Revista da Biologia (2013) 10(2): 1–7
DOI: 10.7594/revbio.10.02.01

Revisão

Variações anuais e infra-anuais em ecossistemas subterrâneos: implicações para estudos ambientais e preservação de cavernas

Annual and infra-annual variations in subterranean ecosystems: implications for environmental studies and cave preservation

Eleonora Trajano
Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Brasil

Contato do autor: etrajano@usp.br

Resumo. São analisados resultados de estudos de médio de longo prazo e observações ao longo de anos, demonstrando variações anuais, sazonais e infra-anuais (períodos superiores a um ano), em ecossistemas cavernícolas brasileiros. São abordadas comunidades de morcegos e de invertebrados em diferentes áreas cársticas brasileiras, com ênfase no Alto Ribeira (SE Brasil). Para descrição da diversidade taxonômica das comunidades subterrâneas e compreensão do funcionamento desses ecossistemas singulares, é necessário esforço amostral compatível com seu dinamismo, testado quanto à sua suficiência, sobretudo quando o objetivo é classificar cavernas em graus de relevância. A inadequação da atual política de proteção ao patrimônio espeleológico brasileiro, recentemente flexibilizada pelo Decreto 6640/2008 e correspondente IN MMM 2/2009, é discutida com foco nas suas evidentes falhas conceituais e metodológicas, propondo-se sua total revisão.
Palavras-chave. *Ecossistemas subterrâneos, variações anuais e infra-anuais, protocolos de estudos ambientais.*

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Abstract. Results from medium to long term studies and extended observations demonstrate the occurrence of annual (seasonal) and infra-annual variations in Brazilian cave ecosystems. Bats and invertebrate communities from different karst areas are focused, with emphasis on the Alto Ribeira (SE Brazil). For a biologically meaningful description of the subterranean biodiversity and to understand the functioning of these unique ecosystems, sampling efforts compatible with their dynamics are required, especially when the purpose is to classify caves into relevance degrees, making their destruction possible. The inadequacy of the current environmental policy is discussed, based on conceptual and methodological flaws of the recent Decree 6640/2008, regulated by the IN MMA 2/2009. In view of the ineffectiveness of these legal articles, I propose their complete revision.
Keywords. *Subterranean ecosystems, annual and infra-annual variations, environmental studies protocols.*

Introdução

A ocorrência de ciclos biológicos sazonais, relacionados a ciclos geofísicos com períodos de cerca de 12 meses, é amplamente conhecida. Muito menos compreendidas são as consequências dos ciclos infra-anuais (períodos superiores a um ano – Marques e Menna-Barreto, 1999) sobre a ritmicidade biológica, desde o nível de ecossistema ao individual. Diferenças entre anos são reconhecidas nos cada vez mais raros estudos em campo do médio ao longo prazo (p. ex., Trajano, 1985; Pellegatti-Franco, 2004; Bessi-Pascoaloto, 2005). Existe uma clara predisposição a atribuir tais diferenças a tendências unidirecionais (não-cíclicas), no sentido de diminuição ou aumento. Porém, a única maneira de distinguir fenômenos biológicos cíclicos de tendências unidirecionais é realizar estudos de longa duração, abrangendo pelo menos três vezes o período que se pretende investigar (Marques e Menna-Barreto, op. cit.) – isto significa que são necessários pelo menos três anos para se detectar padrões sazonais e, portanto, prazos superiores para estudos visando à definição de padrões infra-anuais *versus* tendências unidirecionais.

Em uma época de produtivismo galopante, com o Brasil copiando o modelo dos Estados Unidos, onde pesquisadores são avaliados quase exclusivamente por número de publicações por unidade de tempo, é evidente que estudos dessa natureza tornam-se inviáveis. Por exemplo, a diminuição dos prazos para estudos de pós-graduação,

fonte importante de informações científicas, inviabiliza estudos biológicos e ecológicos robustos, conclusivos, dentro da concepção errônea de que, para estudos sazonais, basta um ano de amostragem.

Uma das conseqüências nefastas das políticas científicas atuais é a total inadequação dos métodos aplicados em estudos ambientais previstos na legislação com a finalidade de embasar decisões da área de Conservação, sobretudo no âmbito da proposição de empreendimentos. Por não abranger metodologicamente as possíveis variações cíclicas naturais, anuais e infra-anuais, tais estudos falham no objetivo de caracterizar os ecossistemas potencialmente afetados por esses empreendimentos, gerando uma avaliação irreal dos impactos e levando a medidas mitigadoras inúteis. Desse modo, esses estudos embasam espuriamente licenças para empreendimentos que levam a prejuízos à biodioversidade inaceitáveis sob qualquer ótica. Do mesmo modo, ações conservacionistas com bases questionáveis podem ser totalmente inócuas.

Este artigo visa reunir e sintetizar informações dispersas em poucas publicações e vários trabalhos de graduação e pós-graduação não publicados, além de observações pessoais ao longo de décadas de experiência em cavernas de todo o território nacional, de modo a demonstrar que variações sazonais e infra-anuais, cíclicas ou não, são um fenômeno de ampla ocorrência em cavernas brasileiras.

Padrões cíclicos no meio subterrâneo

O meio subterrâneo, definido como o conjunto de espaços interconectados da subsuperfície e caracterizado pela ausência permanente de luz, confinamento espacial e tendência à estabilidade ambiental (Juberthie, 2000, entre outros), abriga ecossistemas que diferem significativamente, em termos de composição de comunidades, estrutura e funcionamento, dos epígeos (superficiais) baseados em fotossíntese. Tais diferenças devem-se não apenas à condição afótica, reconhecidamente o fator abiótico mais determinante da peculiaridade dos ecossistemas hipógeos (subterrâneos), geralmente pobres em nutrientes, como também às características espaciais e ambientais especiais.

Em sua maioria, e incluindo as mais extensas e/ou amplas, cavernas (espaços subterrâneos grandes o suficiente para permitir o acesso humano direto) são componentes de sistemas cársticos desenvolvidos em rochas solúveis, como carbonatos em águas acidificadas. Sistemas cársticos ativos são recarregados por águas de origem pluvial, que penetram o maciço rochoso de forma difusa (muitos pequenos pontos de entrada) e/ou através de contatos maiores entre o meio epígeo e o hipógeo, mas que tendem a se concentrar nos espaços maiores, onde podem adquirir grande velocidade e vazão, com variações bruscas de nível, caracterizando enxurradas. Tais flutuações seguem, evidentemente, o regime pluvial regional, tanto nos componentes cíclicos (sazonais) como acíclicos (variações pontuais, não sazonais).

Cavernas são frequentemente citadas como "janelas" para o meio subterrâneo. Não se pode subestimar sua importância como tal, pois realmente constituem, por definição, o acesso humano ao domínio hipógeo, permitindo seu estudo através de métodos diretos de observação e experimentação. No entanto, é importante ter em mente que, em virtude da heterogeneidade espacial e temporal dos sistemas subterrâneos e do dinamismo da maioria deles, trata-se de janelas bastante imperfeitas em termos de representatividade das características e funcionamento dos ecossistemas da sub-superfície.

Cada população estabelecida no meio subterrâneo transita livremente pelo continuum de espaços de dimensões compatíveis com o porte dos indivíduos – assim, cada espécie tem seu continuum próprio, normalmente extrapolando em muito os espaços acessíveis aos humanos. Populações permanentes em habitats hipógeos apresentam adaptações para a alternância de fases secas e úmidas, incluindo migrações das cavernas para espaços menores, protegidos de flutuações ambientais mais extremas, nas épocas chuvosas, com retorno nas secas. Um exemplo brasileiro bem estudado refere-se aos diplópodes troglóbios, *Leodesmus yporangae*, cujos números observados em bancos de sedimento de cavernas no Alto Ribeira decrescem consideravelmente nas estações chuvosas (Thompson e Moracchioli, 1996).

Às flutuações cíclicas sazonais superpõem-se variações infra-anuais, conforme discutido neste artigo. Em um sistema relativamente estável, com flutuações periódicas regulares, adaptações cronobiológicas podem ser previstas, sempre a partir de estudos em escalas temporais abrangendo pelo menos três vezes o período de interesse (Trajano, 2010). Adicionalmente, variações irregulares, não-periódicas, podem superpor-se às anteriores, dificultando ainda mais a detecção de padrões. Como resultado, sempre se observa variações sazonais e não-sazonais na capturabilidade dos cavernícolas, interferindo na representatividade da amostra aí obtida.

Esperar conhecer biologicamente um desses habitats em poucas ocasiões de amostragem equivale a pretender compreender todo o funcionamento de uma bacia hidrológica com base em alguns estudos em lagoas marginais. Estudos espeleobiológicos requerem uma abordagem metodológica particularmente cuidadosa de suficiência amostral, que frequentemente ultrapassa quantitativamente o mínimo requerido para habitats epígeos.

Apresento aqui os resultados de estudos biológicos realizados em cavernas brasileiras, com corpos d´água alimentados por águas pluviais e cobrindo dois ou mais ciclos anuais sucessivos. Esses ciclos são comparados com o objetivo de se verificar a hipótese de que, pelo menos para as cavernas sujeitas a ciclos hidrológicos anuais, são necessárias amostras taxonômicas completas cobrindo mais de dois anos, sobretudo em estudos que visem ao estabelecimento da composição e estrutura dessas comunidades, que necessariamente apresentam padrões temporais variáveis. Esta questão adquire especial importância no contexto da determinação de grau de relevância de cavernas para fins de possíveis impactos irreversíveis, tais como os causados por mineração e instalação de hidrelétricas.

Padrões espaciais e temporais de ocorrência e distribuição de morcegos em cavernas

Cavernas são reconhecidamente abrigos importantes para muitas espécies de morcegos, que dependem delas para a sobrevivência das populações. Além de fornecerem proteção contra predadores e condições climáticas muito variáveis, cavernas são frequentemente local exclusivo ou prioritário para reprodução desses animais. Por outro lado, o guano depositado nas cavernas é frequentemente importante recurso para espécies de invertebrados subterrâneos, entre as quais contam-se as exclusivas desse ambiente, os troglóbios (Holsinger e Culver, 1988; Trajano, 2012). Portanto, assim como a proteção das cavernas em si é prioritária para a preservação, ao menos no nível regional, de um grande número de espécies de morcegos, a proteção a estes é fundamental à preservação dos ecossistemas cavernícolas como um todo (Trajano, 1995).

Trajano (1985, 1996), investigando morcegos cavernícolas no Alto Ribeira, verificou que a ocupação desses abrigos é irregular, tanto espacial como temporalmente, havendo deslocamentos frequentes entre cavernas e dentro das mesmas, caracterizando o que a autora denominou de colônias itinerantes. Não foram detectados padrões sazonais na escala temporal do estudo (dois anos). Aparentemente, para a maioria das espécies de morcegos cavernícolas um baixo grau de filopatria (longa permanência no mesmo abrigo) é característico em áreas com alta concentração de cavernas, onde abrigo não é fator limitante para essas populações e a ocupação dos abrigos é oportunista. Além disso, a abundância total dos morcegos, o número e o tamanho das colônias em cada caverna também variou ao longo do estudo. Não se observou correlação entre o número de espécies em coabitação em um dado momento e as características morfométricas da caverna, até porque esse número varia em cada caverna. Por outro lado, certas espécies, como alguns pequenos insetívoros (por exemplo, *Furipterus horrens*) e nectarívoros (*Anoura caudifer*), tendem a evitar cavernas ocupadas por outras, no caso o vampiro comum, *Desmodus rotundus* (Trajano, 1985). Portanto, alterações na ocorrência destes afetam indiretamente a distribuição daqueles – como se tratam de morcegos com hábitos alimentares diferentes, obviamente tais alterações afetam também os invertebrados que usam o guano como recurso espacial e/ou alimentar.

Visando testar a ocorrência de modificações de longo prazo nas comunidades de morcegos cavernícolas do Alto Ribeira, Arnone (2008) repetiu, duas décadas mais tarde, o estudo de Trajano (1985), com ênfase em cavernas sujeitas a visitação turística crescente na última década. Ao contrário do esperado, o turismo não parece estar afetando a riqueza total e abundância das espécies, porém foram observadas algumas diferenças na composição dessas comunidades, em detrimento de algumas espécies de pequenos insetívoros. Por outro lado, outras espécies mostraram-se muito mais abundantes que na década de 1980, o que sugere mudanças naturais na quiropterofauna, em escalas temporais infra-anuais.

Campanhã e Fowler (1993) observaram um alto grau de translocação entre cavernas em arenito do interior de São Paulo, principalmente entre duas das cavidades, as quais funcionariam como uma unidade de habitat – alterações em uma teriam conseqüências importantes sobre a fauna de morcegos e invertebrados associados ao guano. Deslocamentos freqüentes foram registrados por Santos (1998) para abrigos artificiais, no caso vampiros utilizando túneis abandonados de captação de água. Deslocamentos freqüentes entre cavernas parecem ser um padrão comum, tendo sido observados para diferentes espécies de morcegos e em diversas regiões, com litologias variáveis.

Baixa fidelidade ao abrigo, com deslocamentos frequentes entre cavernas e em seu interior, sem correlação com características morfométricas das cavidades, foi igualmente observada para parte das espécies comuns em cavernas calcárias da área do rio Pardo, sul da Bahia, entre 1997 e 1999 (caso de *Dyphilla ecaudata*, *Desmodus rotundus*, *Lonchorhina aurita* e *Carollia perspicillata*; Santos, 2001), embora neste caso as flutuações no conjunto das espécies não sejam tão acentuadas quanto no Alto Ribeira.

Em cavernas do Distrito Federal e arredores (Centro-Oeste do Brasil), visitadas várias vezes entre 1989 e 1995, Bredt e col. (1999) verificaram variações ao longo do ano na composição das comunidades de morcegos, com várias espécies aparecendo nesses abrigos apenas em parte dos meses. Esses autores distinguem espécies residentes de não-residentes (estas últimas observadas entrando em cavernas, porém não localizadas dentro das mesmas), cuja inclusão ou não em análises comparativas de riqueza e diversidade certamente afeta as conclusões. Tampouco foi observada correlação entre dimensões das cavernas e riqueza de sua quiropterofauna – o número de espécies em uma dada caverna provavelmente depende da disponibilidade de outros abrigos e de alimento na vizinhança. Isto significa que o estudo da fauna de morcegos cavernícolas deve incluir uma análise não só da área de forrageio (em geral com alguns quilômetros de raio em torno do abrigo diurno), como também a área abrangida pelo conjunto de cavidades que constituem unidades de habitat, entre as quais há translocações freqüentes.

Não havendo correlação entre características morfométricas da cavernas e a riqueza e diversidade de espécies de morcegos, é evidente que índices numéricos simples não tem qualquer valor para estabelecimento de relevância para fins de conservação. De fato, espécies raras (aqui definidas como espécies com distribuição restrita, condicionando populações relativamente pequenas e/ou baixas densidades populacionais), que teriam prioridade nos cuidados e ações visando conservação, muitas vezes concentram-se em poucas cavidades, formando grandes colônias (Trajano, 1985, Bredt e col., 1999; Santos, 2001). Nestes casos, sendo emblemáticos os de *Trachops cirrhosus* no Alto Ribeira, *Lonchorhina aurita* no Alto Ribeira e no Rio Pardo, e *Anoura geoffroy* no Alto Ribeira e Distrito Federal, cavernas com baixas riquezas totais de espécies são extremamente importantes para a preservação das populações de morcegos – Bredt e col. (op. cit.) comentam que a perda, por urbanização, de uma única caverna (no caso, a Gruta Volks Clube) com apenas quatro espécies teria como consequência a redução de 25% nos abrigos uti-

lizados por duas dessas quatro espécies na região (*Chrotopterus auritus* e *Anoura geoffroyi*).

Segregação sexual é observada em várias espécies neotropicais, tais como *D. rotundus*: é frequente que fêmeas se agreguem com seus filhotes em colônias exclusivas, comumente denominadas colônias-maternidade, com machos reprodutivos dispersos nas proximidades, enquanto grupos de machos solteiros utilizam outros abrigos, ou locais diferentes em cavernas maiores. Portanto, também nestes casos, conjuntos de cavernas constituem unidades de habitat, devendo ser preservados no seu todo.

Várias espécies neotropicais apresentam padrões bimodais de reprodução (i.e., dois picos reprodutivos ao ano), o que foi confirmado por Trajano (1985), Bredt e col. (1999) e Santos (2001) para espécies em áreas cársticas brasileiras. É importante notar que, para a detecção desse tipo de padrão são necessárias pelo menos quatro coletas anuais.

Concluindo, o estudo da quiropterofauna cavernícola, elemento importante para a descrição das comunidades e compreensão do funcionamento dos ecossistemas subterrâneos, não pode ser feito de forma isolada, abrangendo uma única ou poucas cavernas. Estudos ambientais devem focar todas as cavernas de uma região, assim como o meio epígeo, de cujos recursos os morcegos e, indiretamente, também os invertebrados associados ao guano são dependentes.

Estudos de caso: cavernas da área cárstica do Alto Ribeira, São Paulo

A área cárstica do Alto Ribeira, sul de São Paulo-norte do Paraná, foi a primeira brasileira a ser investigada de forma intensiva e sistematizada (Dessen e col., 1980), e ainda hoje vários estudos vem sendo empreendidos em diversas cavernas, destacando-se as cavernas Areias de Cima e de Baixo e a ressurgência das Areias da Água Quente, na borda do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR.

O Sistema Areias é o mais bem estudado no país (para uma síntese, ver Trajano, 2007), sendo objeto de estudos sistematizados desde final da década de 1960 (no caso específico do bagre cego, *Pimelodella kronei*, desde 1930-1940). Até 2007 (Trajano e col., op. cit.), haviam sido registrados 118 táxons de invertebrados – o número de espécies pode ser superior, uma vez que muitos foram identificados em nível de famílias ou gêneros que podem abranger mais de um táxon. Ressalte-se que esse é o número cumulativo de táxons registrados ao longo de décadas de estudo, em algumas dezenas de ocasiões de amostragem, porém nunca encontrados concomitantemente. Bessi-Pascoaloto (2005), a partir do mais intenso esforço de coleta empreendido na caverna – visitas mensais entre fevereiro/2002 e dezembro/2003, com dezenas de armadilhas de queda em bancos de sedimento –, registrou 46 táxons.

Bessi-Pascoaloto (2005) ressalta a influência das enchentes, variáveis ano a ano, nos padrões de captura de coleópteros vivendo em bancos de sedimento. Isto implicaria em variações infra-anuais nos padrões de reprodução/colonização e re-colonização desses habitats. A autora aponta, ainda, as variações temporais na extensão e na distribuição dos micro-habitats, tais como manchas de habitat mais úmido (borda de corpos d´água, gotejamentos etc.) que condicionam a distribuição de muitas espécies. Outros fatores, de ocorrência igualmente variável – manchas de matéria orgânica vegetal, guano, concentração de presas -, influenciam a distribuição espacial e temporal de muitos cavernícolas.

Tendo em vista que o guano é frequentemente uma importante fonte de nutrientes em ecossistemas subterrâneos, espera-se que a instabilidade na deposição do mesmo gere variações espaciais e temporais na distribuição e abundância dos componentes faunísticos total ou parcialmente dependentes desse recurso alimentar. Note-se, ainda, que há elementos característicos de determinados tipos de guano (de hematófagos, insetívoros, frugívoros etc.), ou mesmo de certas condições do guano – úmido, recém-depositado *versus* progressivamente mais seco, quando a deposição é interrompida, definitiva ou temporariamente (Gnaspini & Trajano, 2000). Consequentemente, tais variações podem ser bastante significativas.

Flutuações infra-anuais entre 2000 e 2003 foram observadas por Andrade (2004) para populações de pseudoscorpiões guanófilos, *Maxchernes iporangae*, em diferentes manchas de guano de frugívoros na Caverna Alambari de Baixo, porém sem padrões sazonais visíveis. Note-se que tais manchas estão entre as mais estáveis observadas em cavernas do Alto Ribeira, sendo localizadas em diversas ocasiões, tanto antes quanto depois do estudo de Andrade. No entanto, a despeito dessa longa permanência, tem sido observadas diferenças importantes quanto ao tamanho e condições dessas manchas (com ou sem contribuição de deposição recente), relacionadas à dinâmica populacional dos morcegos frugívoros do gênero *Artibeus*.

Estudando aranhas Ctenidae em cavernas do PETAR e PEI em 2001 e 2002, Pellegatti-Franco (2004) observou um claro declínio nas populações de *Ctenus fasciatus*, tanto adultos como juvenis, mais acentuada na Caverna Lage Branca. Enxurradas em 2002, ano mais chuvoso que 2001, explicariam o declínio no número de aranhas encontradas nesta última, porém não no conjunto das cavernas do PEI, levando a autora a concluir ter se tratado de flutuação natural da populaçãa da Lage Branca.

Levantamento faunístico intensivo, com métodos padronizados de amostragem baseados em varredura de todos os habitats disponíveis, foi realizado em 2009 pela equipe responsável pelo estudo espeleobiológico para o Plano de Manejo turístico de 32 cavernas do Alto Ribeira, Parques Estaduais de Intervales (PEI), Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e mosaico de Unidades de Conservação de Jacupiranga, a maioria visitada em duas ocasiões espaçadas de vários meses (Trajano, Bichuette e Pellegatti-Franco, dados não publicados). Esse elevado esforço de coleta resultou em números totais de táxons amostrados no ano em 15 dessas cavernas, variando entre 65 e 127 por caverna (média = 100,5). Note-se que o número de espécies deve ser superior, pois muitas foram identificadas no nível de gênero ou família, e em muitos casos optamos por não utilizar morfo-espécies em virtude dos problemas da

parataxonomia, que podem levar a sérias distorções nas estimativas da diversidade (Krell, 2004; Bortolus, 2008). Mesmo com todo esse esforço, vários táxons registrados nessas cavernas em ocasiões anteriores não foram localizados (entre 2 e 14, média = 7,9). Essas populações podem: 1) ter desaparecido efetivamente da caverna em função de variações naturais ou como conseqüência da visitação, ou 2) não terem sido detectadas por insuficiência amostral. Note-se que 2009 foi um ano climaticamente atípico, com muitas chuvas naquela que seria a estação seca, o que criou um problema em termos de generalização para fins do plano de manejo.

Cavernas em outras áreas cársticas brasileiras

Diferenças acentuadas entre anos foram igualmente observadas na Gruna do Enfurnado (Serra do Ramalho, sul da Bahia), afetando principalmente os habitats terrestres. A fauna de invertebrados foi quantificada através de diferentes métodos em diferentes substratos (contagens ao longo de transecções em paredes rochosas e em quadrados no piso, coletas com "winklers" no sedimento) e estações (meio e fim da seca, em 2006 e 2007, início da seca em 2007), tendo-se verificado diferenças entre anos e entre locais de amostragem, para a mesma estação, sem padrões espaciais ou sazonais nítidos (Trajano e Sansone, dados não publicados). Além disso, flutuações importantes no nível da água, que cobre parcial ou totalmente boa parte dos habitats terrestres durante a estação chuvosa, quando ocorrem fortes enxurradas, alteram significativamente a distribuição dos diferentes tipos de substrato e das manchas de recursos alimentares de ano para ano. Ou seja, a caverna é altamente dinâmica, diferente a cada visita.

Estudos em andamento em cavernas areníticas da região da Chapada Diamantina, na Bahia (M.E.Bichuette e J.E. Gallão, em prep.), demonstram inequivocamente a necessidade de várias ocasiões de amostragem, distribuídas por um longo período, devida, ao menos em parte, às variações temporais na composição das comunidades subterrâneas: após cinco ocasiões de coleta em quatro cavernas, realizadas em estações secas e chuvosas entre 2008 e 2010 (três ciclos anuais), o número acumulado de espécies ainda está longe de estabilizar, com curvas de rarefação de amostragem muito ascendentes, sem aproximar-se da assíntota. Para uma das cavernas amostradas, na última ocasião de coleta foram acrescentadas nove espécies. Por outro lado, a maioria das espécies registradas para cada caverna foi amostrada em uma única ocasião.

Em nenhum dos estudos acima citados o número absoluto de espécies registradas a cada ocasião não aumentou gradativa e progressivamente, como seria esperado se as diferenças observadas fossem devidas simplesmente a uma melhoria da habilidade dos coletores e eficiência das coletas. Ao contrário, muitas espécies amostradas inicialmente não foram em coletas posteriores, o que sustenta a noção de dinamismo espacial e temporal das comunidades cavernícolas, seja por conta de migrações periódicas entre as cavernas e os espaços menores contíguos às mesmas, seja por taxas diferenciais de reprodução – a reprodução em troglóbios é infrequente, podendo seguir padrões infra-anuais; outro fator importante é a baixa probabilidade de captura de exemplares de espécies com densidades populacionais baixas (um dos critérios para se considerar uma espécie como rara). Isto mais uma vez reforça a necessidade de réplicas ao longo de vários ciclos anuais.

Contra-exemplos existem, como esperado, pois padrões biológicos não são absolutos, o que torna a situação ainda mais imprevisível. Por exemplo, as grandes cavernas percorridas por rios na área cárstica de São Domingos/GO, que incluem todos os grandes sistemas do Parque Estadual de Terra Ronca – PETER (e.g., Angélica-Bezerra, São Vicente, São Bernardo-Palmeira) parecem relativamente estáveis ao longo dos anos (obs. pess.). Embora sujeitas a enxurradas, os grandes volumes internos e amplos contactos com o exterior permitiriam que extensões importantes dos habitats terrestres permanecessem acima do nível da água, mesmo nas épocas mais chuvosas, resultando em flutuações faunísticas espaciais e temporais de menor amplitude que, por exemplo, na Gruna do Enfurnado. Por outro lado, cavernas pequenas e/ou com estreitamentos estão sujeitas a variações devidas a modificações no tamanho e distribuição dos acúmulos de detritos vegetais (principal fonte de nutrientes nas cavernas de São Domingos em geral) retidos nesses estreitamentos e outros obstáculos, como bacias de dissolução.

Resumindo, um alto dinamismo espacial e temporal é comum em cavernas com corpos d´água permanentes ou temporários, principalmente em áreas de sazonalidade evidente.

Comentários finais: inadequação da legislação

Ecossistemas são entidades multi-dimensionais e, pelo seu dinamismo natural, muito ecossistemas subterrâneos podem apresentar padrões espaciais e temporais altamente complexos. Exceto por uma aparente tendência das cavernas com corpos d´água, permanentes ou temporários, em regiões de acentuada sazonalidade climática, apresentarem os mais altos graus de dinamismo, o atual estado-da-arte da espeleobiologia brasileira não permite estabelecer de antemão, com base em localização, concentração geográfica, litologia, dimensões, morfologia e outras características das cavernas, o esforço amostral mínimo necessário à compreensão da composição e funcionamento de seus ecossistemas, sobretudo quando o objetivo é classificar cavernas de acordo com a possibilidade de destruição. Nestes casos, testes de suficiência amostral, visando a demonstrar a representatividade dos resultados, são fundamentais e inegociáveis.

O recente Decreto 6640, de 2008, que flexibilizou o uso de áreas cársticas, abrindo a possibilidade de destruição de cavernas inteiras, representou um retrocesso na legislação ambiental brasileira, mais lamentável em vista do grande valor intrínseco dos habitats subterrâneos, além dos problemas práticos decorrentes da degradação desse ambiente (poluição e rebaixamento de aqüíferos, aceleração na formação de dolinas em áreas habitadas etc.).

Para piorar a situação, a Instrução Normativa MMA 2, de 2009, que regulamentou o Decreto, tem claras fa-

lhas lógicas, conceituais e metodológicas (Berbert-Born, 2010; Trajano e Bichuette, 2010), ainda mais graves tendo em vista os desdobramentos desse dispositivo legal, que é permitir a destruição sumária de ecossistemas inteiros. Entre estas, está o estabelecimento, para os levantamentos biológicos, de um "... mínimo de um ciclo anual com, pelo menos, duas amostragens por ano, sendo uma na estação chuvosa e outra na estação seca, visando minimamente revelar aspectos decorrentes da sazonalidade climática". Artigo 16, § 2º). Pior: não existe qualquer exigência explícita – portanto legalmente válida – de teste de suficiência amostral. Lógica e legalmente, tal disposição permite que, eventualmente, duas ocasiões de amostragem e/ou um ciclo anual sejam consideradas suficientes, o que não é aceitável em nenhuma circunstância.

Nenhum dado empírico, seja proveniente de estudos sistematizados, ou de observações ao longo de anos, aponta para uma estabilidade tal que duas coletas sejam representativas. Isto é mais óbvio do ponto de vista dos testes de suficiência amostral, baseados em curvas de acumulação de espécie, uma vez que dois pontos apenas definem uma reta, nunca uma curva. A aplicação de curvas de acumulação de espécies em cavernas européias intensamente estudadas aponta para mínimos de 40 a 80 ocasiões de amostragens necessárias para se aproximar à assíntota dessas curvas (Culver e Pipan, 2009).

A IN 2/2009 também prevê a estimativa de "riqueza de espécies" e "abundância de espécies" com base em morfo-espécies, o que é altamente questionável se esses táxons não forem validados por especialistas em cada grupo. Além disso, deve haver extrema cautela no uso de riqueza e abundância e de índices de diversidade associados (igualmente questionáveis por si), como critério de relevância para os fins do Decreto (que abre a possibilidade de destruição de cavernas que não se enquadrem na categoria de "relevância máxima"), uma vez que não há uma relação necessária entre esses números e a importância biológica do habitat. Muito mais relevante é a composição taxonômica em si, analisada dentro do contexto espacial e temporal, com foco não apenas na diversidade alfa em si, como também, e principalmente, na contribuição desta para a diversidade regional total (diversidade gama), assim como na diversidade filogenética, na funcional e na negra (Trajano e col., 2012).

Listas faunísticas baseadas em poucas ocasiões de coleta, por mais extensas que sejam, assim como os índices de diversidade associados, tem valor descritivo para estreitas faixas temporais, mas não necessariamente valor científico preditivo. Este último depende de repetições, dentro de desenhos experimentais adequados à complexidade do assunto, com testes de suficiência amostral. O mesmo aplica-se aos estudos de distribuição espacial baseados na localização precisa de indivíduos (como em Ferreira, 2004), que podem ter significado em um contexto ecológico específico, localizado espacial e temporalmente, mas que não podem ser utilizados para uma caracterização conclusiva do ecossistema. Portanto, seu valor para conservação e manejo é muito limitado. Do mesmo modo, em virtude dos problemas da parataxonomia acima referidos (Krell, 2004; Bortolus, 2008), o uso de morfo-espécies deve ser considerado uma solução apenas provisória, para efeitos de caracterização preliminar das comunidades cavernícolas, dadas as distorções nas estimativas de biodiversidade. Já o uso de morfótipos, levando a decisões taxonomicamente equivocadas, como atribuir *a priori* espécies distintas a formas imaturas e adultos, como em Silva (2008), não é aceitável em nenhum contexto.

Em suma, na dicotomia desenvolvimento *versus* preservação de ambientes naturais, a Instrução Normativa MMA 2/9 falha como instrumento legal de conservação, atendendo prioritariamente aos interesses econômicos subjacentes ao primeiro. Para se tornar um instrumento sério, lógica e cientificamente embasado, portanto eficaz, a IN deve ser totalmente revista e re-editada.

Referências

Andrade, R. (2004). Estudo populacional do pseudo-escorpião cavernícola *Maxchernes iporangae* (Chernetidae, Pseudoscorpiones). São Paulo: Instituto de Biociências da USP. Tese de Doutorado, 126 pp.

Arnone, I. S. (2008). Estudo da comunidade de morcegos na área cárstica do Alto Ribeira – SP: uma comparação com 1980. São Paulo: Instituto de Biociências da USP. Dissertação de Mestrado, 115 pp. + 2 pranchas.

Bessi-Pascoaloto, R. (2005). Dinâmica populacional do carabídeo cavernícola Schizogenius ocellatus Whitehead, 1972 (Coleoptera) e sua recuperação após eventos de enchentes (Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil). São Paulo: Instituto de Biociências da USP. Tese de Doutorado, 205 pp.

Bortolus, A. (2008). Error cascades in the biological sciences: the unwanted consequences of using bad taxonomy in ecology. Ambio 37(2), 224-118.

Bredt, A., Uieda, W. & Magalhães, E. (1999). Morcegos cavernícolas da região do Distrito Federal, centro-oeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera). Revista Brasileira de Zoologia 16(3): 731-770.

Campanhã, R. A. C. e Fowler, H. G. (1993). Roosting assemblages of bats in arenitic caves in remnant fragments of Atlantic forest in Southeastern Brazil. Biotropica 25(3), 362-365.

Culver, D. C. e Pipan, T. (2009). The biology of caves and other subterranean habitats. Oxford Univ. Press, 254 pp.

Dessen, E.M.B., Eston, V.R., Silva, M.S., Temperini-Beck, M.T. e Trajano, E., 1980. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. Ciência & Cultura 32, 714-25.

Ferreira, R. L. (2004). A medida da complexidade biológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. Belo Horizonte: Instituto de Ciências Biológicas. Tese de Doutorado, 161 pp.

Gnaspini, P. e Trajano, E. (2000). Guano communities in tropical caves. In Wilkens, H., Culver, D. C., Humphreys, F. (Eds) Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems, 30. Amsterdan: Elsevier Science, 251-269.

Holsinger, J. R. e Culver, D. C. (1988). The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of Eastern Tennessee: Zoogeography and ecology. Brimleyana 14, 1-162.

Juberthie, C., 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In Wilkens, H., Culver, D. C., Humphreys, F. (Eds) Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems, 30. Amsterdan: Elsevier Science, 17-39.

Krell, F.-T. (2004). Parataxonomy vs. taxonomy in biodiversity studies – pitfalls and applicability of 'morphospecies' sorting. Biodiversity and Conservation 13, 795-812.

Marques, N. e Menna-Barreto, L. (Orgs) (1999). Cronobiologia: princípios e aplicações, 2ª ed. São Paulo: EDUSP/Editora Fiocruz, 321 pp.

Pellegatti-Franco, F. (2004). Biologia e ecologia populacional de *Ctenus fasciatus* Mello-Leitão e *Enoploctenus cyclothorax* (Bertkau) em cavernas do Alto Ribeira, Iporanga, SP (Araneae: Ctenidae). São Paulo: Instituto de Biociências da USP. Tese de Doutorado, 136 pp.

Santos , H. F. (1998). Estudo de uma colônia de morcegos hematófagos, *Desmodus rotundus* (Phyllostomidae, Desmodontinae), na Fazenda Santa Carlota, Município de Cajuru, SP. São Paulo: Instituto de Biociências da USP. Dissertação de Mestrado, 81 pp.

Santos, B. S. (2001). Ecologia e conservação de morcegos cavernícolas na Bacia Sedimentar do Rio Pardo – sul da Bahia. Ilhéus: Programa Regional de Pós-Graduação em desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz. Dissertação de Mestrado, 66 pp.

Silva, M. S. (2008). Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica brasileira. Belo Horizonte: Instituto de Ciências Biológicas. Tese de Doutorado, 216 pp.

Thompson, M. V. F. e Moracchioli, N. (1996). Population ecology of *Chelodesmus yporangae* (Schubart, 1946) (Diplopoda: Polydesmida: Chelodesmidae), a cavernicolous millipede from southeastern Brazil. Mémoires de Biospéologie 23, 249-254

Trajano, E. (1985). Ecologia de populações de morcegos cavernícolas em uma região cárstica do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Zoologia 2, 255-320.

Trajano, E. (1995). Protecting caves for the bats, or bats for the caves? Chiroptera Neotropical, IUCN/SSC 1(2): 19-22.

Trajano, E. (1996). Movements of cave bats in Southeastern Brazil, with emphasis on the population ecology of the common vampire bat, *Desmodus rotundus* (Chiroptera). Biotropica 28(1), 121-129.

Trajano, E. (2010). Políticas de Conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. Estudos Avançados 24(68): 135-146. [in Dossiê Gestão e Estudos ambientais]

Trajano, E. (Org) (2007). Sistema Areias. 100 anos de estudos. São Paulo: Redespeleo Brasil, 126 pp. + 2 mapas.

Trajano, E. (2011). The Ecological Classification of Subterranean Organisms. In Culver, D. C., White, W. B. (Eds). The Encyclopedia of Caves, 2ª ed. San Diego: Elsevier Academic Press.

Trajano, E. e Bichuette, M. E. (2010). Relevância de cavernas: porque estudos espeleobiológicos não funcionam. Espeleo-Tema 21, 105-112.

Trajano, E., Bichuette M. E. e Batalha, M. A. (2012) Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. Espeleo-Tema 23, no prelo.