relevância. Mas, mesmo em casos onde uma série de cavernas de menor relevância se concentram, é possível se reduzir os efeitos lesivos com ações como: mudanças de pit de lavra, traçado de rodovia, ou até mesmo redução da cota de alargamento de uma hidrelétrica, por poucos metros que seja. A redefinição dos projetos deve ser baseada numa boa prospecção espeleológica, ainda na fase de licenciamento prévio e devem se considerar as vantagens ambientais e dificuldades de compensação, especialmente dentro da área dos próprios empreendimentos.

É comum, especialmente em minerações, a não definição de pit finais de lavra e com

isso o avanço da atividade sobre áreas anteriormente consideradas de proteção, sobretudo quando na época dos estudos para licenciamento ambiental não ocorreu uma discussão adequada entre a área de produção e de conservação ambiental, tanto nas empresas como nos órgãos de autorização e licenciamento.

Quanto às atividades espeleo turísticas, há inúmeras recomendações para se diminuir os efeitos negativos aos ambientes cavernícolas. Uma das mais evidentes é a utilização de sistemas pessoais de iluminação, preferencialmente de pouca emissão de calor, como as lanternas elétricas, que atualmente se tornaram muito mais eficientes e econômicas (super LED's, por exemplo).

Em cavernas com apelo turístico mais pronunciado é essencial a elaboração de técnicas de manejo, com o controle do número de pessoas por grupo, em geral reduzido, sobretudo quando só um guia é disponibilizado. Também há a necessidade de elaboração do zoneamento, que considere as maiores fragilidades da caverna e as preserve, bem como a adoção de estruturas mínimas e leves de caminhamento, ambos primordiais.

Em muitos casos, é indicada a procura por alternativas turísticas que aliviem a pressão sobre a caverna em destaque, especialmente naquelas de grande demanda. As alternativas podem ser trilhas interpretativas, cachoeiras, ou mesmo centros receptivos (museu, palestras, etc.). Vale ressaltar que os danos já instalados nas cavernas, como pichações, ou determinadas intervenções, como infra-estruturas de alvenaria, em geral representam danos irreversíveis, dado que a retirada ou limpeza pode ser tão ou mais danosa ou ambiente, além de muito onerosa.

5.4 ANÁLISES DE CONTEXTO DE EMPREENDIMENTOS E ÁREA DE INFLUÊNCIA

As análises de contexto dos empreendimentos são instrumentos dos mais importantes no licenciamento ambiental, para se vislumbrar o potencial de impacto da atividade sobre o patrimônio espeleológico. Necessita antes de tudo de um bom diagnóstico, em



que os elementos do quadro natural estejam bem caracterizados e seja possível analisá-los de forma integrada, especialmente a geologia, topografia, hidrografia, vegetação, entre outros. Neste sentido, uma boa prospecção espeleológica, além de um levantamento detalhado de todas as demais feições cársticas como dolinas, sumidouros, áreas de recarga, surgências, entre outros, é fundamental.

Todos estes elementos, aliado às demais informações relacionadas ao uso e ocupação da área (estradas e vias de acesso, por exemplo) devem ser resumidas em um bom e claro mapa de contexto. Tais mapas devem ser apresentados em escalas compatíveis com a abrangência do empreendimento, de forma a ser possível a visualização das feições cársticas (inclusive o mapa das cavernas projetadas em superfície) e sua relação com as intervenções projetadas.

Todas as intervenções, é claro, são apresentadas, incluindo-se as medidas de controle. Com isso, devem ser possíveis análises relativas a aspectos como: direção das águas pluviais sobre as plantas do projeto e possíveis carregamentos de sedimentos a feições de absorção do endocarste (sumidouros, dolinas); relação entre cota da lâmina d'água de inundação e localização das cavernas e demais feições; distância das frentes de lavra com relação às cavernas e raios de segurança em relação à vibração; contenção de sedimento das praças de lavra em relação às áreas de mata com presença de cavernas importantes; direção preferencial de fluxos, inclusive atmosféricos; possíveis problemas geotécnicos quando as obras forem realizadas sobre lineamentos estruturais ou possíveis rotas subterrâneas de escoamento; a discussão de uma possível área de influência das cavidades; entre outros.

Questões básicas de um bom mapeamento frequentemente são esquecidas em mapas deste tipo, como a escala, o norte geográfico, a legenda, e até mesmo as coordenadas geográficas dadas pela malha, o que tornaria o trabalho um simples croqui.

A área de influência das cavernas pode ou não estar representada nestes mapas, uma vez que nem sempre se chega a tal área sem

uma boa discussão prévia, inclusive com os licenciadores.

A área de influência de caverna está determinada na legislação, especialmente a Resolução CONAMA Nº 347/04, incluindo-se um raio preventivo de proteção, estabelecido aleatoriamente para qualquer caverna em 250 metros, a partir do contorno em projeção convexa superficial. Entretanto, é comum a leitura enviesada de tal artigo na legislação, considerando-se esta área como fixa e final, ou seja, não haveria necessidade de se mudá-la. O que se observa é que a determinados empreendimentos os 250 metros não causam prejuízos econômicos e prontamente são adotados como medidas finais. Em outros, fica inviável a realização do projeto, geralmente em minerações.

O que a regra estabelece, antes da projeção pura e simples dos 250 metros, é a realização de estudos para a constituição final da área de influência. Tais estudos são os mesmos (ou deveriam ser) que levam à caracterização do patrimônio espeleológico ou até o estabelecimento de graus distintos de relevância.

Neste sentido, há que se considerarem dois fatores, o primeiro relativo às características físicas de cada caverna ou região cárstica e o segundo relativo ao tipo de empreendimento, e o potencial de interferências no patrimônio espeleológico.

Não é possível o estabelecimento de um raio de proteção absoluta, da caverna frente a qualquer tipo de impacto. Dependendo do tipo de empreendimento, haverá um tipo de impacto, as áreas de influência deverão variar conforme tais realidades. Ocorre por exemplo, a localização de cavernas em áreas circunvizinhas a empreendimentos distintos mais igualmente lesivos, de forma potencial, ao ambiente cavernícola. Supondo que as cavernas não possuam formações frágeis, uma mineração pode até adotar um raio de 50 metros de distância de suas lavras em relação às cavernas, sem que haja impactos. Veja que tal medida hipotética é bastante inferior aos 250 metros sugeridos nas regras, mas ela deverá ser baseada nos estudos especificamente realizados frente a cada situação.



Uma lavoura a montante da caverna pode afetá-la mesmo a mais de um quilômetro de distância, sobretudo se um curso de água atravessar a cavidade. Ou seja, tudo varia conforme o tipo de empreendimento ou atividade e as características físicas do terreno e da caverna.

A determinação de tal área de proteção geralmente se dá confrontando os dados relacionados aos aspectos naturais e antrópicos. Dentre os naturais destacam-se: drenagem cárstica (superficial ou subterrânea) e a formação de sistemas espeleológicos, a questão da vegetação e sua maior ou menor inter-relação com o ambiente cavernícola, a configuração geoestrutural dos maciços e a maior ou menor capacidade de dissipar pressões, as áreas de vida de animais importadores de material orgânico, como os morcegos, a posição topográfica das cavernas frente ao empreendimento, entre outros. Enquanto, dentre os aspectos antrópicos: as cotas de alagamento, cones de rebaixamento hidráulico, propagação de vibração de partículas (tremores), disponibilização de sedimentos e efluentes, níveis de ruído, entre outros.

Deve-se ter em mente que uma vez definida a área de influência, esta não necessariamente fica estanque, imutável. Qualquer alteração nos projetos originais do empreendimento pode resultar em mudanças desta área.

Também é muito importante o monitoramento dos parâmetros pós operação, com o objetivo de se aferir a efetividade das áreas propostas.

Portanto, antes de se proceder a marcação das áreas de influência deve-se realizar uma ampla discussão, entre as áreas responsáveis pela elaboração dos estudos espeleológicos, áreas de produção ou de engenharia e os setores responsáveis pelas análises para licenciamento. Com isso evitam-se transtornos futuros, gastos adicionais e danos irreversíveis.

5.5 MONITORAMENTO

Existem várias formas de monitoramento ambiental, entretanto, as específicas ao meio espeleológico, ou que possam também

mostrar respostas em virtude de determinadas pressões são poucas e muitas vezes complexas.

Em empreendimentos que potencialmente afetam os recursos hídricos, no quesito qualidade de águas, são indicados os testes físico-químicos e biológicos em seus diversos parâmetros (acidez, DBO, turbidez, condutividade elétrica, etc.). São aplicados geralmente nos casos relacionados a impactos de mineração, agropecuária e urbanização.

Nas cavernas que possuem recursos hídricos, em geral coleta-se a água em diversos pontos, especialmente nas entradas (sumidouros), saídas (ressurgências) e no interior. Também são coletadas as águas nas áreas fontes, como por exemplo, a partir dos tanques de contenção de sedimentos.

O controle do volume de água também é algo interessante, sobretudo onde há interferências em rios subterrâneos ou em aquíferos que afloram em cavernas, sob a forma de lagos.

Em alguns casos é indicada a elaboração de modelos hidrogeológicos mais complexos para o carste, ainda na fase de licenciamento, como medida de controle e adaptação do empreendimento. Através destes dados é possível também realizar o monitoramento e aferir se o modelo persiste inalterado após a implantação do projeto.

Quanto aos danos estruturais, normalmente relacionados às detonações em minerações, recomenda-se um monitoramento periódico, com o fim de se aferir possíveis danos não existentes antes do empreendimento ou do estabelecimento de níveis perigosos de vibrações, por exemplo.

No caso das vibrações, pode-se utilizar dos sismógrafos, devidamente posicionados de modo a não ocorrerem erros na medição ou dados não comparáveis com os obtidos em fases anteriores. A instalação de sensores em sedimentos ou blocos pendidos pode significar absorção adicional das vibrações. A mesma coisa acontece se os sensores são instalados cada vez em lugares diferentes, pontos da caverna muito mais distantes das áreas de lavra, e assim por diante.

Deve-se ter o cuidado de se instalar os sensores em diversos pontos, de forma a cobrir razoavelmente os principais ambientes da cavidade, sempre suportados diretamente sobre a rocha. Tais eventos devem ser acompanhados preferencialmente pelos funcionários responsáveis pelo licenciamento. Já ocorreram casos em que o empreendedor realizou detonações em áreas diferentes daquelas programadas para os próximos anos, bem mais distantes da caverna testada, e ainda com apenas um sensor na entrada da gruta.

Uma forma indireta de se aferir danos por conta das detonações é a observação de espeleotemas frágeis, propícios à quebra. Também são observados os deslocamentos de massa, como quedas de blocos, escorregamentos, ocorrência de rachaduras novas, entre outros fatores. Nestes casos deve ser feita uma caracterização criteriosa antes da instalação do projeto ou atividade, sob o risco de haver confusão com os processos naturais antecessores.

Uma forma importante de monitoramento da qualidade ambiental nas cavernas é o acompanhamento da vegetação do entorno e sobre as mesmas. Trata-se de uma forma indireta de monitoramento, mas extremamente importante, visto que a relação é intrínseca entre conservação das matas circundantes e qualidade ambiental cavernícola.

O desmatamento ou corte seletivo devem ser contidos. Dependendo das intervenções do projeto pode haver perdas de diversos tipos, tanto relacionadas à biodiversidade como efeito de borda. Também neste sentido deve ser feito um trabalho de monitoramento da fauna cavernícola, principalmente dos morcegos, que podem ser ótimos bio indicadores.

Quando se trata de cavernas turísticas, muitas são as formas de monitoramento, geralmente envolvendo visitas periódicas. Nestes casos observa-se o desenvolvimento de organismos clorofilados (musgo, samambaias, etc.) que indicariam um acionamento excessivo do sistema de iluminação. Também pode-se notar ações adicionais de vandalismo, processos erosivos junto às trilhas ou qualquer distúrbio não notado anteriormente, também em relação à fauna cavernícola.

A realização de medições microclimáticas é também indicada para aferir se os parâmetros se mantêm em níveis correlatos aos anteriores ou aceitáveis. Dependendo da intensidade do uso turístico (cavernas de turismo de massa) e da importância da caverna é recomendado até a instalação permanente de termo higrômetros com data loggers para acompanhamento constante das variações de temperatura e umidade.

Uma forma muito importante de monitoramento da conservação espeleológica é por meio de sistemas de informação, como o que se propõe o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas, CANIÊ. Nele estarão registradas todas as cavernas conhecidas, incluindo-se as passíveis de impactos negativos irreversíveis, as de relevância máxima ou consideradas testemunhos, ou seja, não passíveis de impactos.

As diversas informações reunidas num cadastro como este podem gerar uma série de análises importantes, por exemplo, relativas ao nível de conservação efetiva de determinadas regiões, ou o menor conhecimento espeleológico de outras. Podem ser úteis na definição de áreas para preservação direcionadas aos ambientes cársticos e espeleológicos. E podem induzir ações de governo no sentido de se disciplinar o acesso ao patrimônio espeleológico, inclusive através de zoneamentos de regiões cársticas, principalmente em regiões de muita pressão e demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9653: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas:** procedimento. Rio de Janeiro, 09/2005.

BONACCI, O. **Karst hydrology, with special reference to the Dinaric karst.** (Springer series in physical environment). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1987.

CASTRO, J. M. C. & KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. In: CUNHA, S. B. &



- GUERRA, A. J. T (org..). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. cap. 7, p. 239-249.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. **Karst geomorphology and hidrology**. London: Unwin Hyman, 1989.
- JENNINGS, J. N. **Karst Geomorfology**. New York: Blackwell, 1985. pag.135-176.
- KOHLER, H. C. **Geomorfologia Cárstica**. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. cap. 7, p. 309-334.
- KRYZA, J. & STASKO, S. **Groundwater flow rate and contaminant migration in fissure-karstic aquifer of Opole Triassic system southwest Poland**. *Environmental Geology*, 39 (3-4), January, 2000.
- LANGER, W. H. **Potential environmental impacts of quarrying stone in karst – a literature review**. USGS, open-file report OF-01-0484. 2001. <http://geology.cr.usgs.gov/pub/ofrs/OFR-01-0484/>
- MANGIN, A. (et. al.) **Painted caves conservation: a stability problem in a natural system (the example of the prehistoric cave of a Gargas, French Pyrenees)**. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes: Earth & Planetary Sciences*, 1999. 328, 295-301.
- MARINOS, P. G. (et. al.) **Development of sinkholes during reservoir construction**. *Engineering Geology and the Environment: Balkema*, Rotterdam, 1997. 2769-2776.
- NAKAZAWA, V. A., PRANDINI, F. L., DINIZ, N. C. **Subsidências e colapsos de solo em áreas urbanas**. In: **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: ABGE, 1995. pag. 101-133.
- PILÓ, L. B. **Ambientes cársticos de Minas Gerais: valor, fragilidades e impactos ambientais decorrentes da atividade humana**. *O Carste, Belo Horizonte*, vol. 11, nº 3, pag. 50-58 julho de 1999.
- POLIDO-BOSCH, A. (et. al.). **Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain)**. *Environmental Geology*, nº 31, june, 1997. pag. 142-149.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 347, de 10 de Setembro de 2004, dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico.
- TEIXEIRA, W. (et. al.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. pag. 129-138.
- THE OPEN UNIVERSITY. **Os recursos físicos da terra; materiais de construção e outras matérias brutas**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1995. Bloco 2.
- WHITE, W.B. **Geomorphology and hidrology of karst terrains**. New York: Oxford Univ. Press, 1988.
- ZHOU, W. & BECK, B. F. **Roadway construction in karst areas: management of stormwater runoff and sinkhole risk assessment**. *Environ Geol* (2005) 47: 1138–1149.







6. ANEXO

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS

LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000.

Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

O VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA no exercício do cargo de PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

CAPÍTULO I DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Esta Lei institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação.

Art. 2º Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

I - unidade de conservação: espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características

naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção;

II - conservação da natureza: o manejo do uso humano da natureza, compreendendo a preservação, a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral;

III - diversidade biológica: a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas;

IV - recurso ambiental: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora;

V - preservação: conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visem a proteção a longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais;



VI - proteção integral: manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais;

VII - conservação *in situ*: conservação de ecossistemas e habitats naturais e a manutenção e recuperação de populações viáveis de espécies em seus meios naturais e, no caso de espécies domesticadas ou cultivadas, nos meios onde tenham desenvolvido suas propriedades características;

VIII - manejo: todo e qualquer procedimento que vise assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas;

IX - uso indireto: aquele que não envolve consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais;

X - uso direto: aquele que envolve coleta e uso, comercial ou não, dos recursos naturais;

XI - uso sustentável: exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável;

XII - extrativismo: sistema de exploração baseado na coleta e extração, de modo sustentável, de recursos naturais renováveis;

XIII - recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original;

XIV - restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original;

XV - (VETADO)

XVI - zoneamento: definição de setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos da unidade possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz;

XVII - plano de manejo: documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o

manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade;

XVIII - zona de amortecimento: o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade; e

XIX - corredores ecológicos: porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.

CAPÍTULO II

DO SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA – SNUC

Art. 3º O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC é constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais e municipais, de acordo com o disposto nesta Lei.

Art. 4º O SNUC tem os seguintes objetivos:

I - contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;

II - proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional;

III - contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;

IV - promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;

V - promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;

VI - proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;

VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural;



VIII - proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;

IX - recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;

X - proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;

XI - valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;

XII - favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;

XIII - proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

Art. 5º O SNUC será regido por diretrizes que:

I - assegurem que no conjunto das unidades de conservação estejam representadas amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, salvaguardando o patrimônio biológico existente;

II - assegurem os mecanismos e procedimentos necessários ao envolvimento da sociedade no estabelecimento e na revisão da política nacional de unidades de conservação;

III - assegurem a participação efetiva das populações locais na criação, implantação e gestão das unidades de conservação;

IV - busquem o apoio e a cooperação de organizações não-governamentais, de organizações privadas e pessoas físicas para o desenvolvimento de estudos, pesquisas científicas, práticas de educação ambiental, atividades de lazer e de turismo ecológico, monitoramento, manutenção e outras atividades de gestão das unidades de conservação;

V - incentivem as populações locais e as organizações privadas a estabelecerem e administrarem unidades de conservação dentro do sistema nacional;

VI - assegurem, nos casos possíveis, a sustentabilidade econômica das unidades de conservação;

VII - permitam o uso das unidades de conservação para a conservação *in situ* de populações das variantes genéticas selvagens dos animais e plantas domesticados e recursos genéticos silvestres;

VIII - assegurem que o processo de criação e a gestão das unidades de conservação sejam feitos de forma integrada com as políticas de administração das terras e águas circundantes, considerando as condições e necessidades sociais e econômicas locais;

IX - considerem as condições e necessidades das populações locais no desenvolvimento e adaptação de métodos e técnicas de uso sustentável dos recursos naturais;

X - garantam às populações tradicionais cuja subsistência dependa da utilização de recursos naturais existentes no interior das unidades de conservação meios de subsistência alternativos ou a justa indenização pelos recursos perdidos;

XI - garantam uma alocação adequada dos recursos financeiros necessários para que, uma vez criadas, as unidades de conservação possam ser geridas de forma eficaz e atender aos seus objetivos;

XII - busquem conferir às unidades de conservação, nos casos possíveis e respeitadas as conveniências da administração, autonomia administrativa e financeira; e

XIII - busquem proteger grandes áreas por meio de um conjunto integrado de unidades de conservação de diferentes categorias, próximas ou contíguas, e suas respectivas zonas de amortecimento e corredores ecológicos, integrando as diferentes atividades de preservação da natureza, uso sustentável dos recursos naturais e restauração e recuperação dos ecossistemas.

Art. 6º O SNUC será regido pelos seguintes órgãos, com as respectivas atribuições:

I - Órgão consultivo e deliberativo: o Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama, com as atribuições de acompanhar a implementação do Sistema;

II - Órgão central: o Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de coordenar o Sistema; e

III - órgãos executores: o Instituto Chico



Mendes e o Ibama, em caráter supletivo, os órgãos estaduais e municipais, com a função de implementar o SNUC, subsidiar as propostas de criação e administrar as unidades de conservação federais, estaduais e municipais, nas respectivas esferas de atuação. (Redação dada pela Lei nº 11.516, 2007)

Parágrafo único. Podem integrar o SNUC, excepcionalmente e a critério do Conama, unidades de conservação estaduais e municipais que, concebidas para atender a peculiaridades regionais ou locais, possuam objetivos de manejo que não possam ser satisfatoriamente atendidos por nenhuma categoria prevista nesta Lei e cujas características permitam, em relação a estas, uma clara distinção.

CAPÍTULO III DAS CATEGORIAS DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Art. 7º As unidades de conservação integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos, com características específicas:

- I - Unidades de Proteção Integral;
- II - Unidades de Uso Sustentável.

§ 1º O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei.

§ 2º O objetivo básico das Unidades de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

Art. 8º O grupo das Unidades de Proteção Integral é composto pelas seguintes categorias de unidade de conservação:

- I - Estação Ecológica;
- II - Reserva Biológica;
- III - Parque Nacional;
- IV - Monumento Natural;
- V - Refúgio de Vida Silvestre.

Art. 9º A Estação Ecológica tem como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.

§ 1º A Estação Ecológica é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares

incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º É proibida a visitação pública, exceto quando com objetivo educacional, de acordo com o que dispuser o Plano de Manejo da unidade ou regulamento específico.

§ 3º A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.

§ 4º Na Estação Ecológica só podem ser permitidas alterações dos ecossistemas no caso de:

I - medidas que visem a restauração de ecossistemas modificados;

II - manejo de espécies com o fim de preservar a diversidade biológica;

III - coleta de componentes dos ecossistemas com finalidades científicas;

IV - pesquisas científicas cujo impacto sobre o ambiente seja maior do que aquele causado pela simples observação ou pela coleta controlada de componentes dos ecossistemas, em uma área correspondente a no máximo três por cento da extensão total da unidade e até o limite de um mil e quinhentos hectares.

Art. 10. A Reserva Biológica tem como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.

§ 1º A Reserva Biológica é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º É proibida a visitação pública, exceto aquela com objetivo educacional, de acordo com regulamento específico.

§ 3º A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.



Art. 11. O Parque Nacional tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.

§ 1º O Parque Nacional é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º A visitação pública está sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento.

§ 3º A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.

§ 4º As unidades dessa categoria, quando criadas pelo Estado ou Município, serão denominadas, respectivamente, Parque Estadual e Parque Natural Municipal.

Art. 12. O Monumento Natural tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.

§ 1º O Monumento Natural pode ser constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários.

§ 2º Havendo incompatibilidade entre os objetivos da área e as atividades privadas ou não havendo aquiescência do proprietário às condições propostas pelo órgão responsável pela administração da unidade para a coexistência do Monumento Natural com o uso da propriedade, a área deve ser desapropriada, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 3º A visitação pública está sujeita às condições e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração e àquelas previstas em regulamento.

Art. 13. O Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais

onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.

§ 1º O Refúgio de Vida Silvestre pode ser constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários.

§ 2º Havendo incompatibilidade entre os objetivos da área e as atividades privadas ou não havendo aquiescência do proprietário às condições propostas pelo órgão responsável pela administração da unidade para a coexistência do Refúgio de Vida Silvestre com o uso da propriedade, a área deve ser desapropriada, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 3º A visitação pública está sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento.

§ 4º A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.

Art. 14. Constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável as seguintes categorias de unidade de conservação:

- I - Área de Proteção Ambiental;
- II - Área de Relevante Interesse Ecológico;
- III - Floresta Nacional;
- IV - Reserva Extrativista;
- V - Reserva de Fauna;
- VI - Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e
- VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Art. 15. A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.(Regulamento)



§ 1º A Área de Proteção Ambiental é constituída por terras públicas ou privadas.

§ 2º Respeitados os limites constitucionais, podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada localizada em uma Área de Proteção Ambiental.

§ 3º As condições para a realização de pesquisa científica e visitação pública nas áreas sob domínio público serão estabelecidas pelo órgão gestor da unidade.

§ 4º Nas áreas sob propriedade privada, cabe ao proprietário estabelecer as condições para pesquisa e visitação pelo público, observadas as exigências e restrições legais.

§ 5º A Área de Proteção Ambiental disporá de um Conselho presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes dos órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e da população residente, conforme se dispuser no regulamento desta Lei.

Art. 16. A Área de Relevante Interesse Ecológico é uma área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.

§ 1º A Área de Relevante Interesse Ecológico é constituída por terras públicas ou privadas.

§ 2º Respeitados os limites constitucionais, podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada localizada em uma Área de Relevante Interesse Ecológico.

Art. 17. A Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas. (Regulamento)

§ 1º A Floresta Nacional é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares

incluídas em seus limites devem ser desapropriadas de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º Nas Florestas Nacionais é admitida a permanência de populações tradicionais que a habitam quando de sua criação, em conformidade com o disposto em regulamento e no Plano de Manejo da unidade.

§ 3º A visitação pública é permitida, condicionada às normas estabelecidas para o manejo da unidade pelo órgão responsável por sua administração.

§ 4º A pesquisa é permitida e incentivada, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade, às condições e restrições por este estabelecidas e àquelas previstas em regulamento.

§ 5º A Floresta Nacional disporá de um Conselho Consultivo, presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes de órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e, quando for o caso, das populações tradicionais residentes.

§ 6º A unidade desta categoria, quando criada pelo Estado ou Município, será denominada, respectivamente, Floresta Estadual e Floresta Municipal.

Art. 18. A Reserva Extrativista é uma área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade. (Regulamento)

§ 1º A Reserva Extrativista é de domínio público, com uso concedido às populações extrativistas tradicionais conforme o disposto no art. 23 desta Lei e em regulamentação específica, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites devem ser desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º A Reserva Extrativista será gerida por um Conselho Deliberativo, presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes de órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e das populações tradicionais residentes na



área, conforme se dispuser em regulamento e no ato de criação da unidade.

§ 3º A visitação pública é permitida, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o disposto no Plano de Manejo da área.

§ 4º A pesquisa científica é permitida e incentivada, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade, às condições e restrições por este estabelecidas e às normas previstas em regulamento.

§ 5º O Plano de Manejo da unidade será aprovado pelo seu Conselho Deliberativo.

§ 6º São proibidas a exploração de recursos minerais e a caça amadorística ou profissional.

§ 7º A exploração comercial de recursos madeireiros só será admitida em bases sustentáveis e em situações especiais e complementares às demais atividades desenvolvidas na Reserva Extrativista, conforme o disposto em regulamento e no Plano de Manejo da unidade.

Art. 19. A Reserva de Fauna é uma área natural com populações animais de espécies nativas, terrestres ou aquáticas, residentes ou migratórias, adequadas para estudos técnico-científicos sobre o manejo econômico sustentável de recursos faunísticos.

§ 1º A Reserva de Fauna é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites devem ser desapropriadas de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º A visitação pública pode ser permitida, desde que compatível com o manejo da unidade e de acordo com as normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração.

§ 3º É proibido o exercício da caça amadorística ou profissional.

§ 4º A comercialização dos produtos e subprodutos resultantes das pesquisas obedecerá ao disposto nas leis sobre fauna e regulamentos.

Art. 20. A Reserva de Desenvolvimento Sustentável é uma área natural que abriga populações tradicionais, cuja existência baseia-se em sistemas sustentáveis de

exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica. (Regulamento)

§ 1º A Reserva de Desenvolvimento Sustentável tem como objetivo básico preservar a natureza e, ao mesmo tempo, assegurar as condições e os meios necessários para a reprodução e a melhoria dos modos e da qualidade de vida e exploração dos recursos naturais das populações tradicionais, bem como valorizar, conservar e aperfeiçoar o conhecimento e as técnicas de manejo do ambiente, desenvolvido por estas populações.

§ 2º A Reserva de Desenvolvimento Sustentável é de domínio público, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites devem ser, quando necessário, desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 3º O uso das áreas ocupadas pelas populações tradicionais será regulado de acordo com o disposto no art. 23 desta Lei e em regulamentação específica.

§ 4º A Reserva de Desenvolvimento Sustentável será gerida por um Conselho Deliberativo, presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes de órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e das populações tradicionais residentes na área, conforme se dispuser em regulamento e no ato de criação da unidade.

§ 5º As atividades desenvolvidas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável obedecerão às seguintes condições:

I - é permitida e incentivada a visitação pública, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o disposto no Plano de Manejo da área;

II - é permitida e incentivada a pesquisa científica voltada à conservação da natureza, à melhor relação das populações residentes com seu meio e à educação ambiental, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade, às condições e restrições por este estabelecidas e às normas previstas em regulamento;



III - deve ser sempre considerado o equilíbrio dinâmico entre o tamanho da população e a conservação; e

IV - é admitida a exploração de componentes dos ecossistemas naturais em regime de manejo sustentável e a substituição da cobertura vegetal por espécies cultiváveis, desde que sujeitas ao zoneamento, às limitações legais e ao Plano de Manejo da área.

§ 6º O Plano de Manejo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável definirá as zonas de proteção integral, de uso sustentável e de amortecimento e corredores ecológicos, e será aprovado pelo Conselho Deliberativo da unidade.

Art. 21. A Reserva Particular do Patrimônio Natural é uma área privada, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica. (Regulamento)

§ 1º O gravame de que trata este artigo constará de termo de compromisso assinado perante o órgão ambiental, que verificará a existência de interesse público, e será averbado à margem da inscrição no Registro Público de Imóveis.

§ 2º Só poderá ser permitida, na Reserva Particular do Patrimônio Natural, conforme se dispuser em regulamento:

I - a pesquisa científica;

II - a visitação com objetivos turísticos, recreativos e educacionais;

III - (VETADO)

§ 3º Os órgãos integrantes do SNUC, sempre que possível e oportuno, prestarão orientação técnica e científica ao proprietário de Reserva Particular do Patrimônio Natural para a elaboração de um Plano de Manejo ou de Proteção e de Gestão da unidade.

CAPÍTULO IV DA CRIAÇÃO, IMPLANTAÇÃO E GESTÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Art. 22. As unidades de conservação são criadas por ato do Poder Público. (Regulamento)

§ 1º (VETADO)

§ 2º A criação de uma unidade de conservação deve ser precedida de estudos técnicos

e de consulta pública que permitam identificar a localização, a dimensão e os limites mais adequados para a unidade, conforme se dispuser em regulamento.

§ 3º No processo de consulta de que trata o § 2º, o Poder Público é obrigado a fornecer informações adequadas e inteligíveis à população local e a outras partes interessadas.

§ 4º Na criação de Estação Ecológica ou Reserva Biológica não é obrigatória a consulta de que trata o § 2º deste artigo.

§ 5º As unidades de conservação do grupo de Uso Sustentável podem ser transformadas total ou parcialmente em unidades do grupo de Proteção Integral, por instrumento normativo do mesmo nível hierárquico do que criou a unidade, desde que obedecidos os procedimentos de consulta estabelecidos no § 2º deste artigo.

§ 6º A ampliação dos limites de uma unidade de conservação, sem modificação dos seus limites originais, exceto pelo acréscimo proposto, pode ser feita por instrumento normativo do mesmo nível hierárquico do que criou a unidade, desde que obedecidos os procedimentos de consulta estabelecidos no § 2º deste artigo.

§ 7º A desafetação ou redução dos limites de uma unidade de conservação só pode ser feita mediante lei específica.

Art. 22-A. O Poder Público poderá, ressalvadas as atividades agropecuárias e outras atividades econômicas em andamento e obras públicas licenciadas, na forma da lei, decretar limitações administrativas provisórias ao exercício de atividades e empreendimentos efetiva ou potencialmente causadores de degradação ambiental, para a realização de estudos com vistas na criação de Unidade de Conservação, quando, a critério do órgão ambiental competente, houver risco de dano grave aos recursos naturais ali existentes. (Incluído pela Lei nº 11.132, de 2005) (Vide Decreto de 2 de janeiro de 2005)

§ 1º Sem prejuízo da restrição e observada a ressalva constante do caput, na área submetida a limitações administrativas, não serão permitidas atividades que importem em exploração a corte raso da floresta e demais



formas de vegetação nativa. (Incluído pela Lei nº 11.132, de 2005)

§ 2º A destinação final da área submetida ao disposto neste artigo será definida no prazo de 7 (sete) meses, improrrogáveis, findo o qual fica extinta a limitação administrativa. (Incluído pela Lei nº 11.132, de 2005)

Art. 23. A posse e o uso das áreas ocupadas pelas populações tradicionais nas Reservas Extrativistas e Reservas de Desenvolvimento Sustentável serão regulados por contrato, conforme se dispuser no regulamento desta Lei.

§ 1º As populações de que trata este artigo obrigam-se a participar da preservação, recuperação, defesa e manutenção da unidade de conservação.

§ 2º O uso dos recursos naturais pelas populações de que trata este artigo obedecerá às seguintes normas:

I - proibição do uso de espécies localmente ameaçadas de extinção ou de práticas que danifiquem os seus habitats;

II - proibição de práticas ou atividades que impeçam a regeneração natural dos ecossistemas;

III - demais normas estabelecidas na legislação, no Plano de Manejo da unidade de conservação e no contrato de concessão de direito real de uso.

Art. 24. O subsolo e o espaço aéreo, sempre que influírem na estabilidade do ecossistema, integram os limites das unidades de conservação. (Regulamento)

Art. 25. As unidades de conservação, exceto Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural, devem possuir uma zona de amortecimento e, quando conveniente, corredores ecológicos. (Regulamento)

§ 1º O órgão responsável pela administração da unidade estabelecerá normas específicas regulamentando a ocupação e o uso dos recursos da zona de amortecimento e dos corredores ecológicos de uma unidade de conservação.

§ 2º Os limites da zona de amortecimento e dos corredores ecológicos e as respectivas normas de que trata o § 1º poderão ser definidas no ato de criação da unidade ou posteriormente.

Art. 26. Quando existir um conjunto de unidades de conservação de categorias diferentes ou não, próximas, justapostas ou sobrepostas, e outras áreas protegidas públicas ou privadas, constituindo um mosaico, a gestão do conjunto deverá ser feita de forma integrada e participativa, considerando-se os seus distintos objetivos de conservação, de forma a compatibilizar a presença da biodiversidade, a valorização da sociodiversidade e o desenvolvimento sustentável no contexto regional. (Regulamento)

Parágrafo único. O regulamento desta Lei disporá sobre a forma de gestão integrada do conjunto das unidades.

Art. 27. As unidades de conservação devem dispor de um Plano de Manejo. (Regulamento)

§ 1º O Plano de Manejo deve abranger a área da unidade de conservação, sua zona de amortecimento e os corredores ecológicos, incluindo medidas com o fim de promover sua integração à vida econômica e social das comunidades vizinhas.

§ 2º Na elaboração, atualização e implementação do Plano de Manejo das Reservas Extrativistas, das Reservas de Desenvolvimento Sustentável, das Áreas de Proteção Ambiental e, quando couber, das Florestas Nacionais e das Áreas de Relevante Interesse Ecológico, será assegurada a ampla participação da população residente.

§ 3º O Plano de Manejo de uma unidade de conservação deve ser elaborado no prazo de cinco anos a partir da data de sua criação.

§ 4º § 4º O Plano de Manejo poderá dispor sobre as atividades de liberação planejada e cultivo de organismos geneticamente modificados nas Áreas de Proteção Ambiental e nas zonas de amortecimento das demais categorias de unidade de conservação, observadas as informações contidas na decisão técnica da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBio sobre:

I - o registro de ocorrência de ancestrais diretos e parentes silvestres;

II - as características de reprodução, dispersão e sobrevivência do organismo geneticamente modificado;

III - o isolamento reprodutivo do organismo geneticamente modificado em relação aos



seus ancestrais diretos e parentes silvestres; e

IV - situações de risco do organismo geneticamente modificado à biodiversidade. (Redação dada pela Lei nº 11.460, de 2007).

Art. 28. São proibidas, nas unidades de conservação, quaisquer alterações, atividades ou modalidades de utilização em desacordo com os seus objetivos, o seu Plano de Manejo e seus regulamentos.

Parágrafo único. Até que seja elaborado o Plano de Manejo, todas as atividades e obras desenvolvidas nas unidades de conservação de proteção integral devem se limitar àquelas destinadas a garantir a integridade dos recursos que a unidade objetiva proteger, assegurando-se às populações tradicionais porventura residentes na área as condições e os meios necessários para a satisfação de suas necessidades materiais, sociais e culturais.

Art. 29. Cada unidade de conservação do grupo de Proteção Integral disporá de um Conselho Consultivo, presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes de órgãos públicos, de organizações da sociedade civil, por proprietários de terras localizadas em Refúgio de Vida Silvestre ou Monumento Natural, quando for o caso, e, na hipótese prevista no § 2º do art. 42, das populações tradicionais residentes, conforme se dispuser em regulamento e no ato de criação da unidade. (Regulamento)

Art. 30. As unidades de conservação podem ser geridas por organizações da sociedade civil de interesse público com objetivos afins aos da unidade, mediante instrumento a ser firmado com o órgão responsável por sua gestão. (Regulamento)

Art. 31. É proibida a introdução nas unidades de conservação de espécies não autóctones.

§ 1º Excetuam-se do disposto neste artigo as Áreas de Proteção Ambiental, as Florestas Nacionais, as Reservas Extrativistas e as Reservas de Desenvolvimento Sustentável, bem como os animais e plantas necessários à administração e às atividades das demais categorias de unidades de conservação, de acordo com o que se dispuser em regulamento e no Plano de Manejo da unidade.

§ 2º Nas áreas particulares localizadas em Refúgios de Vida Silvestre e Monumentos Naturais podem ser criados animais domésticos e cultivadas plantas considerados compatíveis com as finalidades da unidade, de acordo com o que dispuser o seu Plano de Manejo.

Art. 32. Os órgãos executores articular-se-ão com a comunidade científica com o propósito de incentivar o desenvolvimento de pesquisas sobre a fauna, a flora e a ecologia das unidades de conservação e sobre formas de uso sustentável dos recursos naturais, valorizando-se o conhecimento das populações tradicionais.

§ 1º As pesquisas científicas nas unidades de conservação não podem colocar em risco a sobrevivência das espécies integrantes dos ecossistemas protegidos.

§ 2º A realização de pesquisas científicas nas unidades de conservação, exceto Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural, depende de aprovação prévia e está sujeita à fiscalização do órgão responsável por sua administração.

§ 3º Os órgãos competentes podem transferir para as instituições de pesquisa nacionais, mediante acordo, a atribuição de aprovar a realização de pesquisas científicas e de credenciar pesquisadores para trabalharem nas unidades de conservação.

Art. 33. A exploração comercial de produtos, subprodutos ou serviços obtidos ou desenvolvidos a partir dos recursos naturais, biológicos, cênicos ou culturais ou da exploração da imagem de unidade de conservação, exceto Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural, dependerá de prévia autorização e sujeitará o explorador a pagamento, conforme disposto em regulamento. (Regulamento)

Art. 34. Os órgãos responsáveis pela administração das unidades de conservação podem receber recursos ou doações de qualquer natureza, nacionais ou internacionais, com ou sem encargos, provenientes de organizações privadas ou públicas ou de pessoas físicas que desejarem colaborar com a sua conservação.

Parágrafo único. A administração dos recursos obtidos cabe ao órgão gestor da unidade,



e estes serão utilizados exclusivamente na sua implantação, gestão e manutenção.

Art. 35. Os recursos obtidos pelas unidades de conservação do Grupo de Proteção Integral mediante a cobrança de taxa de visitação e outras rendas decorrentes de arrecadação, serviços e atividades da própria unidade serão aplicados de acordo com os seguintes critérios:

I - até cinqüenta por cento, e não menos que vinte e cinco por cento, na implementação, manutenção e gestão da própria unidade;

II - até cinqüenta por cento, e não menos que vinte e cinco por cento, na regularização fundiária das unidades de conservação do Grupo;

III - até cinqüenta por cento, e não menos que quinze por cento, na implementação, manutenção e gestão de outras unidades de conservação do Grupo de Proteção Integral.

Art. 36. Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório - EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei. (Regulamento)

§ 1º O montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para esta finalidade não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento. (Vide ADIN nº 3.378-6, de 2008)

§ 2º Ao órgão ambiental licenciador compete definir as unidades de conservação a serem beneficiadas, considerando as propostas apresentadas no EIA/RIMA e ouvido o empreendedor, podendo inclusive ser contemplada a criação de novas unidades de conservação.

§ 3º Quando o empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de

amortecimento, o licenciamento a que se refere o *caput* deste artigo só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada, mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias da compensação definida neste artigo.

CAPÍTULO V DOS INCENTIVOS, ISENÇÕES E PENALIDADES

Art. 37. (VETADO)

Art. 38. A ação ou omissão das pessoas físicas ou jurídicas que importem inobservância aos preceitos desta Lei e a seus regulamentos ou resultem em dano à flora, à fauna e aos demais atributos naturais das unidades de conservação, bem como às suas instalações e às zonas de amortecimento e corredores ecológicos, sujeitam os infratores às sanções previstas em lei.

Art. 39. Dê-se ao art. 40 da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, a seguinte redação:

“Art. 40. (VETADO)

“§ 1º Entende-se por Unidades de Conservação de Proteção Integral as Estações Ecológicas, as Reservas Biológicas, os Parques Nacionais, os Monumentos Naturais e os Refúgios de Vida Silvestre.” (NR)

“§ 2º A ocorrência de dano afetando espécies ameaçadas de extinção no interior das Unidades de Conservação de Proteção Integral será considerada circunstância agravante para a fixação da pena.” (NR)

“§ 3º
.....”

Art. 40. Acrescente-se à Lei nº 9.605, de 1998, o seguinte art. 40-A:

“Art. 40-A. (VETADO)

“§ 1º Entende-se por Unidades de Conservação de Uso Sustentável as Áreas de Proteção Ambiental, as Áreas de Relevante Interesse Ecológico, as Florestas Nacionais, as Reservas Extrativistas, as Reservas de Fauna, as Reservas de Desenvolvimento Sustentável e as Reservas Particulares do Patrimônio Natural.” (AC)



“§ 2º A ocorrência de dano afetando espécies ameaçadas de extinção no interior das Unidades de Conservação de Uso Sustentável será considerada circunstância agravante para a fixação da pena.” (AC)

“§ 3º Se o crime for culposo, a pena será reduzida à metade.” (AC)

CAPÍTULO VI DAS RESERVAS DA BIOSFERA

Art. 41. A Reserva da Biosfera é um modelo, adotado internacionalmente, de gestão integrada, participativa e sustentável dos recursos naturais, com os objetivos básicos de preservação da diversidade biológica, o desenvolvimento de atividades de pesquisa, o monitoramento ambiental, a educação ambiental, o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida das populações. (Regulamento)

§ 1º A Reserva da Biosfera é constituída por:

I - uma ou várias áreas-núcleo, destinadas à proteção integral da natureza;

II - uma ou várias zonas de amortecimento, onde só são admitidas atividades que não resultem em dano para as áreas-núcleo; e

III - uma ou várias zonas de transição, sem limites rígidos, onde o processo de ocupação e o manejo dos recursos naturais são planejados e conduzidos de modo participativo e em bases sustentáveis.

§ 2º A Reserva da Biosfera é constituída por áreas de domínio público ou privado.

§ 3º A Reserva da Biosfera pode ser integrada por unidades de conservação já criadas pelo Poder Público, respeitadas as normas legais que disciplinam o manejo de cada categoria específica.

§ 4º A Reserva da Biosfera é gerida por um Conselho Deliberativo, formado por representantes de instituições públicas, de organizações da sociedade civil e da população residente, conforme se dispuser em regulamento e no ato de constituição da unidade.

§ 5º A Reserva da Biosfera é reconhecida pelo Programa Intergovernamental “O Homem

e a Biosfera – MAB”, estabelecido pela Unesco, organização da qual o Brasil é membro.

CAPÍTULO VII DAS DISPOSIÇÕES GERAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 42. As populações tradicionais residentes em unidades de conservação nas quais sua permanência não seja permitida serão indenizadas ou compensadas pelas benfeitorias existentes e devidamente realocadas pelo Poder Público, em local e condições acordados entre as partes. (Regulamento)

§ 1º O Poder Público, por meio do órgão competente, priorizará o reassentamento das populações tradicionais a serem realocadas.

§ 2º Até que seja possível efetuar o reassentamento de que trata este artigo, serão estabelecidas normas e ações específicas destinadas a compatibilizar a presença das populações tradicionais residentes com os objetivos da unidade, sem prejuízo dos modos de vida, das fontes de subsistência e dos locais de moradia destas populações, assegurando-se a sua participação na elaboração das referidas normas e ações.

§ 3º Na hipótese prevista no § 2º, as normas regulando o prazo de permanência e suas condições serão estabelecidas em regulamento.

Art. 43. O Poder Público fará o levantamento nacional das terras devolutas, com o objetivo de definir áreas destinadas à conservação da natureza, no prazo de cinco anos após a publicação desta Lei.

Art. 44. As ilhas oceânicas e costeiras destinam-se prioritariamente à proteção da natureza e sua destinação para fins diversos deve ser precedida de autorização do órgão ambiental competente.

Parágrafo único. Estão dispensados da autorização citada no *caput* os órgãos que se utilizam das citadas ilhas por força de dispositivos legais ou quando decorrente de compromissos legais assumidos.

Art. 45. Excluem-se das indenizações referentes à regularização fundiária das unidades de conservação, derivadas ou não de desapropriação:



I - (VETADO)

II - (VETADO)

III - as espécies arbóreas declaradas imunes de corte pelo Poder Público;

IV - expectativas de ganhos e lucro cessante;

V - o resultado de cálculo efetuado mediante a operação de juros compostos;

VI - as áreas que não tenham prova de domínio inequívoco e anterior à criação da unidade.

Art. 46. A instalação de redes de abastecimento de água, esgoto, energia e infra-estrutura urbana em geral, em unidades de conservação onde estes equipamentos são admitidos depende de prévia aprovação do órgão responsável por sua administração, sem prejuízo da necessidade de elaboração de estudos de impacto ambiental e outras exigências legais.

Parágrafo único. Esta mesma condição se aplica à zona de amortecimento das unidades do Grupo de Proteção Integral, bem como às áreas de propriedade privada inseridas nos limites dessas unidades e ainda não indenizadas.

Art. 47. O órgão ou empresa, público ou privado, responsável pelo abastecimento de água ou que faça uso de recursos hídricos, beneficiário da proteção proporcionada por uma unidade de conservação, deve contribuir financeiramente para a proteção e implementação da unidade, de acordo com o disposto em regulamentação específica.(Regulamento)

Art. 48. O órgão ou empresa, público ou privado, responsável pela geração e distribuição de energia elétrica, beneficiário da proteção oferecida por uma unidade de conservação, deve contribuir financeiramente para a proteção e implementação da unidade, de acordo com o disposto em regulamentação específica.(Regulamento)

Art. 49. A área de uma unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral é considerada zona rural, para os efeitos legais.

Parágrafo único. A zona de amortecimento das unidades de conservação de que trata este artigo, uma vez definida formalmente, não pode ser transformada em zona urbana.

Art. 50. O Ministério do Meio Ambiente

organizará e manterá um Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, com a colaboração do Ibama e dos órgãos estaduais e municipais competentes.

§ 1º O Cadastro a que se refere este artigo conterá os dados principais de cada unidade de conservação, incluindo, dentre outras características relevantes, informações sobre espécies ameaçadas de extinção, situação fundiária, recursos hídricos, clima, solos e aspectos socioculturais e antropológicos.

§ 2º O Ministério do Meio Ambiente divulgará e colocará à disposição do público interessado os dados constantes do Cadastro.

Art. 51. O Poder Executivo Federal submeterá à apreciação do Congresso Nacional, a cada dois anos, um relatório de avaliação global da situação das unidades de conservação federais do País.

Art. 52. Os mapas e cartas oficiais devem indicar as áreas que compõem o SNUC.

Art. 53. O Ibama elaborará e divulgará periodicamente uma relação revista e atualizada das espécies da flora e da fauna ameaçadas de extinção no território brasileiro.

Parágrafo único. O Ibama incentivará os competentes órgãos estaduais e municipais a elaborarem relações equivalentes abrangendo suas respectivas áreas de jurisdição.

Art. 54. O Ibama, excepcionalmente, pode permitir a captura de exemplares de espécies ameaçadas de extinção destinadas a programas de criação em cativeiro ou formação de coleções científicas, de acordo com o disposto nesta Lei e em regulamentação específica.

Art. 55. As unidades de conservação e áreas protegidas criadas com base nas legislações anteriores e que não pertençam às categorias previstas nesta Lei serão reavaliadas, no todo ou em parte, no prazo de até dois anos, com o objetivo de definir sua destinação com base na categoria e função para as quais foram criadas, conforme o disposto no regulamento desta Lei. (Regulamento) (Regulamento)

Art. 56. (VETADO)

Art. 57. Os órgãos federais responsáveis pela execução das políticas ambiental e indigenista deverão instituir grupos de trabalho para, no prazo de cento e oitenta dias a partir



da vigência desta Lei, propor as diretrizes a serem adotadas com vistas à regularização das eventuais superposições entre áreas indígenas e unidades de conservação.

Parágrafo único. No ato de criação dos grupos de trabalho serão fixados os participantes, bem como a estratégia de ação e a abrangência dos trabalhos, garantida a participação das comunidades envolvidas.

Art. 57-A. O Poder Executivo estabelecerá os limites para o plantio de organismos geneticamente modificados nas áreas que circundam as unidades de conservação até que seja fixada sua zona de amortecimento e aprovado o seu respectivo Plano de Manejo.

Parágrafo único. O disposto no caput deste artigo não se aplica às Áreas de Proteção Ambiental e Reservas de Particulares do Patrimônio Nacional. (Redação dada pela Lei nº 11.460, de 2007) Regulamento.

Art. 58. O Poder Executivo regulamentará esta Lei, no que for necessário à sua aplicação, no prazo de cento e oitenta dias a partir da data de sua publicação.

Art. 59. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 60. Revogam-se os arts. 5º e 6º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965; o art. 5º da Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967; e o art. 18 da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Brasília, 18 de julho de 2000; 179º da Independência e 112º da República.

MARCO ANTONIO DE OLIVEIRA MACIEL
José Sarney Filho

Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 19.7.2000

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA GERAL

PILÓ, L. B.; AULER, A. Introdução à Espeleologia. In: IV Curso de espeleologia e licenciamento ambiental. Brasília: CECAV/ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. Cap.1, p. 7-23.

AULER, A.; PILÓ, L. B. Geoespeleologia. In: IV Curso de espeleologia e licenciamento ambiental. Brasília: CECAV/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. Cap.2, p. 25-44.

FERREIRA, R. L. Biologia subterrânea: Conceitos Gerais E Aplicação na Interpretação e Análise de estudos de impacto ambiental. In: IV Curso de espeleologia e licenciamento ambiental. Brasília: CECAV/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. Cap.4, p. 89-113.

FERREIRA, C. F. Análise de impactos ambientais em terrenos cársticos e cavernas. In: IV Curso de espeleologia e licenciamento ambiental. Brasília: CECAV/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. Cap.5, p. 123-148.







INSTRUTORES DO MÓDULO 1



JOSÉ CARLOS RIBEIRO REINO

Nascido em Brasília/DF (1975) é graduado em Geologia pela Universidade de Brasília (1999) e especialista em Conflitos Socioambientais pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS/UnB (2003). Tem experiência em licenciamento ambiental de atividades de mineração, rodovias e assentamentos humanos, na então Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal – SEMARH (2000-2003). Atualmente ocupa o cargo de Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Está lotado no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV desde 2003, onde trabalha exclusivamente com espeleologia e gestão ambiental do patrimônio espeleológico nacional, concentrando esforços no desenvolvimento e aprimoramento de políticas públicas específicas.

E-mail: jose.reino@icmbio.gov.br

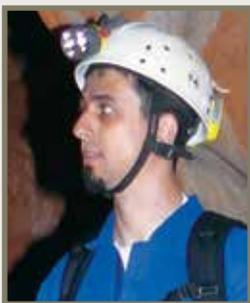


HEROS LOBO

Bacharel em Turismo (UAM-SP, 1999). Especialista em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais (UFLA-MG, 2004). Mestre em Geografia (UFMS-MS, 2006). Doutor em Geociências e Meio Ambiente (Unesp/Rio Claro-SP, 2011). Professor Adjunto I na Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Depto. de Geografia, Turismo e Humanidades. Coordenador da Seção de Espeleoturismo da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE). Editor-Chefe do periódico Tourism and Karst Areas desde 2008. Chairman da Comissão de Desenvolvimento Sustentável de Cavernas Turísticas da International Show Caves Association (ISCA) desde 2011. Tem experiência nas áreas de Turismo e Meio Ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento turístico, gestão de destinos e atrativos turísticos, ecoturismo, implantação, manejo e gestão de unidades de conservação, trilhas e cavernas turísticas, monitoramento microclimático e capacidade de carga turística.

E-mail: heroslobo@hotmail.com





ANDRÉ AFONSO RIBEIRO

É bacharel em Geologia pela Universidade de São Paulo, Especialista em Geoprocessamento pela Universidade de Brasília e Analista Ambiental do Ministério do Meio Ambiente desde 2005, cedido ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) desde 2012, para atuar como Coordenador Técnico do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Tem experiência em estudos na área de espeleologia (prospecção externa, exploração e topografia de cavernas) e uso público de unidades de conservação.

E-mail: andre.ribeiro@icmbio.gov.br



DIEGO DE MEDEIROS BENTO

Graduado em Ciências Biológicas pela UFRN e mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. É Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e coordena a Base do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) no Rio Grande do Norte. Tem experiência em estudos na área de espeleologia (prospecção externa e interna e topografia em cavernas), bem como na área de Zoologia, com ênfase em Zoologia de invertebrados cavernícolas.

E-mail: diego.bento@icmbio.gov.br



CRISTIANO FERNANDES FERREIRA

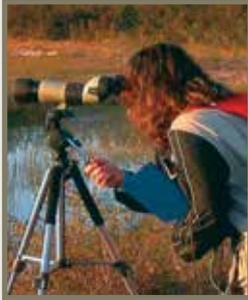
Bacharel em Geografia (UFMG - 2003) trabalha com os temas geomorfologia cárstica, impactos ambientais e espeleologia desde o ano 2000. Ingressou na carreira de Analista Ambiental em 2003, pelo IBAMA, onde a partir de 2006 integrou a equipe do CECAV atuando principalmente como parecerista nos processos de licenciamento ambiental de atividade potencialmente degradadoras de cavernas e ambientes cársticos. Atualmente segue trabalhando no CECAV/ICMBio, atuando também na análise de impactos decorrentes do espeleoturismo, na colaboração nos planos de manejo das unidades de conservação, na gestão da atividade de mergulho em cavernas, dentre outras atividades ligadas ao tema turismo e cavernas.

E-mail: cristiano.ferreira@icmbio.gov.br





ORGANIZADORAS



GISLAINE DISCONZI

Consultora ambiental. Membro do Conselho de Conservação de Aves Aquáticas das Américas (*Waterbird Conservation Council for the Americas*). Possui graduação em Ciências Biológicas PUC/RS e Mestrado em Desenvolvimento Sustentável CDS/UnB. Coordena em nível nacional o Censo Neotropical de Aves Aquáticas – CNAA/Brasil desde 2004. Aficionada por aves aquáticas desenvolve atividades de pesquisas com uma das espécie mais ameaçadas das Américas, o pato-mergulhão (*Mergus octosetaceus*) na Chapada dos Veadeiros (GO). Ultimamente tem “voador alto” em buscado novos conhecimentos.



MARCELA PIMENTA CAMPOS COUTINHO

Bacharel em Turismo, possui Master em Gestão Turística com foco em turismo sustentável pela Universitat de Les Illes Balears - Espanha. Atuou em parceria com a Organização Mundial do Turismo no Projeto Rotas do Leste do Uruguai, foi interlocutora entre Minas Gerais e a OMT na implementação do Programa Volunteers, Minas Gerais – Brasil 2010: Rota das Grutas de Lund. Coordenou o inventário da oferta turística de Minas Gerais entre os anos de 2008 e 2010. Atualmente é coordenadora do Núcleo de Turismo do Instituto Ambiental Brasil Sustentável e responsável pelos projetos da Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento em Alagoas, sob gestão IABS.



CONTATOS INSTITUCIONAIS

**INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO
DA BIODIVERSIDADE, CENTRO NACIONAL DE
PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS**

EM NATAL/RN

Av. Alexandrino de Alencar 1399
Ed. Sede do IBAMA/SUPES-RN Tirol
CEP: 59015-350 - Natal/RN

Telefone: (84) 33420446

EM BRASÍLIA/DF

SAS Quadra 05, Lote 05, Bloco H, 4º andar,
CEP: 70070-914 – Brasília/DF

Telefone: (61) 3035-3467





RESPONSÁVEL



PARCEIRO



FINANCIADOR



Governo dos
Estados Unidos da América



Ministério do
Meio Ambiente

