Revista da Biologia

Volume 10(2)
Julho 2013

ib.usp.br/revista

Especial
Biologia de Cavernas

USP

Revista da Biologia

Publica textos de todas as áreas da Biologia, abordando questões gerais (ensaios e revisões) e específicas (artigos experimentais originais, descrição de técnicas e resumos expandidos).

Há espaço também para perspectivas pessoais sobre questões biológicas com relevância social e politica (opinião).

A Revista da Biologia é gratuita e exclusivamente on-line. Sua reprodução é permitida para fins não comerciais.

ISSN1984-5154

www.ib.usp.br/revista

Contato

revistadabiologia@gmail.com

Revista da Biologia
Rua do Matão, trav. 14, 321
Cidade Universitária, São Paulo
São Paulo, SP Brasil
CEP 05508-090

Volume 10(2)
Publicado em julho de 2013

Expediente

Editor Executivo
Carlos Rocha

Coordenadores
Agustín Camacho
Daniela Soltys
Pedro Ribeiro
Rodrigo Pavão

Editora científica
Eleonora Trajano

Consultores científicos
Abel Perez González
Agustin Camacho
Antônio Carlos da Silva
Ariel Rodrigues Cardoso
Flavio A. Bockmann
Janaína Morimoto Meyer
Leopoldo Barleta
Lilian de Oliveira Avelar
Luciane Ayres Peres
Marcelo Arruda Fiuza de Toledo
Marco Antônio Batalha
Mauro Teixeira Jr
Monica T. P. Ragazzo
Ricardo Pinto da Rocha

Editores gráficos
Juliana Roscito
Leonardo M. Borges

Foto da capa: *Cave Ceiling* por **hao$** – www.flickr.com/hao_nguyen/

Editorial

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

Neste volume especial da Revista da Biologia, reunimos artigos originais e revisões voltadas ao conhecimento dos ecossistemas subterrâneos brasileiros, com ênfase nas cavernas, que são os componentes do meio hipógeo diretamente acessíveis aos humanos. O estudo desses ecossistemas singulares tem relevância não apenas acadêmica, na ciência básica, como aplicada, na área de conservação.

Habitats subterrâneos são particularmente frágeis em virtude da dependência de recursos do meio epígeo (superficial), alto grau de fragmentação e freqüente ocorrência de espécies endêmicas – os troglóbios –, usualmente raras devido à restrição geográfica e densidades populacionais em geral baixas, e altamente vulneráveis a perturbações. Além de proporcionarem excelentes modelos para a investigação de fenômenos biológicos gerais, comunidades subterrâneas tem uma grande valor intrínseco por sua singularidade.

Apoiado em conceitos logicamente inconsistentes e metodologia falha nos princípios científicos mais básicos, o Decreto 6640, de 2008, abriu brechas para a destruição de cavernas. Como conseqüência da inadequação das políticas ambientais brasileiras, ecossistemas inteiros encontram-se a beira de destruição, por afogamento e outras perturbações causadas pela construção de hidrelétricas – sendo Belo Monte, que inundará áreas cársticas inteiras, o caso recente mais eloqüente –, mineração, principalmente de ferro (atualmente a maior pressão sobre áreas com cavernas) e calcário, desenvolvimento urbano descontrolado, com uso não planejado de águas subterrâneas etc. Mais um resultado de pressões econômicas predatórias, o Decreto 6640 representa mais um exemplo do desmantelamento da legislação ambiental brasileira ora em andamento.

Cumpre ao Biólogo levantar-se contra essa grave situação, atuando não só politicamente como, e principalmente, dentro de sua competência específica, que é fornecer, a partir do estudo dos biomas brasileiros, base científica para ações consistentes e efetivas visando à preservação ambiental.

Volume 10(2)

Índice

Variações anuais e infra-anuais em ecossistemas subterrâneos: implicações para estudos ambientais e preservação de cavernas **1**
Annual and infra-annual variations in subterranean ecosystems: implications for environmental studies and cave preservation
Eleonora Trajano

Avaliação in situ do aporte de alimento nas diferentes zonas de uma caverna: estudo de caso e recomendações metodológicas **8**
In situ evaluation of the food input in the different zones of a cave: case study and methodological recommendations
Pavel Dodonov, Juliana Ribeirão de Freitas, Rogerio Franco Flores Tezori, Maria Elina Bichuette

Ictiofauna da área cárstica de Presidente Olegário, Estado de Minas Gerais, com ênfase nas espécies subterrâneas **13**
The ichthyofauna from Presidente Olegário Karst area, Minas Gerais state, with emphasis on subterranean species
Sandro Secutti, Maria Elina Bichuette

Distribuição, riqueza e conservação dos peixes troglóbios da Serra da Bodoquena, MS (Teleostei: Siluriformes) **21**
Distribution, richness and conservation of troglobitic fishes from Serra da Bodoquena, MS (Teleostei)
Lívia Medeiros Cordeiro, Rodrigo Borghezan, Eleonora Trajano

A expressão do comportamento agonístico em *Ituglanis ramiroi* Bichuette & Trajano 2004 (Siluriformes: Trichomycteridae) e sua aplicação para conservação **28**
The expression of the agonistic behavior in *Ituglanis ramiroi* Bichuette & Trajano 2004 (Siluriformes: Trichomycteridae) and its application for conservation
Diego Monteiro Neto, Maria Elina Bichuette

Dinâmica populacional do bagre cego de Iporanga, *Pimelodella kronei*: 70 anos de estudo **34**
Population dynamics of the blind catfish, *Pimelodella kronei*: a comparison with Trajano 1987
Ana Luiza Feigol Guil, Eleonora Trajano

Ecologia populacional e conservação de eglídeos (Crustacea: Decapoda: Aeglidae) em cavernas da área cárstica do Alto Ribeira, em São Paulo. **40**
Population ecology and conservation of aeglids (Crustacea: Decapoda: Aeglidae) in caves from the Alto Ribeira karstic area, São Paulo
Kate P. Maia, Sérgio L.S. Bueno, Eleonora Trajano

Morfologia e ecologia sensorial em aracnídeos troglóbios: perspectivas para a espeleobiologia brasileira **46**
Morphology and sensory ecology in troglobite arachnids: perspectives for the Brazilian speleology
Rodrigo Hirata Willemart, Bruna Gomes Taques

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.

Revista da Biologia (2013) 10(2): 8–12
DOI: 10.7594/revbio.10.02.02

Artigo

Avaliação in situ do aporte de alimento nas diferentes zonas de uma caverna: estudo de caso e recomendações metodológicas

In situ evaluation of the food input in the different zones of a cave: case study and methodological recommendations

Pavel Dodonov[1], Juliana Ribeirão de Freitas[1], Rogerio Franco Flores Tezori[1], Maria Elina Bichuette[2*]

[1]*Universidade Federal de São Carlos*
[2]*Laboratório de Estudos Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, Universidade Federal de São Carlos*

*Contato do autor: bichuette@uol.com.br

Resumo. Devido à ausência de luz, ambientes cavernícolas são desprovidos de organismos fotossintetizantes, e dependem do aporte de alimento a partir do meio epígeo. Nós comparamos a quantidade de alimento disponível nas diferentes zonas de duas cavernas na região da Serra da Canastra, MG. A quantidade de detritos vegetais era máxima na zona de entrada, intermediária na zona de penumbra, e mínima na zona afótica. O guano esteve praticamente ausente na zona de entrada, mas sem apresentar padrões claros entre as zonas de penumbra e afótica. Assim, os detritos vegetais parecem ser mais importantes na zona de entrada, e o guano em zonas mais profundas. Concluímos o artigo com algumas recomendações metodológicas relacionadas à quantificação do aporte e à inferência estatística.
Palavras-chave. *Guano; Detritos vegetais; Raízes; Meio subterrâneo.*

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Abstract. Due to the absence of light, cave environments are devoid of photosynthesizing organisms, and depend on the input of food from above ground. We compared the quantity of food available in the different zones of two caves in Serra da Canastra, MG. The amount of plant debris was highest in the entrance zone, intermediate in the twilight zone, and minimal in the dark zone. Guano was practically absent from the entrance zone, but did not present any clear pattern between the twilight and the dark zones. Therefore, plant debris seem to be more important in the entrance zone, and guano in deeper zones. We conclude with some methodological recommendations related to the quantification of food input and to statistical inference.
Keywords. *Guano; Vegetal debris; Roots; Subterranean environment.*

Introdução

O meio subterrâneo, ou hipógeo, contrasta grandemente com o meio superficial, também chamado epígeo, que inclui a vegetação e os corpos d'água superficiais. Estes ambientes são caracterizados pela tendência à estabilidade ambiental, devido ao efeito tampão da rocha circundante. Os ambientes cavernícolas são divididos em zonas de entrada, de penumbra, e afótica; esta zonação é determinada pela distância em relação aos contatos com o meio epígeo, e se caracteriza pela diminuição gradativa da luminosidade e das flutuações de temperatura e pela distribuição diferenciada dos seres vivos. (Trajano e Bichuette, 2006).

Em decorrência da ausência de luz nas zonas mais profundas, estes ambientes são desprovidos de organismos autotróficos fotossintetizantes, exceto nas proximidades dos contatos com o exterior. Assim, cadeias alimentares cavernícolas em geral incluem alguma relação com o ambiente exterior, ou seja, algum tipo de aporte de nutrientes provenientes do meio externo, tais como guano, detritos vegetais, carcaças e raízes (Trajano e Bichuette, 2006).

Devido ao aporte externo do alimento, espera-se uma que a importância de cada tipo varie entre as zonas. Por exemplo, na zona de entrada os detritos vegetais podem ser mais importantes, enquanto o guano deve ser mais importante do que os detritos nas áreas mais profundas, Outros aspectos, como grau de decomposição, também podem ser importantes. Por exemplo, detritos vegetais recentes podem suportar uma fauna decompositora diferente dos detritos mais antigos, com menor carga energética. Em relação ao guano, a forma também deve ser levada em consideração, já que a sua oxidação e ressecamento, fatores importantes para alguns organismos dependentes de guano (guanóbios e guanófilos), são vari-

áveis de acordo com sua forma.

Embora a quantidade e qualidade de alimento sejam essenciais à manutenção da fauna cavernícola, estudos quantitativos dessa distribuição são escassos, possivelmente devido à dificuldade desta avaliação. Por exemplo, devido à baixa quantidade de alimento disponível, sua quantidade precisa ser estimada *in situ*, já que a sua retirada para análise em laboratório pode ser prejudicial à fauna residente.

Assim, nós testamos duas hipóteses em relação ao aporte de alimentos em duas cavernas nos arredores da Serra da Canastra:

1) A quantidade de detritos vegetais e de raízes diminui gradativamente da zona de entrada até a zona afótica, devido à dependência direta que estes elementos têm com o meio externo, sendo que o grau de decomposição dos detritos vegetais será mínimo na zona de entrada;

2) O guano se distribui pelas três zonas da caverna, sem ser consistentemente mais abundante em alguma delas, pois sua localização depende dos hábitos dos morcegos; não esperamos diferenças entre as zonas no que diz respeito ao grau de decomposição ou forma das manchas.

Com base nos resultados e na nossa experiência de campo, fazemos algumas considerações sobre as dificuldades encontradas e terminamos com recomendações sobre desenho amostral e a inferência estatística em estudos como esse.

Metodos

Área de estudo

As localidades estudadas foram a Gruta do Tesouro e a Gruta do Zeferino I. Ambas de litologia calcária e inseridas na Unidade Geomorfológica Bambui, localizadas no município de São Roque de Minas (MG), na região da Serra da Canastra - latitude 20º24' S e longitude 46º36' O. A vegetação dominante no entorno é de pastagens campo sujo e campo cerrado, estes últimos também usados como pastagem, com matas-galeria em torno de cursos d'água próximos. A vegetação adjacente à entrada das cavernas é mais densa, sendo de cerrado *sensu stricto* (*sensu* Coutinho, 1978) na Gruta do Tesouro e de mata semi-decídua na Gruta do Zeferino I. A fauna das duas cavernas é pouco conhecida, mas elas apresentam pelo menos 22 (Gruta do Tesouro) e 25 (Gruta do Zeferino I) espécies, sendo respectivamente quatro e duas possíveis troglóbias (Bichuette e Simões, 2009). A Gruta do Tesouro, com duas entradas, é atravessada por um riacho de nível de base, com substratos variados. A Gruta do Zeferino I é uma caverna sem drenagens, mas com várias entradas, além de raízes penetrantes.

Coleta de dados

Medimos quatro tipos de aporte de alimento disponível nas diferentes zonas (entrada, penumbra e afótica) dessas duas cavernas. Fizemos uma única visita em cada caverna, respectivamente nos dias 6 e 7 de setembro de 2009, durante a estação seca na região. Os recursos alimentares enfocados foram:

1) Detritos vegetais: medimos o diâmetro de cada acúmulo em duas direções perpendiculares, classificamos a composição da mancha (folhas, galhos ou ambos), verificamos a presença de plântulas e estimamos o grau de decomposição com escalas de 0 a 3 (0 = sem início aparente de decomposição; 1 = 1-29% de decomposição; 2 = 30-69% de decomposição e; 3 = 79-99% de decomposição – Ribeiro e Castro, 1976). Também medimos comprimento e diâmetro de galhos ou pedaços de tronco isolados.

2) Raízes: medimos o seu diâmetro a aproximadamente 20 cm da ponta.

3) Guano: medimos o diâmetro das manchas em duas direções perpendiculares e determinamos o tipo alimentar do morcego (hematófago, carnívoro, insetívoro, frugívoro ou nectarívoro). Classificamos subjetivamente a forma da mancha em: regular, semi-regular e irregular; e a idade do guano em: recente (com contribuição importante de fezes frescas) ou antigo.

4) Carcaças e outros: animais mortos e fezes de vertebrados (exceto morcegos) foram avaliados apenas qualitativamente devido à sua baixa abundância.

Análise dos dados

Observamos que as áreas das manchas de detritos vegetais e de guano apresentavam forma aproximadamente elíptica, de modo que calculamos suas áreas pela fórmula

$A = \pi.C1.C2$

sendo A a área e $C1$ e $C2$ as duas medidas perpendiculares.Para os galhos, calculamos o volume aproximado, adotando a forma cilíndrica, pela fórmula

$V = \pi.(D/2)^2.L$

sendo V o volume, D o diâmetro e L o comprimento. Para as raízes, calculamos a área da seção transversal como

$A = \pi.(D.2)^2$.

A seguir, comparamos o tamanho e o grau de decomposição médio das manchas de diferentes zonas por meio de um teste t de permutação (Manly, 2007), no aplicativo Past 1.93 (Hammer *et al.*, 2001).. Este teste foi usado no lugar do teste t convencional devido à não-normalidade e não-independência dos dados coletados em cada zona. Em cada caverna, alguma das zonas foi excluída de cada teste devido a tamanho amostral insuficiente; deste modo, fizemos a comparação sempre entre duas zonas, sem a necessidade de correção para comparações múltiplas.

Resultados

Detritos vegetais e raízes

Os detritos vegetais foram mais abundantes nas zonas de entrada e penumbra de ambas as cavernas, mas sem uma redução gradual no número de manchas. Não encontramos nenhum padrão relacionado à composição das manchas quanto à presença de galhos e folhas. Na Gruta do Tesouro, encontramos nove manchas de detritos vegetais na zona de entrada, 17 na zona de penumbra, e uma única na zona afótica; esta última era relativamente pequena (7 cm^2), encrustada na parede e já altamente decomposta (grau de decomposição 3). Já na Gruta do Zeferino I,

econtramos 12 manchas de detritos vegetais na zona de entrada (distribuídas em três das quatro entradas examinadas) e 11 na zona de penumbra. Encontramos plântulas em uma única mancha, na zona de entrada da Gruta do Zeferino I.

A área média das manchas era maior na zona de entrada em ambas as cavernas (Gruta do Tesouro: área média ± desvio padrão de 0.19 ± 0.20 m^2 na zona de entrada, 0,03 ± 0,05 m^2 na zona de penumbra, p=0.001; Gruta do Zeferino I: 0,74 ± 2,12 m^2 na zona de entrada, 0,01 ± 0,02 m^2 na zona de penumbra; p = 0.001), assim como a área total ocupada por elas (Gruta do Tesouro: 1.74 m^2 na zona de entrada, 0,60 m^2 na zona de penumbra; Gruta do Zeferino I: 8,92 m^2 na zona de entrada, 0,15 m^2 na zona de penumbra) . O grau de decomposição médio diferiu entre as zonas da Gruta do Tesouro (0,3 na zona de entrada, 2,5 na zona de penumbra; p=0.001), mas não na Gruta do Zeferino I (0.82 na zona de entrada, 0,66 na zona de penumbra, p=0.29).

Galhos e troncos isolados foram encontrados nas zonas de penumbra e afótica da Gruta do Tesouro e nas zonas de entrada e afótica da Gruta do Zeferino I (Gruta do Tesouro: 14 na zona de entrada, 11 na zona afótica; Gruta do Zeferino I: 2 na zona de entrada, 10 na zona afótica). O volume médio dos galhos e troncos não diferiu entre as zonas da Gruta do Tesouro (2145 ± 5047 cm^3 na zona de penumbra, 3192 ± 7835 cm^3 na zona afótica, p=0,69); não realizamos teste estatístico para a Gruta do Zeferino I devido à baixa quantidade da galhos na zona de entrada.

Com uma exceção, as raízes estavam restritas à zona de entrada das grutas. Na Gruta do Tesouro, contabilizamos 14 raízes na entrada principal da caverna, com área de seção transversal de 1,60 cm^2, e 2 raízes com área total de 0,35 cm^2 em outra entrada. Na Gruta do Zeferino I, encontramos 41 raízes, com 5,85 cm^2 de seção transversal total, na entrada principal; 11 raízes com 2,20 cm^2 em uma entrada secundária; e uma única raiz mais espessa na zona de penumbra, com 29 cm^2.

Guano

O guano era mais abundante nas zonas de penumbra e afótica e praticamente ausente na zona de entrada em ambas as grutas. Na Gruta do Tesouro, encontramos quatro manchas de guano de morcegos hematófagos e frugívoros na zona de penumbra e seis na zona afótica. Na Gruta do Zeferino I, encontramos três manchas de guano na entrada, 26 na zona de penumbra e 10 na zona afótica, de morcegos carnívoros e hematófagos.

As manchas de guano na zona afótica eram significativamente menores do que as da zona de penumbra apenas na Gruta do Tesouro (Gruta do Tesouro: 0,61 ± 0,73 m^2 na zona de penumbra, 0,05 ± 0,08 m^2 na zona afótica, p=0,04; Gruta do Zeferino I: 0,71 ± 1,95 m^2 na zona de penumbra, 0,37 ± 0,57 m^2 na zona afótica, p=0,46). Duas manchas na zona de entrada da Gruta do Zeferino I eram pequenas, com menos de 0.01 m^2, e uma era maior, com 0,13 m^2. A área total ocupada pelo guano na Gruta do Tesouro era de 2,43 m^2 na zona de penumbra e de 2,99 m^2 na zona afótica; na Gruta do Zeferino I, era de 18,55 m^2 na zona de penumbra e de 3.76 m^2 na zona afótica. Havia também, na Gruta do Zeferino I, um conduto inteiro, abrangendo as zona afótica, de penumbra e de entrada, cujo chão era coberto por guano seco; sua área foi estimada em 47 m^2.

Em ambas as cavernas, o grau médio de decomposição do guano foi similar entre as zonas (p > 0.25). No entanto, manchas de guano recentes, sem sinal de colonização por fungos, foram encontradas apenas nas zonas de entrada e de penumbra da Gruta do Zeferino I.

Também não detectamos padrões em relação à forma das manchas. Na Gruta do Tesouro, na zona de penumbra 50% das manchas tinha forma semi-regular, e as regulares e irregulares correspondiam a 25% do total; na zona afótica, 67% eram regulares, 17% semi-regulares e 17% irregulares. Na Gruta do Zeferino I, na zona de penumbra 58% das manchas eram irregulares, 35% regulares e 8% semi-regulares, enquanto na zona afótica 50% eram semi-regulares, 30% regulares, e 20% irregulares.

Outras fontes de alimento

Na Gruta do Tesouro, encontramos quatro regurgitos de coruja, provavelmente suindara (*Tyto alba*) e uma carcaça de ave na zona de entrada, e nove manchas com regurgito de coruja na zona de penumbra. Encontramos também nove crânios de roedores na zona de penumbra e dois na zona afótica. Na Gruta do Zeferino I, em zona afótica próxima à entrada, encontramos fezes de mamífero terrestre, provavelmente de pequeno felino (*Leopardus* sp.), identificado pelo padrão cuticular de pelos encontrados nas fezes (provavelmente ingeridos durante o comportamento de limpeza) a partir do método proposto por Quadros e Monteiro-Filho (2006).

Discussão

Importância dos diferentes tipos de alimento

Em ambas as cavernas, os principais tipos de alimento importado eram detritos vegetais e guano. Como esperado, a quantidade de matéria vegetal era máxima na zona de entrada e quase ausente na zona afótica, sendo intermediária na zona de penumbra. De modo contrário à expectativa, no entanto, o grau de decomposição foi similar nas zonas de entrada e penumbra na Gruta do Zeferino I, e não houve mudanças na composição das manchas. Detritos vegetais parecem ser muito mais importantes na zona de entrada, onde seu aporte é mais constante, como evidenciado pelo graus de decomposição mais baixo na Gruta do Tesouro. No entanto, detritos vegetais foram encontrados, em menor quantidade, até a zona afótica em ambas as cavernas. Na zona afótica, eles eram mais antigos, compostos primariamente por galhos isolados, e as únicas folhas encontradas estavam incrustadas na parede, acima do conduto do rio. Isso é evidência de que o aporte de detritos vegetais na zona afótica se dá por enxurradas, sendo, portanto, menos constante e mais imprevisível.

Em relação ao guano, a nossa expectativa de distribuição pelas três zonas foi corroborada apenas parcialmente, pois ele foi encontrado nas zonas de penumbra e

afótica, mas praticamente ausente nas zonas de entrada. Não houve um padrão claro na quantidade de guano entre as zonas de penumbra em relação à área média por mancha e à área total. Na Gruta do Zeferino I, havia manchas de guano mais recentes, evidenciando que o aporte é mais contínuo. Não foi detectado um padrão claro quanto aos graus de decomposição ou forma das manchas entre as zonas de penumbra e afótica, evidenciando que a fauna de organismos dependentes estritamente de guano possa ser similar entre as zonas.

Na Gruta do Tesouro, as manchas de guano eram mais antigas, e encontradas mais longe da entrada. É provável que uma ou mais corujas, possivelmente suindaras (*Tyto alba*), tivessem afastado as populações de morcegos, já que, segundo informações guias locais, os morcegos costumavam ser extremamente abundantes na zona de entrada e penumbra. *Tyto alba* se alimenta frequentemente de morcegos nas Ilhas Britânica (Speakman, 2008).

Levantamos a possibilidade de que, na Gruta do Tesouro, a coruja tenha substituído parcialmente a função desempenhada pelos morcegos, já que ela deixa alimento na forma de fezes. Regurgitos de corujas são um tipo de aporte de alimento importante também em outras cavernas brasileiras (e.g., Pinto-da-Rocha e Sessegolo, 2001), e fezes de andorinhões (Apodidae) podem ser usadas por comunidades de troglófilos e troglóbios especializados (Chapman, 1983).

Pinto-da-Rocha e Sessegolo (2001) encontraram, em uma caverna no Mato Grosso do Sul, uma fauna bastante diversa associada ou próxima a manchas de guano, tanto de morcegos carnívoros quanto de hematófagos. Segundo esses autores, algumas espécies encontradas por eles eram restritas a guano fresco de morcegos hematófagos, enquanto outras eram menos seletivas. Eles também encontraram algumas espécies utilizando regurgitos de coruja, assim como espécies vivendo próximo a raízes vegetais; animais restritos a detritos vegetais não foram encontrados por eles.

Recomendações metodológicas

A principal dificuldade que encontramos refere-se à medida da área dos detritos vegetais e do guano, principalmente no caso das manchas de forma irregular. Acreditamos que as duas medidas de diâmetro usadas como estimativa da área não representam de forma muito precisa a real quantidade de matéria vegetal ou guano presente. Elas podem ser usadas para comparar o aporte entre as zonas, mas não para descrever com precisão a quantidade de alimento disponível. Para calcular o perímetro e a área, o ideal seria tirar uma fotografia de cada mancha de guano e a analisar em aplicativo gráfico específico, como o Image J (Rasband, 2003). Se isso não for possível, cada aglomeração pode ser inicialmente aproximada por uma forma geométrica que mais se assemelhe a ela e, em seguida, medidas adequadas devem ser feitas considerando a forma geométrica escolhida.

Em relação aos detritos vegetais, medidas de biomassa seriam mais informativas do que de área. Para que a pesagem não cause impactos sobre a fauna, devem-se pesar uma ou mais amostras de área conhecida de uma ou mais manchas e estimar a sua biomassa total levando em conta a área. Além disso, tendo em vista que as folhas se decompõem muito mais rápido do que os galhos ou pedaços de tronco, recomendamos que sejam feitas medidas separadas para estes dois tipos de detrito. Assim, as folhas e os galhos de cada mancha de detritos vegetais seriam consideradas separadamente. Em relação aos galhos especificamente, a proporção de galhos de diferentes classes de diâmetro dentro da mancha poderia ser estimada. Em relação às folhas, poderia ser feita uma estimativa da quantidade de folhas inteiras, parcialmente fragmentadas e totalmente fragmentadas, em relação à área total da mancha. Essa classificação, além de ser mais precisa, eliminaria a necessidade de estimar o grau de decomposição, que seria indicado pelo grau de decomposição foliar.

A classificação da regularidade nos formatos das manchas de guano também foi subjetiva e não permitiu uma comparação real entre as manchas. Se for possível calcular a sua área e perímetro a partir de fotografias, uma ferramenta que poderia ser utilizada para diminuir este problema seria o índice de forma, usado em ecologia da fragmentação. Esse índice leva em conta a área e alguma medida de perímetro ou de eixo. Existem diversas formas de calcular o índice de forma por exemplo a proposta por Shalma *et al.* (2000):

SI = P/200 [(pAT)0.5]

Sendo SI o índice de forma, P o perímetro, e AT a área total. Quanto maior o índice de forma, maior o desvio da forma circular, e portanto mais irregular é a mancha.

A classificação do guano também foi altamente subjetiva, e considerou simultaneamente fatores que podem não estar diretamente relacionados, como quantidade de fungos e grau de umidade. Recomendamos que se estabeleçam previamente categorias mais definidas, levando em conta quantidade de fungos, umidade e outras características do guano. Alternativamente, o guano poderia ser classificado quanto ao grau de umidade e quanto à quantidade de fungos, e estas duas classificações posteriormente seriam juntadas em uma única.

Inferência estatística

As diferentes manchas de detritos vegetais/guano não podem ser consideradas independentes, especialmente na zona de entrada, e, portanto, não podem ser consideradas réplicas verdadeiras. Por isso, testes estatísticos clássicos, que assumem independência entre as amostras, devem ser evitados (Zar, 1984). Similarmente, como a caverna inteira não pôde ser amostrada e a distribuição das coletas não foi aleatória, não é possível fazer inferências sobre a caverna inteira. Análises que levam em conta a distribuição espacial das amostras poderiam ser uma solução, não fossem as peculiaridades do ambiente cavernícola. Análises de distribuição espacial normalmente requerem unidades amostrais dispostas sistematicamente (e.g. em transectos) e preferencialmente de forma contígua (Dale, 2006). Esta amostragem é impossível em grande parte das cavernas devido à sua topografia, forma irregular dos condutos, e existência de condutos de acesso difícil ou impossível.

Uma alternativa seria o mapeamento da localização das manchas em relação às feições da caverna. Isso, no entanto, só é possível em cavernas já mapeadas, e o mapeamento de uma caverna é um processo normalmente difícil e demorado (Rubbioli e Moura, 2009).

Assim, recomendamos o uso de testes menos dependentes da distribuição das amostras. Testes por permutação ou reamostragem são baseados na própria amostra, sem recorrer a tabelas de valores críticos, e seus resultados se aplicam necessariamente aos dados coletados, e não à população inteira; além disso, eles podem ser aplicados a amostras não-aleatórias (Manly, 2007). Neste trabalho fizemos apenas comparações das médias. As variâncias também podem ser comparadas por meio da permutação de resíduos, e intervalos de confiança podem ser obtidos por *bootstrap* (Manly, 2007).

Mesmo com os problemas destacados aqui, nós conseguimos detectar alguns padrões em relação ao aporte de alimentos, como maior importância de detritos vegetais e menor importância de guano na zona de entrada. Estudos em outras cavernas e com quantificações mais precisas podem explicitar melhor as diferenças na quantidade de guano entre as zonas de penumbra e afótica. Outro aspecto a ser explorado é a relação da quantidade de alimento disponível e a riqueza, diversidade ou abundância de animais.

Agradecimentos

Agradecemos ao PPGERN-UFSCar, por apoio e suporte financeiro para a viagem de campo; aos ajudantes de campo D. Monteiro-Neto, J. E. Gallão, E. B. L. Carvalho, A. V. Pereira, B. Bueno, F. D. Pita, J. C. Siquitelli, L. W. Bérgamo, M. S. Pinto e aos dois revisores pelas sugestões e críticas ao presente.

Referências

Bichuette ME, Simões LB. 2009. Fauna cavernícola da região da Serra da Canastra, São Roque de Minas, MG – dados preliminares. Carste 2009 – Programação e livro de resumos 77-78.

Chapman PRJ. 1983. Species diversity in a tropical cave ecossystem. Proceedings of the University of Bristol Spelaeological Society 16:201-213.

Coutinho LM. 1978. O conceito de cerrado. Revista Brasileira de Botânica 1:17-23.

Dale MRT. 2006. Spatial pattern analysis in plant ecology. Cambridge: Cambridge University Press.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4: article 1.

IBGE. 2007. Cidades. Disponível em <www.ibge.gov.br> Acesso em 09 out 2009.

Manly BFJ. 2007. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo methods in Biology. 3 ed. Boca Raton: Chapman & Hall.

Pinto-da-Rocha R, Sessegolo GC. 2001. Estudo da fauna da gruta de São Miguel I, Serra da Bodoquena (MS), como subsídio para o plano de manejo. In: Rocha LFS, Oliveira KL, Sess GC. Conservando Caverna: Quinze anos de espeleologia. Curitiba: GEEP-AÇUNGUI p123-134.

Quadros J, Monteiro Filho LA. 2006. Coleta e preparação de pêlos de mamíferos para identificação em microscopia óptica. Revista Brasileira de Zoologia 23:274-278.

Rasband WS. 2003. Image J. Disponível em <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>. Acesso em 26 nov 2011.

Ribeiro JF, Castro LHR. 1986. Método quantitativo para avaliar características fenológicas em árvores. Revista Brasileira de Botânica 9:7-11.

Rubbioli E, Moura V. 2009. Mapeamento de cavernas: Guia prático. São Paulo: Redespeleo.

Sharma S., Palni LMS, Roy PS. 2000. Analysis of fragmentation and anthropogenic disturbances in the Himalayan forests: Use of remote sensing and GIS. Asian Conference on Remote Sensing 2009 Proceedings. Disponível em <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts6/fore0004pf.htm>. Acesso em 09 out 2009.

Speakman JR. 2008. The impact of predation by birds on bat populations in the British Isles. Mammal Review 21:123-142.

Trajano E, Bichuette ME. 2006. Biologia subterrânea: Introdução. São Paulo: Redespeleo.

Zar JH. 1984. Biostatistical analysis. 2ed. New Jersey: Prentice-Hall International.

Revista da Biologia (2013) 10(2): 13–20
DOI: 10.7594/revbio.10.02.03

Artigo

Ictiofauna da área cárstica de Presidente Olegário, Estado de Minas Gerais, com ênfase nas espécies subterrâneas

The ichthyofauna from Presidente Olegário Karst area, Minas Gerais state, with emphasis on subterranean species

Sandro Secutti[1*], Maria Elina Bichuette[2]**

[1]Laboratório de Estudos da Fauna Subterrânea, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

[2]Laboratório de Estudos Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, Universidade Federal de São Carlos

Contato do autor: * sanoverkill@yahoo.com.br; ** bichuette@uol.com.br

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Resumo. A ictiofauna subterrânea da área cárstica de Presidente Olegário, centro-norte de Minas Gerais, foi inventariada em vários ocasiões de visita (dois riachos epígeos e três cavernas), mostrando uma riqueza relativamente elevada para a área amostrada (cerca de 1,5 km^2): 12 espécies registradas, distribuídas nas ordens Characiformes, Siluriformes e Cyprinodontiformes. Duas espécies não-troglomórficas foram registradas coabitando riachos subterrâneos, o bagrinho *Trichomycterus brasiliensis* e o cascudinho *Parotocinclus* sp., a primeira também ocorrendo em tributário vadoso superior na caverna Vereda da Palha. A ocorrência de indivíduos de diferentes faixas de tamanho corpóreo/etárias indica que este peixes estão completando seus ciclos de vida no meio hipógeo, e, são possivelmente troglófilos (espécies capazes de viver e completar seus ciclo de vida tanto no ambiente epígeo quanto no subterrâneo). Ainda, em *Parotocinclus* sp. foi registrada variabilidade populacional quanto à pigmentação melânica cutânea, o que pode representar uma fase inicial do processo de isolamento e diferenciação no ambiente subterrâneo.
Palavras-chave. *Biodiversidade; Cavernas; Peixes de água doce; Troglófilos.*

Abstract. Ichthyofauna from the karstic area of Presidente Olegário, north-central of Minas Gerais state, was studied on several occasions (two epigean streams and three caves), showing a moderate richness: 12 species recorded, distributed on Characiformes, Siluriformes and Cyprinodontiformes orders. Two species were recorded cohabiting the same subterranean stream, however, both are non-troglomorphic: the small catfish *Trichomycterus brasiliensis* and the small armoured catfish *Parotocinclus* sp.; the first one also occupying a reach of a vadose tributary from Vereda da Palha cave. The occurrence of individuals of different ranges of body size/age indicates that they are completing their life cycles in the hypogean realm, and are possibly troglophilic fishes (species able to live and complete their life cycle in the epigean and subterranean relams). Indeed, for *Parotocinclus* species was recorded a population variability for melanic pigmentation, which can represent an early stage of isolation and differentiation in the subterranean environment.
Keywords. *Biodiversity; Caves; Freshwater fishes; Troglophiles.*

Introdução

O Brasil destaca-se mundialmente por sua rica fauna de peixes subterrâneos, tanto troglóbios (organismos restritos ao ambiente subterrâneo, com estados de caráter relacionados ao isolamento neste) como troglófilos (organismos com populações bem estabelecidas tanto no ambiente epígeo ou superficial quanto no subterrâneo) e trogloxenos (organismos cavernícolas que precisam retornar à superfície para completarem seus ciclos de vida) – (Trajano e Bichuette, 2006). Atualmente são conhecidas 26 espécies de peixes troglomórficos habitando o meio hipógeo (subterrâneo), todas apresentando certo grau de redução ou até ausência de olhos e pigmentação se comparados com seus congêneres epígeos (superfície), indicando a condição de troglóbio (Trajano e Bichuette, 2010; M. E. Bichuette, obs. pess.). Mattox *et al.* (2008) listaram 13 espécies com populações troglófilas, reconhecidas no Brasil, mas o número deve ser bem superior em vista das dificuldades em se estabelecer a condição de troglófilos, en-

tretanto, tal categoria só pode ser verificada caso ocorram levantamentos superficiais bem conduzidos e detalhados em áreas próximas aquelas onde ocorram cavernas. Sendo assim, fica demonstrada a dificuldade em estabelecer-se categorias cavernícolas sem uma verificação precisa e acurada no ambiente de entorno das cavernas.

Estudos sobre a ictiofauna da bacia do São Francisco vêm sendo realizados há muito tempo, no entanto trabalhos de maior amplitude são mais escassos, destacando-se a clássica publicação de Lütken em 1875, com a histórica monografia "Velhas-Flodens Fiske", citando 55 espécies para a bacia do Rio das Velhas (Lütken, 2010). Atualmente este número aumentou para 93 espécies (Alves e Pompeu, 2010). Demais trabalhos com listas mais abrangentes para a bacia do São Francisco foram também publicados como Travassos, 1960; Britski *et al.*, 1984; Sato e Godinho, 1999 e Barbosa e Soares, 2009.

Em relação a estudos da ictiofauna que contemplem ambientes epíegos e hipógeos, apenas três foram publicados para o Brasil até o presente, dois deles na bacia do Médio São Francisco: área cárstica da Serra do Ramalho (BA) e Cordisburgo (MG) e um na área cárstica de São Domingos, bacia do Alto Tocantins, nordeste de Goiás. Ainda, nesta útima região estão sendo registradas populações troglóbias em cavernas mais periféricas, por exemplo, o bagrinho troglóbio *Ituglanis mambai* (Bichuette e Trajano, 2008).

As áreas cársticas do nordeste de Goiás e Serra do Ramalho, apresentam notável ictiofauna subterrânea, rica tanto em espécies troglomórficas (12 espécies até o momento) quanto não-troglomorficas (cinco espécies) (Bichuette e Trajano, 2003; Mattox *et al.*, 2008; ME Bichuette, obs. pess.). Ainda, expedições científicas nos arredores do município de São Domingos também vêm revelando enorme potencial para a descoberta de novas espécies de peixes troglóbios e troglófilos, como por exemplo, *Ituglanis* sp. n. do município de Posse, Goiás (Rizzato e Bichuette, em prep.) e duas populações troglomórficas de *Aspidoras* cf. *albater* também ocorrentes em cavernas do município de Posse (Secutti *et al.*, 2011).

A área cárstica de Presidente Olegário, é extremamente escassa de estudos no que concerne a ictiofauna, sendo o presente o primeiro que foca ambientes subterrâneos. Trabalho semelhante para a mesma bacia hidrográfica foi realizado em Cordisburgo, norte de Minas Gerais (Trajano *et al.*, 2009), revelando quatro espécies novas de peixes (três troglófilas e uma troglóbia), demonstrando a importância de estudos com este foco.

No presente trabalho, inventariamos trechos epígeos e subterrâneos de rios da área cásrtica de Presidente Olegário, a fim de se verificar a composição de sua ictiofauna, além de sua classificação ecológico-evolutiva (trogloxenos, troglófilos ou troglóbios). Para este fim, realizamos coletas epígeas, essenciais na verificação acurada da ocorrência estrita ou não nos ambientes subterrâneos de Presidente Olegário.

Métodos

Área de estudo

Presidente Olegário-MG localiza-se ao sul da bacia do Alto São Francisco, sub-bacia do rio Paracatu (Fig. 1). O município está inserido na região do Domínio dos cerrados (vegetação brasileira semelhante à savana africana) (*sensu* Ab' Saber, 1977), porém gradativamente a vegetação original vem sendo substituída pela agricultura e formação de pastagens, sendo que, somente nos afloramentos de calcário, topos de morros, fundo de vales e margens estreitas dos rios e córregos ainda se observa cobertura vegetal original, distribuída em pequenos fragmentos. De acordo com a classificação de Nimer' s (1989) o clima da região é tropical sub-quente e semi-úmido, com períodos secos de 4 a 5 meses por ano.

O carste na região é caracterizado pela presença de afloramentos contínuos de rocha calcária pertencente ao grupo Bambuí, o qual compreende uma estratigrafia horizontal de calcário pertencente ao Proterozóico superior. Diversos são os maciços calcários inexplorados e muitas são as cavidades já identificadas aguardando as explorações (53 até o momento). Do ponto de vista ictiológico, dois dos maciços destacam-se pela ocorrência de interessantes populações troglófilas na Gruta da Juruva e Caverna Antônio Osório, ambas localizadas próximas e no mesmo contínuo calcário, e a Lapa Vereda da Palha localizada em outro maciço calcário. (informações disponibilizadas pelo Grupo Pierre Martin de Espeleologia/GPME, anos de 2009 e 2011).

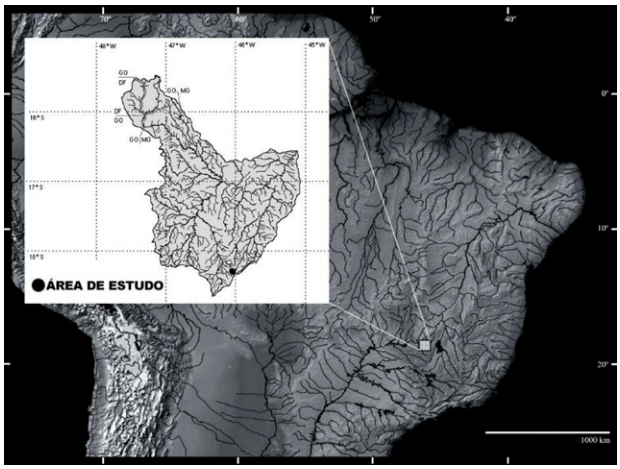


Figura 1. Área de estudo ao sul da bacia do Alto São Francisco, sub-bacia do rio Paracatu em Presidente Olegário-MG.

Localidades epígeas

As localidades epígeas foram inventariadas em fevereiro de 2009. No total, dois córregos foram estudados, descritos a seguir:

Córrego do Angico (18°15'21,3"S e 46°07'50,5"W). Afluente do Rio da Prata, sub-bacia do Rio Paracatu, bacia do alto Rio São Francisco, Presidente Olegário, MG. Surge no meio epígeo na cabeceira do Angico e em poucos metros alcança o afloramento calcário num sumidouro com diversos blocos desmoronados, continuando parte do percurso no meio subterrâneo, durante este trajeto recebe água de outro córrego epígeo, o qual passa pela entrada inferior da Lapa Vereda da Palha, sendo este ultimo cór-

rego um afluente que também recebe água de origem epicárstica (água de infiltração na rocha que forma bolsões superiores na caverna) dentro da própria caverna. Ambos abastecem o córrego do Angico no percurso subterrâneo. A ressurgência do córrego do Angico no meio epígeo se encontra logo atrás do maciço calcário com um volume de água superior em relação aos sumidouros iniciais, porém percorre em paralelo todo o afloramento num trajeto sinuoso e rodeado pela mata ciliar, aparentemente bem preservado. A largura varia de 2 a 4 metros, com profundidades alternando entre 0,1 e 0,6 m, porém em épocas de chuva pode chegar a 2,5 m de profundidade. Suas águas são cristalinas e possui diversos pontos de remanso e correnteza com pequenas corredeiras.

Córrego do Barreiro (18º19›19,48»S e 46º04›58,4»W). Afluente do Rio da Prata, sub-bacia do Rio Paracatu, bacia do alto Rio São Francisco, Presidente Olegário, MG. Percorre em paralelo o maciço calcário e nenhuma parte de seu trajeto é percorrida no meio subterrâneo, no entanto recebe água de um afluente sem nome, cuja nascente ressurge no meio epígeo próximo à Gruta da Juruva, sumindo em uma segunda entrada inferior desta caverna e percorrendo condutos estreitos em seu interior. Sua ressurgência no meio epígeo se encontra logo atrás deste maciço calcário com um volume de água superior em relação ao sumidouro inicial, o qual após uma queda d'água de 8 m, ressurge desaguando no córrego do Barreiro. Durante seu trajeto, este é margeado pela mata ciliar relativamente bem preservada. Entre os dois maciços o córrego do Barreiro recebe água de mais um afluente subterrâneo totalmente submerso (18º19›03,0»S e 46º05›27,7»W), explorado somente com técnica de mergulho em caverna. À semelhança do córrego do Angico, a largura varia de 2 a 5 m, com profundidades variando de 0,1 e 0,6 m, chegando a mais de 2,5 m de profundidade na época chuvosa. Suas águas são cristalinas e possui diversos pontos de remanso e correnteza com pequenas corredeiras.

Localidades subterrâneas

Três cavidades foram inventariadas quanto à ictiofauna, descritas a seguir (dados gentilmente disponibilizados pelo Grupo Pierre Martin de Espleologia-GPME):

Gruta da Juruva (18º19'19.2"S e 46º04'52.9"W/CNC SBE: MG 1807). Com 1.156 m de passagens conhecidas e ainda apresentada potencial para a descoberta de novos condutos, galerias e salões nos níveis superiores, atualmente quatro entradas são conhecidas, duas inferiores e duas superiores. O riacho subterrâneo de origem epígea percorre toda a rocha no nível de base inferior da cavidade até sua porção final, numa cachoeira com 8 m de altura, logo em seguida retornando ao meio epígeo como um afluente do córrego do Barreiro (descrito acima). Foram encontrados peixes tanto em locais de corredeiras com profundidades variando de 0,03 a 0,1m, média de 1,5 m de largura, intercalados com cascalhos, matacões e sedimento arenoso como em bolsões de remanso com 1,3 m de profundidade, variando entre 4 a 6 m de largura e repletos de matéria orgânica vegetal em decomposição acumulada no fundo.

Caverna Antônio Osório (18º19'06.8"S e 46º05'09.4"W). Parcialmente explorada e com topografia iniciada é composta por um riacho no nível de base o qual tem sua origem no meio epígeo, um pequeno córrego sazonal localizado no fundo do vale e próximo desta caverna, o qual percorre um tortuoso caminho até o sumidouro. Os peixes foram avistados e capturados tanto em locais de remanso com profundidades variando de 0,03 a 0,1 m e sedimento arenoso na porção final próximo a ressurgência, como em locais de correnteza com cascalho e matacões. Próximo à ressurgência nota-se a presença de algumas raízes de plantas na superfície, as quais alcançam a água.

Lapa Vereda da Palha (18º15'18,77"S e 46º07'33,63"W/CNC SBE: MG 1710). Cavidade com mais de 1.130 m de passagens mapeadas e com possibilidades de novos condutos e até uma provável conexão com a ressurgência do Angico (18º19'19,48"S e 46º04'58,40"W). Após alguns metros no meio epígeo, o pequeno córrego sem nome inicia seu percurso no meio subterrâneo em nível de base da rocha, passando por pequenas quedas d' água até encontrar o sifão final. Além deste sistema aquífero, durante seu trajeto no meio subterrâneo, o córrego sem nome dentro da Lapa recebe água de um tributário vadoso, após passar por diversas represas de travertino localizadas em um conduto superior e abastecidas por água de infiltração no epicárste, o qual somente fica ativo em épocas de chuva.

Coletas

Tanto no meio epígeo quanto no hipógeo foram realizadas coletas com auxílio de redes de mão do tipo puçá, tanto no período da tarde como no crepúsculo. Para a fixação dos espécimes, estes eram colocados em recipiente com água limpa do local de origem e anestesiados contendo superdosagem de benzocaina. Após essa etapa eram fixados em formalina 4% e posteriormente transferidos para álcool 70%, sendo organizados e divididos por espécie/localidade. Dois pequenos exemplares de Trichomycteridae coletados no meio hipógeo foram transportados vivos para acompanharmos o crescimento e verificar se pertencem ou não à espécie *Trichomycterus brasiliensis*, pois o padrão de colorido e manchas era distinto dos exemplares maiores. Os espécimes foram identificados até o menor nível taxonômico e depositados em coleções ictiológicas da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS).

As distribuições e densidades populacionais foram feitas com base em observações *ad libitum*.

Resultados

Ictiofauna epígea

Nos ambientes aquáticos superficiais foram coletados 49 indivíduos distribuídos em 12 espécies e oito famílias, pertencentes a três ordens com ampla distribuição em águas da região Neotropical (Characiformes - sete espécies; Siluriformes – quatro espécies e Cyprinodontiformes - representado por uma única espécie). Dentre os Chara-

ciformes, a família que mais contribuiu para a composição da ictiofauna foi Characidae, com quatro espécies (Tabela 1). Entretanto, nota-se uma distribuição restrita para alguns Characiformes nas duas localidades: os Parodontidae *Apareiodon ibitiensis* e *A. hasemani* ocorrem apenas no córrego do Barreiro, com distribuição mais restrita; os Characidae *Astyanax* sp[3] e *Creagrutus* sp. são espécies exclusivas para o córrego do Barreiro. Para os Siluriformes e Cyprinodontiformes a discrepância é ainda maior, sendo coletadas espécies apenas no córrego do Angico. No geral, para o córrego do Angico foram registradas nove espécies e para o córrego do Barreiro, apenas cinco espécies, sendo que as duas localidades compratilham poucos elementos da ictiofauna de Presidente Olegário. Dentre as espécies registradas, cabe um destaque para *Corydoras difluviatilis*, sendo mais raro seu registro do que as demais espécies.

O Loricariidae *Parotocinclus* sp. foi a única espécie registrada tanto no meio epígeo (córrrego do Angico) quanto subterrâneo (cofigurando-se como troglófilo- vide detalhes no item Ictiofauna subterrânea).

Tabela 1. Lista das espécies de peixes coletados nos córregos (meio epígeo) na área cárstica da sub-bacia do Paracatu, Presidente Olegário-MG. * Espécie troglófila encontrada no meio subterrâneo (hipógeo). 1- córrego do Angico, 2- córrego do Barreiro, 3- Gruta da Juruva, 4- Lapa Vereda da Palha e 5-Caverna Antônio Osório

Táxon	Localidades				
	Epígeo		Hipógeo		
	1	2	3	4	5
Ordem Characiformes					
Família CHARACIDAE					
Astyanax sp.1	X	X			
Astyanax sp.2	X				
Astyanax sp.3		X			
Creagrutus sp.		X			
Família CRENUCHIDAE					
Characidium cf. zebra Eigenmann, 1909	X	X			
Família PARODONTIDAE					
Apareiodon ibitiensis Campos, 1944		X			
Apareiodon hasemani Eigenmann, 1919		X			
Ordem Siluriformes					
Família CALLICHTHYIDAE					
Corydoras difluviatilis Brito & Castro, 2002	X				
Família LORICARIIDAE					
Parotocinclus sp.n.*	X		X	X	X
Família HEPTAPTERIDAE					
Rhamdia quelen (Quoy & Gaimard, 1824)	X				
Família TRICHOMYCTERIDAE					
Trichomycterus brasiliensis * (Reinhardt, 1873)			X	X	X
Ordem Cyprinodontiformes					
Família POECILIIDAE					
Phallocerus sp.	X				

Ictiofauna subterrânea

Duas espécies foram regularmente encontradas nas três expedições coabitando o meio subterrâneo em duas diferentes cavidades, Lapa Vereda da Palha e Gruta da Juruva, e apenas uma vez na Caverna Antônio Osório devido ao período de seca e seu particular sistema hídrico. São estes o bagre *Trichomycterus brasiliensis* Lütken, 1874, encontrado restrito aos aquíferos subterrâneos nos riachos de nível de base, tanto em sessões com substrato de areia bem particulada como em meio aos cascalhos e matacões, independente se ambos substratos se encontravam em seções com áreas de remanso com profundidade maior ou em áreas de forte correnteza e raso. Porém nota-se que indivíduos maiores (95,5 mm de comprimento padrão, n = 4) possuem preferência por poções mais profundos e com grande quantidade de sedimento arenoso, onde se acumula muita matéria orgânica em decomposição, enquanto que filhotes e jovens (33,5 mm de comprimento padrão, n = 10) são mais frequentemente avistados em áreas de correnteza e com menor profundidade (0,01-0,09m), independente do tipo de substrato. Apenas na Lapa Vereda da Palha esta espécie foi encontrada tanto no riacho de nível de base como em um tributário vadoso superior com água de origem epicárstica, dentro das represas de travertino. Para um censo visual na Gruta da Juruva, em 50 m de riacho com distância média entre as margens de 70 cm, foram contados seis indivíduos, sendo a densidade populacional estimada em 5,8 ind./m². Comparando-se com as outras duas localidades subterrâneas, esta é mais densamente ocupada e com indivíduos de maior porte (<115,6

mm de comprimento padrão).

Os espécimes de *T. brasiliensis* foram coletados nas três localidades subterrâneas, dois indivíduos na Lapa Vereda da Palha (41,9 mm comprimento padrão), 12 indivíduos na Gruta da Juruva (61,1 mm comprimento padrão) e 2 indivíduos na Caverna Antônio Osório (33,8 mm comprimento padrão). O espécime coletado de menor tamanho possui 20,3 mm de comprimento corpóreo (Caverna Antônio Osório) e o maior possui 115,6 mm de comprimento corpóreo (Gruta da Juruva). Os filhotes e jovens apresentam um padrão de manchas, pintas e coloração distintas dos adultos, com duas linhas escuras nas laterais, uma mediada e outra inferior próxima a região ventral, juntamente com manchas e pintas espalhadas por todo o corpo e coloração bege claro (Fig. 2). Já os adultos não apresentam nenhuma coloração do tipo linhas nas laterais, apenas manchas e pintas espalhadas pelo corpo, juntamente com uma coloração marrom escura. Tal fase de mudança se inicia quando os indivíduos possuem entre 47-49 mm de comprimento corpóreo.

Figura 2. Indivíduo jovem de *Trichomycterus brasiliensis* (47,0 mm de comprimento corpóreo), apresentando manchas e coloração distintas daquelas registradas nos adultos. Caverna Antônio Osório, município de Presidente Olegário-MG.

Para os cascudos *Parotocinclus* sp., as populações das três cavernas (Caverna Antônio Osório, Gruta da Juruva e Lapa Vereda da Palha), ocorrem somente em riachos de nível de base, são observados tanto em meio aos cascalhos e matacões quanto em trechos com sedimento arenoso, sendo mais frequentemente encontrados em locais de correnteza moderada e elevada. Na Gruta da Juruva e Lapa Vereda da Palha a população é frequentemente encontrada, diferente do que ocorre na Caverna Antônio Osório, fato possivelmente relacionado aos períodos de seca na região, visto que o riacho que abastece essa cavidade é sazonal, deixando apenas poças d' água temporária. Foram coletados espécimes de *Parotocinclus* sp. nas três localidades subterrâneas, 10 indivíduos na Lapa Vereda da Palha (41,0 mm comprimento padrão), 7 indivíduos na Gruta da Juruva (54,9 mm CP) e 1 indivíduo na Caverna Antônio Osório (32,0 mm CP). O espécime coletado de menor tamanho possui 22,2 mm de comprimento corpóreo (Lapa Vereda da Palha) e o maior possui 76,2 mm de comprimento corpóreo (Gruta da Juruva).

Os cascudinhos *Parotocinclus* sp. possivelmente encontram-se no inicio do processo de diferenciação, devido ao aparente isolamento e variabilidade intrapopulacional observada na pigmentação melânica cutânea, principalmente para a população da caverna Lapa Vereda da Palha. Neste caso, são observados indivíduos com manchas de coloração escura por toda a região dorsal, como também indivíduos com praticamente quase sem pigmentação, apenas manchas em tons de cinza claro na região dorsal, característica esta observada tanto para indivíduos jovens como adultos. Porém para as duas demais localidades subterrâneas (Gruta da Juruva, Caverna Antônio Osório) e para a localidade epígea (córrego do Angico) tal diferenciação cutânea não ocorre neste grau acentuado, apenas uma sutil diferença entre tons de preto e cinza escuro.

Além de *T. brasiliensis* e *Parotocinclus* sp. foi capturado um exemplar de bagre *Rhamdia quelen* no sifão da Lapa Vereda da Palha, este ultimo impedido de subir em sentido contrário ao riacho subterrâneo por conta de uma cachoeira com 50 cm de altura, porém em épocas de chuva e com maior volume de água nos condutos, tais barreiras desaparecem e posteriormente voltam a isolar alguns espécimes nas porções mais superiores, fato este observado nos primeiros metros do córrego do Angico no meio subterrâneo. Lambaris do gênero *Astyanax* também foram observados desorientados na escuridão, entre a ressurgência e a cachoeira com 8 m de altura na Gruta da Juruva, pois como o riacho subterrâneo é afluente do córrego do Barreiro, estes conseguem se aventurar na zona afótica apenas até a base do obstáculo.

Discussão

Ictiofauna epígea

Todas as espécies nominais aqui registradas e listadas (Tabela 1) para Presidente Olegário são reportadas anteriormente para a bacia do São Francisco (Britiski *et al.*, 1984; Vari e Harold, 2001; Barbosa e Soares, 2009; Alves e Pompeu, 2010). As diferenças entre a ocorrência ou não de quatro espécies de Characiformes nos dois córregos são provavelmente resultado de um baixo esforço de coleta. O mesmo para os Siluriformes, os quais foram coletados apenas no córrego do Angico. Um esforço de coleta maior poderá revelar a mesma riqueza de espécies ou mais em ambos os córregos.

Com relação ao gênero *Parotocinclus*, apenas uma éspecie é descrita formalmente para a bacia do rio São Francisco: *Parotocinclus prata* Ribeiro, Melo & Pereira, 2002, citada em Barbosa e Soares (2009) e uma segunda espécie não descrita formalmente citada em Alves e Pompeu, 2010. Provável que os exemplares coletados no presente trabalho sejam uma nova espécie (RE Reis, com. pess.), ou a mesma citada por Alves e Pompeu, 2010 ainda sem descrição.

Ictiofauna subterrânea

Com base nas observações sobre a abundância dos cascudinhos *Parotocinclus* nos sistemas subterrâneos de Presidente Olegário, sugere-se a ocorrência de populações troglófilas tanto na Lapa Vereda da Palha quanto na Gruta da Juruva (Tabela 2). Em geral, o regime seletivo em ambientes subterrâneos converge para o surgimento da despigmentação o qual deve estar em fase inicial nos *Parotocinclus* da Lapa Vereda da Palha.

Por outro lado, em termos de barreira física os *Parotocinclus* da Gruta da Juruva se encontram mais desconectados das populações epígeas do que a população da Lapa Vereda da Palha, pois mesmo que ocorra a maior

Tabela 2. Lista atualizada das espécies de peixes troglófilos no Brasil, com cavidades subterrâneas (nome da cavidade ou diversas cavidades para a área cárstica), localidades (área cárstica ou município, Estado), bacias hidrográficas e tipos de hábitat (Trajano, 2001). Baseado em Mattox *et al.* (2008) com novos registros em asterisco *, números 1 e 2 correlacionando à cavidade subterrânea com o tipo de habitat.

Táxon	Cavidade Subterrânea	Localidade	Drenagem, Bacia	Habitat
CHARACIFORMES				
Erythrinidae				
Erythrinus sp.	Diversas Cavidades	Altamira-Itaituba, PA	Alto Xingu, Amazônica	Riacho (nível de base)
Hoplerythrinus unitaeniatus (Agassiz, 1829)	Diversas Cavidades	São Domingos, GO	Alto Tocantins, Amazônica	Riacho (nível de base)
Hoplias cf. malabaricus (Bloch, 1794)	Gruna do Enfurnado	Serra do Ramalho, BA	Alto São Francisco	Riacho (nível de base)
GYMNOTIFORMES				
Gymnotidae				
Gymnotus cf. carapo Linnaeus, 1758	Gruta da Morena	Cordisburgo, MG	Alto São Francisco	Riacho (nível de base)
SILURIFORMES				
Loricariidae				
Isbrueckerichthys alipionis (Gosline, 1947)	Caverna de Santana	Alto Rio Ribeira, SP	Alto Ribeira	Tributário vadoso
Hypostomus sp.	Lapa do São Bernardo	São Domingos, GO	Alto Tocantins, Amazônica	Tributário vadoso
Parotocinclus sp. *	Caverna Antônio Osório, Lapa Vereda da Palha e Gruta da Juruva	Presidente Olegário, MG	Baixo São Francisco	Riacho (nível de base)
Trichomycteridae				
Trichomycterus sp.	Cavernas Nova Esperança e Penhasco	Mambaí, GO	Alto Tocantins, Amazônica	Riacho (nível de base)
Trichomycterus brasiliensis Lütken, 1874	Gruta da Morena	Cordisburgo, MG	Alto São Francisco	Tributário vadoso
	Gruta da Juruva* 1 Caverna Antônio Osório* 1 e Lapa Vereda da Palha* 1,2	Presidente Olegário, MG*	Alto São Francisco	Tributário vadoso 2 e riacho (nível de base) 1
Trichomycterus aff. mimonha Costa, 1992	Lapa do Zu	Montes Claros, MG	Alto São Francisco	Riacho (nível de base)
Ituglanis sp. * (Rizzato e Bichuette)	Cavernas Russão II e III e Anésio III	Posse, GO	Alto Tocantins, Amazônica	Riacho (nível de base)
Heptapteridae				
Imparfinis hollandi Haseman, 1911	Lapa do Angélica	São Domingos, GO	Alto Tocantins, Amazônica	Riacho (nível de base)
Pimelodella cf. vittata (Lütken, 1874)	Gruta da Morena	Cordisburgo, MG	Alto São Francisco	Riacho (nível de base)
Pimelodella transitória Miranda Ribeiro, 1907	Diversas Cavidades	Alto Rio Ribeira, SP	Alto Ribeira de Iguape	Riacho (nível de base)
Rhamdia sp.	Caverna Zé Avelino	Varzelândia, MG	Alto São Francisco	Riacho (nível de base)

enchente, a cachoeira com 8 m de altura ainda não ficaria totalmente submersa, somado ao forte volume de água, representaria um obstáculo significativo para dispersão dos peixes à montante. Diferentemente do observado para a Lapa Vereda da Palha, a qual possui obstáculos menores e fáceis de transpor.

De acordo com o estudado em diferentes espécies de organismos troglóbios não há uma regra entre qual regressão de caráter inicia-se primeiro - ocular ou pigmentação cutânea - mesmo porque ambos caracteres podem modificar-se independentemente ou simultaneamente, considerando-se o tempo (Durand, 1976; Berti *et al.*, 2001; McCauley *et al.*, 2004; Jeffery e Strickler, 2010). Tal evento já foi registrado nos cascudos *Ancistrus cryptophthalmus* (Lapa do Bezerra, São Domingos, Goiás) e *Rhamdia* sp. n. (Gruta das Fadas, Bodoquena, Mato Grosso do Sul) com pigmentação cutânea escura e redução ou até ausência de olhos visíveis externamente (Reis *et al.*, 2006; Borghezan *et al.*, 2009), o inverso também ocorre como em *Pimelodella spelaea* (Lapa do São Bernardo, São Domingos, Goiás) com pouca despigmentação cutânea e olhos bem definidos (Trajano *et al.*, 2004). Entretanto, para cada população pode haver exceções para um ou outro indivíduo.

Quanto à população de *Parotocinclus* da Caverna Antônio Osório, esta é aparentemente sazonal e somente em parte do ano os cascudinhos são encontrados, pois em períodos de estiagem a caverna fica praticamente seca e sem riacho ativo, sendo encontradas apenas pequenas poças d' água. Este fato deve ser verificado em estudos futuros.

Para *T. brasiliensis* a situação é similar ao observado para os cascudos, ou seja, há registro de populações bem estabelecidas, compostas por numerosos indivíduos e frequentemente observados nas diferentes visitas em períodos distintos, com exceção para a população da Caverna Antonio Osório, que devido à sazonalidade do aquífero mencionado acima, sofre abrupta oscilação. Ambas espécies (*T. brasiliensis* e *Parotocinclus* sp.) foram encontradas nas mesmas três localidades subterrâneas, coabitando o

mesmo tipo de habitat (riacho no nível de base), porém além deste tipo de habitat, *T. brasiliensis* também foi encontrado em um tributário vadoso na Lapa Vereda da Palha, não sintópico a *Parotocinclus* sp.. Propomos aqui que tanto na Lapa Vereda da Palha como na Gruta da Juruva ocorrem populações troglófilas de *T. brasiliensis*, com populações bem estabelecidas, pois nestas duas localidades o riacho no nível de base é perene. O mesmo foi observado na Gruta da Morena em Cordisburgo (MG), com populações caracteristicamente troglófilas em um tributário vadoso de maiores proporções (Trajano *et al.*, 2009). Nota-se que os exemplares da Lapa Vereda da Palha são encontrados tanto no riacho de nível de base, quanto no tributário vadoso (represas de travertino) com registro de poucos indivíduos, todos de tamanhos menores comparado-se com aqueles registrados na Gruta da Juruva. Ainda, ampliamos a distribuição de *T. brasiliensis* para uma nova área cárstica brasileira, a região de Presidente Olegário.

Conclusões

Algumas conclusões são consideradas no presente trabalho:

Parotocinclus sp. possui populações bem estabelecidas na Gruta da Juruva e Lapa Vereda da Palha, sendo avistados tanto indivíduos adultos como filhotes oriundos de recente reprodução, configurando-se como troglófilo e espécie nova;

O mesmo foi obervado para *T. brasiliensis* na Gruta da Juruva, porém na Lapa Vereda da Palha são mais raros de se encontrar, e os indivíduos avistados são apenas filhotes e jovens, configurando-se como espécie troglófila;

Sugere-se que levantamentos da fauna epígea sejam efetuados com a mesma acurácia dos inventários subterrâneos, considerando-se espaço e tempo, já que a categorização da fauna cavernícola muitas vezes é impossibilitada pela ausência de comparação com a fauna epígea, com resultados especulativos;

Em relação à conservação, a área cárstica de Presidente Olegário vem sofrendo pressões antrópicas de desmatamento para extração de madeira e posterior pastagem para agropecuária. Atualmente sua principal ameaça consiste na futura extração de calcário e projeto de construção de pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), futuramente inundando diversas cavernas e consequentemente colocando em risco as populações cavernícolas ainda muito pouco estudadas.

Agradecimentos

Agradecemos os Drs. Roberto Esser dos Reis (Laboratório de Ictiologia da PUC-RS) e Mônica de Toledo Piza Ragazzo (Laboratório de Ictiologia – IB/USP) ambos pela identificação dos peixes, ao Grupo Pierre Martim de Espeleologia (GPME) pela logística das expedições, em especial a Ericson Cernawsky Igual e Magna da Silva Pontes pelo auxílio nas coletas. Também agradecemos a Wesley Silva de Morais da Secretaria de Cultura, Turismo e Artesanato de Presidente Olegário-MG (COMTUR) pela organização e base de apoio no município. Permissão de coleta concedida pelo IBAMA (licença SISBIO/IBAMA nº 20165-1).

Referências

Ab'Saber NA. 1977. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. Primeira aproximação. Geomorfologia 52:1-22.

Alves CBM, Pompeu OS. 2010. Peixes do Rio das Velhas: Passado e presente. 2º ed., Belo Horizonte-MG, Argvmentvm.

Barbosa JM, Soares EC. 2009. Perfil da Ictiofauna da Bacia do São Francisco: Estudo Preliminar. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca 4(1):155-172.

Berti R, Durand JP, Becchi S, Brizzi, R, Keller N, Ruffat G. 2001. Eye degeneration in the blind cave-dwelling fish *Phreatichys andruzzi*. Canadian Journal of Zoology 79:1278-1285.

Bichuette ME, Trajano E. 2003. Epigean and subterranean ichthyofauna from São Domingos karst area, Upper Tocantins river basin, Central Brazil, Journal Fish Biology 63(5):1100-1121.

Bichuette, ME, Trajano E. 2008. *Ituglanis mambai*, a new subterranean catfish from a karst area of Central Brazil, rio Tocantins basin (Siluriformes: Trichomycteridae) Neotropical Ichthyology 6(1):9-15.

Borghezan R, Cordeiros LM, Andrade LP. 2009. Densidade populacional e variações morfológicas de *Rhamdia* sp. na Gruta das Fadas, Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul (Siluriformes: Heptapteridae). In: Carste 2009, III Encontro Brasileiro de Estudos do Carste, UFSCar, São Carlos-SP, Livro de Resumos p14-24.

Britski HA, Sato Y, Rosa ABS. 1984. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias. Brasília, CODEVASF.

Durand JP. 1976. Ocular development and involution in the European cave salamander, *Proteus anguinus* Laurenti. Biological Bulletin of the Marine Biological Laboratory, Woods Hole 151:450-466.

GPME, Grupo Pierre Martin de Espeleologia. Boletim Eletrônico, Teto Baixo - Ano I, Número 1, 28/10/2009. Disponível na internet em: *<http://www.gpme.org.br/periodicos/20-teto-baixo>*. Acesso em 18 de março de 2013.

GPME, Grupo Pierre Martin de Espeleologia. Boletim Eletrônico, Teto Baixo - Ano II, Número 2, 06/05/2011. Disponível na internet em: *<http://www.gpme.org.br/periodicos/20-teto-baixo>*. Acesso em 18 de março de 2013.

Jeffery WR, Strickler AG. 2010. Development as an Evolutionary Process in *Astyanax* Cavefish. In: Trajano E, Bichuette ME, Kapoor BG, Editors. Biology of Subterranean Fishes. Science Publ, Enfield p141-168.

Lütken CF. 2010. Velhas-Flondens Fisks. Over Dansk. Vid. Forh. Kjobenhav, v.12:122-252. Synop. 1875. In: Peixes do Rio das Velhas: passado e presente. Alves CBM, Pompeu PS, editores.

McCauley DW, Hixon E, Jeffery WR. 2004. Evolution of pigment cell regression in the cavefish *Astyanax*: A late step in melanogenesis. Evolution and Development 6:209-218.

Mattox GMT, Bichuette ME, Secutti S, Trajano E. 2008. Surface and subterranean ichthyofauna in the Serra do Ramalho karst area, northeastern Brazil, with updated list of Brazilian troglobitic and troglophilic fishes. Biota Neotropica 8(4):145-152.

Nimer E. 1989. Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro-RJ.

Reis RE, Trajano E, Hingst-Zaher E. 2006. Shape variation in surface and cave populations of the armoured catfishes *Ancistrus* (Siluriformes: Loricariidae) from the Sao Domingos karst area, upper Tocantins River, Brazil. Journal of Fish Biology 68:414–429.

Sato Y, Godinho HP. 1999. Peixes da bacia do São Francisco. In: McConnell, R.H. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. São Paulo-SP, ed. USP p401-413.

Secutti S, Reis ER, Trajano E. 2011. Differentiating cave *Aspidoras* catfish from a karst area of Central Brazil, upper rio Tocantins basin (Siluriformes: Callichthyidae). Neotropical Ichthyology 9(4):689-695.

Trajano E, Reis RE, Bichuette ME. 2004. *Pimelodella spelaea*: A New Cave Catfish from Central Brazil, with Data on Ecology and Evolutionary Considerations (Siluriformes: Heptapteridae). Copeia 2:315–325.

Trajano E, Bichuette ME. 2006. Biologia Subterrânea - Introdução. 1º ed. São Paulo-SP, Redespeleo Brasil, v.1.

Trajano E, Secutti S, Mattox GMT. 2009. Epigean and subterranean ichthyofauna in Cordisburgo karst area, eastern Brazil. Biota Neotropica 9(3):277-281.

Trajano E, Bichuette ME. 2010. Subterranean of Fishes the Brazil. In: Trajano E, Bichuette ME, Kapoor BG, editors. Biology of Subterranean Fishes. Science Publ. Enfield p333-355.

Travassos H. 1960. Catálogo dois peixes do vale do rio São Francisco. Boletim da Sociedade Cearense de Agronomia 1:1-66.

Vari RP, Harold AS. 2001. Phylogenetic Study of the Neotropical Fish Genera *Creagrutus* Günther and *Piabina* Reinhardt (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes), with a Revision of the Cis-Andean Species. Smithsonian contributions to zoology 613, p239.

Revista da Biologia (2013) 10(2): 21–27
DOI: 10.7594/revbio.10.02.04

Artigo

Distribuição, riqueza e conservação dos peixes troglóbios da Serra da Bodoquena, MS (Teleostei: Siluriformes)

Distribution, richness and conservation of troglobitic fishes from Serra da Bodoquena, MS (Teleostei)

Lívia Medeiros Cordeiro[1]*, Rodrigo Borghezan[1], Eleonora Trajano[1]
[1]Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

*Contato do autor: liviamc@hotmail.com

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Resumo. Na área cárstica da Serra da Bodoquena ocorrem cavernas inundadas e submersas, além de cavernas secas, que abrigam uma fauna troglóbia importante. Cinco espécies de siluriformes troglóbios são atualmente conhecidas nesta região: *Ancistrus formoso* (Loricariidae), *Trichomycterus dali* (Trichomycteridae) e três espécies ainda não descritas, *Ancistrus* sp. (Loricariidae), *Rhamdia* sp. (Heptapteridae) e *Trichomycterus cf. dali*. Considerando que a compreensão dos padrões ecológicos, biológicos e biogeográficos é necessária para a elaboração de ações eficazes para a preservação dos ecossitemas subterrâneos, são apresentados os resultados parciais do estudo de populações das três espécies não descritas. A ampliação das áreas de preservação a fim de abrangerem todas as áreas de ocorrência dos peixes troglóbios na Serra da Bodoquena é sugerida.
Palavras-chave. *Ictiofauna; Água subterrânea; Monitoramento; Populações; Conservação.*

Abstract. In Bodoquena karst area occur large submerged and flooded cave systems, as well as dry caves, which harbor an important troglobitc fauna. Five troglobitic species of Siluriformes are currently known: *Ancistrus formoso* (Loricariidae), *Trichomycterus dali* (Trichomycteridae), and three undescribed species, *Ancistrus* sp. n. (Loricariidae), *Rhamdia* sp.n. (Heptapteridae) and *Trichomycterus cf. dali*. Due the need of understanding the ecological, biological and biogeographic processes for the development of effective actions on conserve the subterranean ecosystems, partial results of population studies of the three undescribed species are presented. The expansion of conservation areas in order to cover all the occurrence areas of troglobitic fishes in Bodoquena Plateau is suggested.
Keywords. *Ichthyofauna; Underground water, Monitoring; Populations; Conservation.*

Introdução

Cavernas são componentes do meio subterrâneo e tratam-se de feições típicas de relevos cársticos, resultantes da dissolução das rochas carbonáticas. Os sistemas subterrâneos (ou hipógeos) compreendem conjuntos interconectados de cavidades, fendas e fraturas na rocha, preenchidos por água e/ou ar, podendo ocupar grandes volumes no interior de maciços rochosos (Palmer, 2007).

Os troglóbios são animais que habitam exclusivamente os ecossistemas subterrâneos, sendo, em geral, reconhecidos pela redução até ausência de olhos e de pigmentação melânica (troglomorfismos clássicos). Outras especializações que podem estar presentes nestes animais incluem: baixa densidade populacional, distribuição geográfica restrita, tendência à estratégia de vida do tipo K e baixa tolerância a estresse ambiental (Trajano, 2000). Essas características fazem dos troglóbios animais potencialmente em ameaça de extinção, pois tendem a ser sensíveis às alterações ambientais em seus hábitats e suas populações podem apresentar baixa capacidade de repor indivíduos (Trajano, *op. cit.*). Além disso, entre os táxons troglóbios podem ocorrer relictos biogeográficos importantes, cuja distribuição, em alguns casos, remete à evolução das placas continentais (Pires, 1987; Wilson, 2010). Um exemplo de relicto biogeográfico encontrado na Serra da Bodoquena é o pequeno crustáceo peracárido troglóbio *Potiicoara brasiliensis*, pertencente à Ordem Speleogriphacea, um grupo com apenas quatro espécies viventes, de distribuição gonduânica.

O Brasil abriga uma rica ictiofauna subterrânea, tanto em número de espécies e composição taxonômica, como em diversidade morfológica. A ordem Siluriformes, táxon que engloba os bagres e cascudos, é a dominante, com 23 das 25 espécies de peixes subterrâneos brasileiros (Mattox *et al.*, 2008; Trajano e Bichuette, 2010). Essas espécies estão distribuídas em diferentes regiões carbonáticas, localizadas em diferentes biomas e bacias hidrográ-

ficas. Entre as áreas já estudadas no país, a área cárstica de São Domingos é a que apresenta a maior riqueza da ictiofauna troglóbia registrada até o momento, com sete espécies reconhecidas (Trajano e Bichuette, *op. cit*.).

A área cárstica da Serra da Bodoquena, no Mato Grosso do Sul, é conhecida pela cidade de Bonito, um dos principais atrativos turísticos do Brasil (Lobo e Moretti, 2009). Entre as belezas cênicas da região, estão os rios de águas cristalinas e cavernas famosas como a gruta do Lago Azul e o Abismo Anhumas. A presença destas cavernas também atraiu exploradores, mergulhadores e pesquisadores desde a década de 1980 (Godoy, 1986; Trajano, 1987; Neto, 2010). Dados recentes mostram que entre os municípios de Bonito, Jardim e Bodoquena concentra-se o maior número de cavernas inundadas exploradas do Brasil (Neto, *op. cit.*).

Apesar de ser considerada uma região com baixa incidência de cavernas quando comparada com outras áreas carbonáticas do Brasil (Sallun Filho *et al.*, 2004), estudos publicados e em andamento revelam que a Serra da Bodoquena abriga uma fauna subterrânea rica em espécies de peixes e invertebrados troglóbios (Pinto da Rocha, 1995; Gnaspini *et al.*, 1994; Costa Jr, 2004; Cordeiro, 2008; Trajano e Bichuette, 2010). Até o momento, são conhecidas na região cinco espécies de peixes troglóbios, todos pertencentes à Ordem Siluriformes, dentre as quais duas são descritas, o cascudo anoftálmico (olhos externamente não visíveis) e despigmentado *Ancistrus formoso* Sabino e Trajano 1997, e o bagre *Trichomycterus dali* Rizzato *et al.* 2011, enquanto que as outras três espécies, caracterizadas por variação intra-populacional no grau de desenvolvimento dos olhos e pigmentação, encontram-se com o estudo taxonômico em andamento: *Ancistrus* sp. n. (Loricariidae), *Rhamdia* sp. n. (Heptapteridae) e *Trichomycterus* cf. *dali* (Trichomycteridae).

Os ecossistemas subterrâneos remetem a problemas especiais para a conservação devido à sua estabilidade ambiental característica, principalmente no que se refere às regiões mais distantes dos contatos com o meio externo, onde a ausência permanente de luz, a umidade relativa do ar e a temperatura são constantes (Bichuette e Trajano, 2010). Com a ausência de organismos fotossintentizantes, os recursos alóctones tornam-se essenciais para a sustentação da maioria das comunidades subterrâneas, como é o caso da matéria orgânica carreada pela água (Culver, 1986). Assim, espécies que ali habitam são fortemente influênciadas por distúrbios causados nos ambientes epígeos (Bichuette e Trajano, *op. cit.*).

A grande diversidade de espécies associadas aos aquíferos subterrâneos permite-nos considerar tais ambientes como ecossistemas funcionais e que, indiscutivelmente, estão relacionados à qualidade de vida humana, visto nossa necessidade de acesso à água de boa qualidade. Boulton *et al.* (2008) afirmam que para a manutenção do equilíbrio (ou resiliência) de alguns aquíferos, a fauna hipógea tem importância fundamental, pois atua na ciclagem de nutrientes, purificação e biorremediação da água através de suas relações tróficas. Os peixes subterrâneos geralmente ocupam o topo da cadeia alimentar nos hábitats hipógeos aquáticos onde ocorrem (Trajano e Gnaspini, 1991). Assim o monitoramento da ictiofauna troglóbia é uma excelente ferramenta para avaliar a qualidade e o funcionamento dos ecossistemas subterrâneos.

Apresentamos aqui uma síntese do conhecimento sobre a distribuição das espécies, habitat, densidade populacional e variação morfológica dos peixes troglóbios da Serra da Bodoquena. Apontaremos também as principais ameaças à ictiofauna subterrânea regional e os locais prioritários para implementação de políticas efetivas de conservação com base na distribuição dessas espécies.

Materiais e métodos

Localizada na borda sudoeste da Planície do Pantanal sul-matogrossense, a Serra da Bodoquena consiste em um planalto calcário com aproximadamente 200 km de extensão e até 800 m de altitude (Fig. 1). O clima da região é tropical úmido, com duração do período seco de 4 a 6 meses. A temperatura média da região varia entre 22 a 24°C e a média anual de precipitação é de 1400 mm (Sallun *et al.*, 2009). A vegetação é composta por Cerrado (savana brasileira), com formações que variam entre floresta estacional e floresta estacional decidual (Scremin-Dias *et al.*, 1999).

Entre 2008 e 2011, foram realizadas quatro expedições para inventariar a ictiofauna de cavernas da região. Os resultados obtidos durante este período foram somados aos dados encontrados na literatura. Foram contabilizados e analisados, também, espécimes depositados na coleção do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo.

Durante os meses de abril, julho e outubro de 2010, foi realizado o monitoramento através do censo visual de

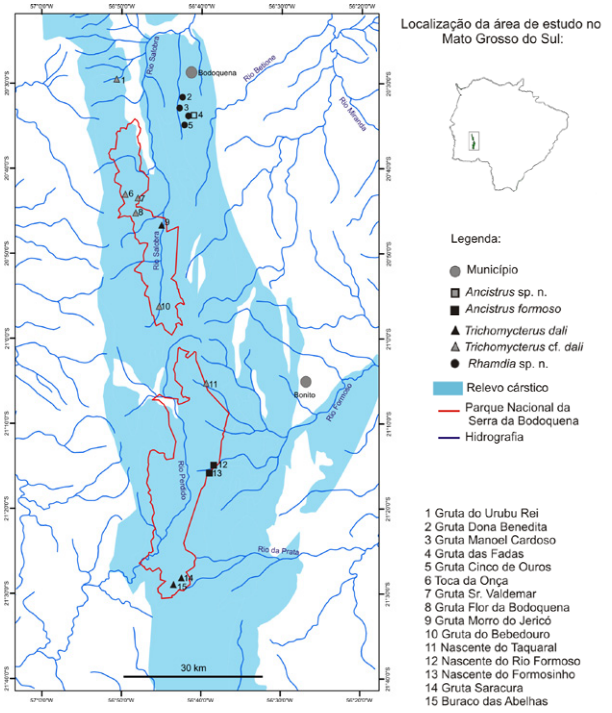


Figura 1. Área de estudo e a distribuição das localidades onde ocorrem as quatro espécies de peixes troglóbios.

três populações de peixes troglóbios em cavernas acessíveis sem necessidade de mergulho autônomo: gruta das Fadas (*Ancistrus* sp. n. e *Rhamdia* sp. n.) e gruta do Urubu Rei (*Trichomycterus* cf. *dali*). Durante cada evento de coleta, foi realizada a contagem de indivíduos observados através de mergulho-livre ao longo dos condutos de ambas as cavernas. Exemplares-testemunho foram coletados com redes de mão e covos, sacrificados com o uso de benzocaína diluída em alta concentração e fixados em formalina.

As coletas foram realizadas com a concessão de licença de pesquisa do ICMBio (processo n° 22892-1) e, após a conclusão dos estudos taxonômicos, o material será destinado à coleções públicas do MZUSP (Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo) e LIRPE (Laboratório de Ictiologia de Ribeirão Preto).

Resultados e Discussão

As localidades de ocorrência dos peixes troglóbios da Serra da Bodoquena estão distribuídas em uma área com aproximadamente 1500 km², ao longo do eixo norte-sul do planalto calcário (Fig. 1). Até o momento, espécimes da ictiofauna troglóbia foram encontrados em 15 cavidades, localizadas na bacia hidrográfica do Rio Miranda, em cabeceiras de três diferentes microbacias: Prata, Salobra e Formoso. No entanto, a riqueza total pode ser ainda maior, visto que cerca de 50 das cerca de 200 cavernas cadastradas da região, tiveram parte da sua fauna inventariada (Cordeiro, 2008).

Os peixes troglóbios do gênero *Trichomycterus* estão amplamente distribuídos na Serra da Bodoquena, onde foram registrados em nove cavernas localizadas entre as altitudes de 450 m a 550 m, abrangendo as microbacias dos Rios da Prata, Formoso e Salobra. *Trichomycterus dali* ocorre em três cavidades (grutas Buraco das Abelhas, Saracura e Morro do Jericó) (Rizzato *et al.*, 2011), enquanto que *T.* cf. *dali* foi registrado até o momento em outras seis cavidades.

Variações morfológicas foram observadas entre as populações de *T. dali* e *T.* cf. *dali*, principalmente quando comparados indivíduos da gruta do Urubu Rei com àqueles do Buraco das Abelhas, localidades extremas da distribuição da espécie (Fig. 1). Na caverna Buraco das Abelhas, os espécimes portam uma nadadeira adiposa dorsal saliente (Fig. 2A), enquanto que os exemplares da gruta Urubu Rei apresentam a nadadeira adiposa reduzida (Fig. 2B). Além disso, diferenças observadas no neurocrânio corroboram a hipótese de que *T. dali* e *T.* cf. *dali* são espécies distintas (PP Rizzato e ME Bichuette, com. pess.).

Os indivíduos foram observados desde os níveis mais rasos, explorando com os barbilhões a superfície da água (LM Cordeiro, obs. pess.), até regiões com mais de 40 m de profundidade, nadando calmamente em contato com a rocha (observações feitas por espeleo-mergulhadores).

Na gruta do Urubu Rei, o riacho subterrâneo extende-se por aproximadamente 400 m e exemplares de *T.* cf. *dali* foram observados por toda a extensão do riacho. Segundo censos visuais realizados em 2010, a densidade

Figura 2. A. *Trichomycterus dali* do Buraco das Abelhas. B e C. Variação na pigmentação de *T.* cf. *dali* da gruta do Urubu Rei. Fotos: (A) LM Cordeiro; (B e C) Paulo Robson de Souza.

de indivíduos nesta cavidade foi maior durante o mês de abril, final da estação chuvosa (0,6 indivíduos/m²) e menor ao longo da estação seca até o início das chuvas (julho e outubro de 2010), quando as densidades observadas foram de 0,2 e 0,1 indivíduos/m², respectivamente. Além disso, as densidades populacionais variaram de acordo com a distância da entrada, com a maior densidade de indivíduos nos primeiros 70 m da gruta. Esta variação foi registrada em todos os meses amostrados, com a maior concentração de indivíduos na entrada da caverna no mês de abril (Fig. 3).

Ainda com relação à população de *Trichomycterus* cf. *dali* da gruta Urubu Rei, cerca de 90% dos indivíduos observados na zona de entrada - local em contato direto com a luz do sol, apresentaram pigmentação melânica intensa, enquanto que na região afótica, os indivíduos despigmentados foram dominantes na mesma proporção (Fig. 2B e C). Esta plasticidade na produção de melanina merece ser investigada mais detalhadamente em estudos futuros, pois, apesar de serem animais estritamente subterrâneos, ainda possuem a capacidade de sintetizar melanina durante a exposição à luz solar. Em todas as populações de *T.* cf. *dali*, a condição anoftálmica foi constante, não sendo observada a presença de olhos de tamanho normais ou pequenos em nenhum espécime analisado das cavernas da Serra da Bodoquena.

No sistema subterrâneo da gruta das Fadas, região

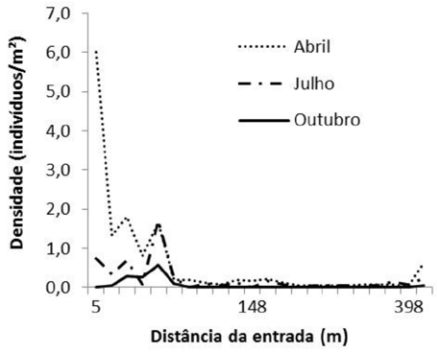


Figura 3. Densidades de *Trichomycterus* cf. *dali* na gruta do Urubu Rei em três visitas no ano de 2010 (abril, junho e outubro).

drenada pela microbacia do Rio Salobra, as populações de *Rhamdia* sp. n. e de *Ancistrus* sp. n. são sintópicas e encontradas em galerias inferiores desta caverna, no riacho permanente do nível de base. Somente *Rhamdia* sp. n. foi encontrada em outras três cavidades (grutas Manoel Cardoso, Dona Benedita e Cinco de Ouros), onde exemplares foram coletados em lagos abastecidos pelo horizonte superior da zona freática. Essas cavernas estão localizadas na área do Assentamento Campina e os registros atuais mostram que estas populações estão distribuídas em uma área restrita, com aproximadamente 25 km².

Na gruta das Fadas, a densidade populacional média obtida de *Rhamdia* sp. n. foi de 0,08 ind/m², com densidade maior nos meses de seca e menor nos meses de chuva. Com relação à população de *Ancistrus* sp. n., a densidade populacional média obtida foi de 0,015 ind/m² e foi constante ao longo do ano. Este valor é considerado baixo quando comparado com aqueles de *Ancistrus cryptophatalmus,* encontrado na caverna Passa Três (0,02 a 0,6 ind/m²) e no sistema Angélica-Bezerra (1,0 ind/m²), ambos em Goiás e obtidos através do mesmo método (Trajano 2001, Trajano e Souza, 1994).

As variações morfológicas mais frequentemente observadas nas populações da gruta das Fadas foram o tamanho dos olhos e a pigmentação cutânea. Entre os indivíduos capturados de *Rhamdia* sp. n., 64% não apresentaram olhos externamente visíveis (anoftálmicos), 23% possuíam os dois olhos de tamanhos normais (similares aos indivíduos epígeos) e 5% apresentaram olhos assimétricos (Fig. 4A, B e C).

Na população de *Ancistrus* sp. n., todos indivíduos apresentaram olhos levemente menores do que os da população epígea da mesma microbacia, porém, somente um exemplar subterrâneo apresentou a condição assimétrica dos olhos e nenhum indivíduo anoftálmico foi encontrado (Fig. 4D, E e F). A pigmentação é variável em ambas as espécies e não foram registrados indivíduos totalmente despigmentados. Esta condição troglomórfica pouco avançada, com grande variabilidade no estado de caráter dos olhos e da pigmentação, pode indicar um isolamento recente no ambiente subterrâneo (Trajano 1991; Trajano *et al.* 2004).

A distribuição geográfica do cascudo albino *Ancistrus formoso* (Fig. 5) também parece ser pontual, pois foi encontrado até o momento somente em cavernas inundadas do sistema do Rio Formoso (Ressurgências do Formoso e Formosinho e Buraco do Ducho), onde os indivíduos foram observados a partir de 40 m da entrada (Sabino e Trajano, 1997 e 2008). Estas cavernas são inundadas e pertencem ao mesmo sistema subterrâneo, acessadas somente com técnicas de espeleomergulho (Sabino e Trajano, 1997). Pouco se sabe sobre as densidades, biologia e distribuição das populações desta espécie, mas apesar do conhecimento ainda incipiente, ela consta na lista brasileira de fauna ameaçada de extinção (Sabino e Trajano, 2008; Nascimento e Campo, 2011).

Ameaças aos peixes subterrâneos da Serra da Bodoquena e propostas para Conservação

Muitos exemplos de degradação dos hábitats subterrâneos causada pela ação antrópica vêm sendo observados em diversos locais do mundo, principalmente no que diz respeito aos ambientes aquáticos (Culver, 1986; Proudlove, 2001; Bichuette e Trajano, 2010). Grande parte dessas ameaças afetam não somente a fauna hipógea mas, também, as comunidades epígeas. Neste contexto, as atividades que contribuem atualmente para perda e/ou alteração do habitats subterrâneos na Serra da Bodoquena são: a mineração (principalmente calcário e ferro), o rebaixamento do lençol freático para construção e controle de minas, o desflorestamento, a agricultura (com uso de fertilizantes e agrotóxicos), a pecuária, o mau uso e contaminação da água subterrânea e turismo depredatório e não regulamentado.

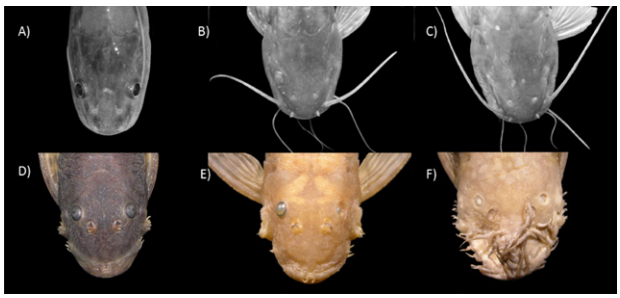


Figura 4. Variabilidade no tamanho dos olhos de *Rhamdia* sp. *n.* e *Ancistrus* sp. *n.* da Gruta das Fadas. Exemplares de *Rhamdia* sp. *n.*: A. com olhos normais; B. apenas com o olho direito; C. com olhos externamente não visíveis. Exemplares do gênero *Ancistrus*: D. indivíduo coletado no riacho epígeo próximo à gruta; olhos de tamanho normal; E. hipógeo, com olhos assimétricos; F. hipógeo, com olhos pequenos (macho adulto). Fotos: Rodrigo Borghezan.

Figura 5. Cascudo troglóbio da Serra da Bodoquena: *Ancistrus formoso.* Foto: José Sabino.

As cavernas da Serra da Bodoquena estão inseridas em uma área submetida a intensas ações humanas modificadoras, que em conjunto, podem estar degradando os ecossistemas subterrâneos vizinhos, de forma direta ou indireta. O efeito das alterações ambientais simultâneas sobre as comunidades subterrâneas ainda é desconhecido, mas sabe-se que pode ocorrer o efeito "delay", *i.e.* uma resposta longa e gradiente da fauna hipógea às alterações no meio epígeo (Boulton *et al.*, 2008).

O desflorestamento para abertura de pastagens é, sem dúvida, a atividade impactante mais comum e facilmente identificada nos entornos de muitas cavidades da região. Das 15 cavernas onde é registrada a ocorrência de peixes troglóbios, apenas oito estão inseridas dentro do Parque Nacional da Serra da Bodoquena e estão, por essa razão, de certa forma, protegidas por lei. Contudo, o tamanho insuficiente da equipe do parque faz com que suas trilhas sejam fiscalizadas com pouca frequência, o que facilita a extração ilegal de madeira, como já foi observado na região das grutas Flor da Bodoquena e Sr. Valdemar, localizadas no fragmento norte do parque.

A visitação não controlada às cavernas da região constitui outro problema para a conservação, não só dos peixes, mas da fauna subterrânea como um todo. Na gruta do Urubu Rei, tida como um dos principais atrativos do município de Bodoquena, a atividade turística irregular ocorre desde a década de 1980. Os vistantes costumam explorar os primeiros 70 metros da entrada, pois adiante há passagens estreitas e sifões. Contudo, a presença dos bagres cegos *Trichomycterus* cf. *dali*, pequenos e com hábitos criptobióticos pode passar despercebida pelos olhos dos visitantes, que os pisoteiam: em 2010, em duas ocasiões encontramos peixes mortos, esmagados sob as placas de calcários submersas. Nota-se que a entrada dessa caverna é um local importante para a população deste peixe, cujos alguns membros tendem a se concentrar ali, ao menos nos meses mais secos, provavelmente atraídos pela maior concentração de recursos alimentares.

O entendimento da dinâmica populacional de *Trichomycterus* cf. *dali* é extremamente importante para a o estabelecimento de parâmetros para o monitoramento a longo prazo. A criação de uma área de preservação permanente para a conservação desta espécie e da área de influência da gruta do Urubu Rei é fortemente recomendada, pois esta população é aparentemente a maior da área e se encontra mais facilmente acessível para fins de estudos científicos e observações naturalísticas, mas também está exposta a degradação e alterações causadas pelo uso turístico inadequado da gruta.

Na região Sul da Serra da Bodoquena, onde se concentram as maiores cavernas submersas mergulháveis, as atividades de espeleomergulho tem se intensificado e ações estão em andamento para que algumas cavidades se tornem sítios de visitação e para formação e treinamento de espeleomergulhadores. Entretanto, a extensão do impacto da presença de mergulhadores nas populações de peixes subterrâneos e na fauna subterrânea ainda não é conhecida. Este é o caso das grutas Saracura, Buraco das Abelhas, Taquaral e Nascentes do Formoso, onde a dinâmica das populações de *Trichomycterus dali* e, nesta última, de *Ancistrus formoso*, também ainda não foi estudada.

Centenas de famílias estão instaladas nos assentamentos rurais da região da Serra da Bodoquena desde o início da década de 80 e sua atividade principal, desde então, tem sido a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência. Segundo moradores locais, muitos córregos que passam pelos assentamentos já tiveram sua vazão afetada pelo assoreamento e, nas épocas de secas mais intensas, algumas drenagens chegam a secar completamente. Assim, as cavernas com água têm sido procuradas pelos moradores para consumo próprio e abastecimento do rebanho bovino. A gruta do Bebedouro, por exemplo, recebeu este nome pela utilização que os proprietários fazem da cavidade, abastecendo o bebedouro de gado de uma fazenda com a água retirada através de bomba elétrica.

A gruta das Fadas está localizada no Assentamento Campina e faz parte de um sistema hidrogeológico importante, por onde passa um volume de água semelhante ao do Córrego Campina, principal drenagem que alimenta as atividades econômicas do assentamento. Por se tratar de uma região ocupada por dezenas de famílias, cuja principal fonte de renda provém da pecuária extensiva, e onde, também, estão localizadas duas lavras de calcário (uma ajusante e outra a montante), *Rhamdia* sp. n. e *Ancistrus* sp. n. estão altamente vulneráveis à soma desses impactos. A retirada da cobertura vegetal para a formação de pastagens tem aumentado a erosão e a sedimentação nos riachos de superfície, processo facilmente observado em vários pontos do Córrego Campina. As galerias da gruta das Fadas se desenvolvem abaixo de uma área destinada à pastagem, assim, a quantidade e qualidade dos recursos tróficos alóctones, dos quais a fauna subterrânea é altamente dependente (Bichuette e Trajano, 2010, Culver, 1986), podem ter sido alteradas com a retirada da cobertura vegetal da superfície. Somam-se a este contexto de degradação, ainda, o risco de rebaixamento e contamição do lençol freático pela utilização de poços artesianos em comunidades rurais e de fossas sépticas para destinação de resíduos sanitários, ambos feitos, geralmente, de modo desregrado e irregular.

Os abalos causados pelas lavras de extração de calcário nos entornos da gruta das Fadas podem alterar a estabilidade da rocha e das qualidades físico-quimicos da água. As vibrações de origens naturais, como abalos sísmicos, ou artificiais, como as causadas pelas detonações de uma mineração, podem descarregar a água saturada de minerais dos sistemas de fendas e fraturas da rocha e, consequentemente, alterar variáveis como pH, salinidade e condutividade (Charmoille *et al.*, 2006).

Em diversas partes do Assentamento Campina foram catalogados pequenos abismos, com profundidades de 10 a 30 m, que atuam como pontos de recarga da água do sistema subterrâneo nas épocas de chuva. Devido a falta de coleta do lixo na região, os moradores costumam, além de queimar e enterrar, jogar seus resíduos e carcaças de animais dentro desses "buracos" naturais. Esses resíduos, uma vez levados pelas enxurradas, adentram no sistema subterrâneo, fato que explica a presença de tampas, latas de

alumínios, garrafas plásticas e sacos plásticos nas galerias mais profundas da gruta das Fadas. O descarte inadequado de lixo e dejetos pode, consequentemente, colocar em risco as populações de peixes e invertebrados subterrâneos pela contaminação do lençol freático, além da inviabilizar o uso da água subterrânea pela população local.

O Parque Nacional da Serra da Bodoquena (Decreto s/n° de 21 de setembro de 2000) foi delimitado com base, principalmente, nos fragmentos florestais, o que excluiu de sua área as cabeceiras dos principais rios que drenam o relevo calcário da região (Rios Formoso, Perdido, Prata e Salobra, ver Fig. 1). Assim, as drenagens subterrâneas devem ser incorporadas à área do Parque Nacional, ou criadas outras categorias de unidade de conservação que as contenham, para garantir a manutenção destes ecossistemas e a preservação destas espécies endêmicas. Além disso, a estruturação adequada do Parque para o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa, visitação e educação ambiental é, também, essencial para que seu uso possa ser viabilizado e serem minimizados os impactos sobre os ambientes epígeos e hipógeos.

A continuidade dos estudos sobre os peixes subterrâneos da Serra da Bodoquena poderá elucidar muitas lacunas que existem sobre o ciclo de vida e dinâmica de suas populações. Resolver a questão taxonômica será essencial para nos aproximarmos da verdadeira riqueza de espécies endêmicas desta região. Porém, já é possível reconhecer que as autoridades locais, órgão ambientais responsáveis, assim como a população local, devem agir de forma mais ativa e serem sensibilizadas sobre a importância da preservação dos "bagres cegos" da Serra da Bodoquena. A comunidade local deve ser orientada sobre a melhor forma de conviver com a paisagem cárstica, pois a preservação do patrimônio bioespeleológico da região depende de ações relativamente simples, como a manutenção da cobertura vegetal sobre as cavernas e suas regiões de entrada, o destino adequado do lixo e o cuidado com as matas ciliares da região. As lavras que exploram a riqueza mineral da região devem ser fiscalizadas quanto à utilização de meios produtivos menos impactantes, como o uso de explosivos de pequeno abalo, e devem ser exigidas as avaliações ambientais do patrimônio bioespeleológico (Decreto nº 6640, de 7 de novembro de 2008 e Instrução Normativa nº. 2 de 20 de agosto de 2009) para que seja evitada a perda irreversível da biodiversidade subterrânea.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado à Lívia M. Cordeiro e a bolsa de produtividade à Eleonora Trajano, à FAPESP pela concessão da bolsa de Mestrado a Rodrigo Borghezan; à CAPES-PROAP pelos recursos que foram utilizados durante as atividades de campo; ao Dr. Willian Sallun-Filho (Instituto Geológico de São Paulo) pelo auxílio na confecção do mapa da área de estudo; aos técnicos do Parque Nacional da Serra da Bodoquena e aos colegas que ajudaram em campo.

Referências

Bichuette ME e Trajano E. 2010. Conservation of Subterranean Fishes. In: Trajano E, Bichuette ME, Kapoor BG editors. Biology of subterranean fishes. New York: Science Publishers 65-80.

Boulton AJ, Fenwick GD, HancockPJ, Harvey MS. 2008. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. Invertebrate Systematics 22: 113-116.

BRASIL. 2000. Decreto s/n° de 21 de setembro de 2000. Criação do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, no estado do Mato Grosso do Sul. Diário Oficial da União - Seção 1 - 22/09/2000 p20.

BRASIL. 2008. Decreto nº. 6640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos artigos 1°, 2°, 3°, 4° e 5° e acrescenta os artigos 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1° de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Casa Civil, Brasília.

BRASIL. 2009. Instrução Normativa nº. 2, de 20 de agosto de 2009. Resolve instituir a metodologia de classificação das cavidades naturais subterrâneas. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

Charmoille A, Fabbri O, Mudry J, Bertrand C, Ressenauer M. 2006. Apport de l´hydroquimie à le etude des pertubations hydrauliques liées au cycle sismique. Exemple de deux aquifères karstiques Jurassiens. Proceedings of the 8th conference on limestone hydrogeology p63-66.

Cordeiro, LM. 2008. Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, p120.

Costa JrE. 2004. Fish from the Underwater Caves of Bodoquena Plateau, Mato Grosso do Sul, Soutwestern Brazil. DIR Lifestyle & Underwater Adventure Magazine 5:8-12.

Culver DC. 1986. Cave faunas. In: Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates, Sunderland p427-442.

Gnaspini P e Trajano E. 1994. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. Revista Brasileira de Entomologia 38: 549-584.

Godoy NM. 1986. Nota sobre a fauna cavernícola de Bonito, MS. Espeleo-tema 15: 80-92.

Lobo H e Moretti E. 2009. Tourism in Caves and the Conservation of the Speleological Heritage: The case of Serra da Bodo quena (Mato Grosso do Sul State , Brazil). Acta Carsologica 38: 265-276.

Mattox GMT, Bichuette ME, Secutti S e Trajano E. 2008. Surface and subterranean ichthyofauna in the Serra do Ramalho karst area, northeastern Brazil, with updated lists of Brazilian troglobitic and troglophilic fishes. Biota Neotropica 8: 145-152.

Nascimento JL, Campos IB. 2011. Atlas da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção em Unidades de Conservação Federais. Brasília: ICMBio, p276.

Neto, JLB. 2010. Cavernas inundadas na Serra da Bodoquena. O Carste 2: 34-38.

Palmer AN. 2007. Cave geology. Cave Books. Ohio: Dayton.

Pinto-da-Rocha R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). Papéis Avulsos de Zoologia 39: 61-173.

Pires AMS .1987. Potiicoara brasiliensis: a new genus and species of Spelaeogriphacea (Crustacea:Peracarida) from Brazil with a phylogenetic analysis of the Peracarida. Journal of Natural History 21: 225·38.

Proudlove GS. 2001. The conservation status of hypogean fishes. The biology of hypogean fishes. Kluwer Academic Publishers p201-213.

Rizzato PP, Costa-Jr EPD, Trajano E, Bichuette ME. 2011. Trichomycterus dali: a new highly troglomorphic catfish (Silurifomes: Trichomycteridae) from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul State, Central Brazil. Neotropical Ichthyology 9: 477-491.

Sabino J e Trajano E. 1997. A new species of blind armoured catfish, genus Ancistrus, from caves of Bodoquena region, Mato Grosso do Sul, southeastern Brazil (Siluriformes, Loricariidae, Ancistrinae). Revue Française de Aquariologie 24: 73-78.

Sabino J e Trajano E. 2008. Ancistrus formoso Sabino e Trajano 1997. In: Machado ABM, Drummond GM, Paglia AP. editors. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília: Biodiversitas 2: 212-213.

Sallun-Filho W, Karmann I, Boggiani PC. 2004. Paisagens cársticas da Serra da Bodoquena (MS). In: Mantesso-Neto, V, Bartorelli A, Carneiro CDR, Brito-Neves BB editors. Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, p. 424-433.

Sallun-Filho W, Karmann I, Boggiani PC, Petri S, Cristalli P, Utida G. 2009. A Deposição de Tufas Quaternárias no Estado de Mato Grosso do Sul: Proposta de Definição da Formação Serra da Bodoquena. Geologia USP Séria Científica 9: 47 – 60.

Scremin-Dias E, Pott VJ, Souza PR, Hora RC. 1999. Nos Jardins Submersos da Bodoquena: Guia para Identificação das Plantas Aquáticas de Bonito e Região de Bonito/MS. Editora da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Trajano E. 1987. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. Revista Brasileira de Zoologia 3: 533-561.

Trajano E. 1991. Agonistic behaviour of Pimelodella kronei, a troglobitic catfish from southeastern Brazil (Siluriformes, Pimelodidae). Behavioural Processes 23: 113-124.

Trajano E e Souza AM. 1994. The behavior of Ancistrus cryptophthalmus an armoured blind catfish from caves of central Brazil, with notes on syntopic Trichomycterus sp. (Siluriformes, Loricariidae, Trichomycteridae). Mémoires de Biospéologie 21: 151-159.

Trajano E. 2000. Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology and Conservation. Biotropica 32: 882-893.

Trajano E. 2001. Habitat and population data of Ancistrus cryptophthalmus Reis 1987, from central Brazil (Siluriformes: Loricariidae). Environmental Biology of Fishes 62: 195-200.

Trajano E e Bichuette ME. 2010. Subterranean fishes of Brazil. . In: Trajano E, Bichuette ME, Kapoor BG editors. Biology of subterranean fishes. New York: Science Publishers 331-355.

Trajano E e Gnaspini-Netto P. 1991. Composição da fauna cavernícola brasileira com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. Revista Brasileira de Zoologia 7: 383-407.

Trajano E, Reis ER e Bichuette EM. 2004. Pimelodella speleae: A New Cave Catfish from central Brazil, with data on Ecology and Evolutionary considerations (Siluriformes: Heptapteridae). Copeia 2: 315-325.

Wilson GDF. 2010. Gondwanan groundwater: subterranean connections of Australian phreatoicidean isopods (Crustacea) to India and New Zealand. Invertebrate Systematics 22: 301-310.

Revista da Biologia (2013) 10(2): 28–33
DOI: 10.7594/revbio.10.02.05

Artigo

A expressão do comportamento agonístico em *Ituglanis ramiroi* Bichuette & Trajano 2004 (Siluriformes: Trichomycteridae) e sua aplicação para conservação

The expression of the agonistic behavior in *Ituglanis ramiroi* Bichuette & Trajano 2004 (Siluriformes: Trichomycteridae) and its application for conservation

Diego Monteiro Neto*, Maria Elina Bichuette
Laboratório de Estudos Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos campus São Carlos, Brasil

Contato do autor: beat_e@terra.com.br

Resumo. *Ituglanis ramiroi* ocorre em ambientes específicos na Caverna São Bernardo, localizado no Parque Estadual de Terra Ronca, nordeste de Goiás, em aqüíferos superiores alimentados por água de infiltração na rocha. A espécie foi estudada previamente em relação à reação à luz; ao comportamento espontâneo; ao comportamento alimentar; e à ritimicidade locomotora, com evidências de especializações nestes. No presente trabalho apresentamos a descrição do comportamento agonístico nessa espécie. Verificamos que o componente comportamental agonístico expressou-se fracamente nos indivíduos testados, podendo representar uma regressão de caráter, portanto uma especialização. Comportamentos especializados, recorrentes em espécies troglóbias sugerem histórias evolutivas únicas, o que deve ser considerado para fins de conservação.
Palavras-chave. *Brasil; Epicarste; Peixes subterrâneos; Regressão de caracteres; Troglóbio.*

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Abstract. *Ituglanis ramiroi* lives in a special habitat in São Bernardo Cave, mostly upper aquifers fed by infiltration water in the rock. The species was previously studied in relation to reaction to the light; to the spontaneous behavior; to the feeding behavior; and to the locomotor rhythmicity, with evidences of specializations in these behaviors. In the present work, we present the description of agonistic behavior in this species. We verified that the agonistic component was weakly expressed in the tested individuals and could represent a character regression, therefor, a specialization. Specialized behavior in troglobitic species suggests unique evolutionary histories, and must be considered for conservation purpose.
Keywords. *Brazil; Character regression; Epikarst; Subterranean fishes; Troglobitic.*

Introdução

O Brasil distingue-se pela riqueza de sua ictiofauna subterrânea, com cerca de 25 espécies ocorrendo em várias áreas cársticas do país, na sua maioria, Siluriformes (bagres e cascudos). Dentre eles, dois clados apresentam grande número de espécies – os bagres das famílias Trichomycteridae e Heptapteridae (Trajano e Bichuette, 2010), existindo em nosso país um grande potencial para estudo de peixes subterrâneos e suas especializações a esse modo de vida.

Alguns peixes subterrâneos (espécies restritas ao ambiente subterrâneo, apresentando especializações relacionadas à evolução nesse ambiente) têm sido investigados sob o ponto de vista comportamental, incluindo reação à luz, uso do espaço (preferência por micro-hábitats), distribuição espacial, hábito de entocar-se (criptobiose), reações a estímulos químicos ou mecânicos, comportamento alimentar, agonístico e ritmicidade locomotora (e.g., Thines, 1954; Ercolini e Berti, 1977; Parzefall, 1986; Hüppop, 1987; Trajano, 1989; Trajano e Menna-Barreto, 1995, 1996, 2000; Trajano e Bockmann, 2000; Pati, 2001; Moreira *et al.*, 2010).

A comparação de aspectos comportamentais dos peixes troglóbios com seus parentes epígeos possibilita uma visão das modificações associadas ao isolamento e especiação no ambiente subterrâneo. Dentre os comportamentos que podem sofrer regressão em peixes troglóbios, devido ao relaxamento da pressão de seleção relacionada

aos fotoperíodos, estão a fotofobia (Langecker, 1992; Trajano e Gerhard, 1997), os ritmos circadianos, sobretudo os locomotores (Lamprecht e Weber, 1992; Trajano e Menna-Barreto, 1995, 1996, 2000), o hábito de encardumear e outros componentes comportamentais dependentes de contato visual (e.g., interações agonísticas em *Poecilia mexicana* hipógea) (Parzefall, 1992). Na ausência de predação visualmente orientada, hábitos criptobióticos podem regredir nas espécies troglóbias.

Casos de redução do comportamento agonístico (agressão e submissão) de peixes troglóbios em relação aos epígeos aparentados foram descritos para lambaris cegos mexicanos do gênero *Astyanax*, para *P. mexicana* e para os ambliopsídeos norteamericanos (Parzefall, 1993). Entre as espécies encontradas no Brasil, *Rhamdiopsis krugi* Bockmann e Castro 2010 e *Trichomycterus itacarambiensis* exibem baixos níveis de agressividade (Trajano, 1996), que podem representar um estado plesiomórfico de caráter herdado dos ancestrais epígeos ou, eventualmente, casos de redução de agressividade após o isolamento no meio hipógeo. Por outro lado, nenhuma evidência de regressão de comportamento agonístico foi observada em *Pimelodella kronei* e *Ancistrus cryptophthalmus*, os quais apresentam interações agonísticas acentuadas e complexas (Trajano, 1991; Trajano e Souza, 1994).

Especializações comportamentais, muito recorrentes em troglóbios (Trajano e Parzefall, 2010) representam particularidades decorrentes de histórias evolutivas únicas, em um regime seletivo singular. Tais especializações devem ser consideradas para fins de proteção da fauna troglóbia e conservação de hábitats subterrâneos. Dados comportamentais devem ser considerados, desta maneira, em revisões de Listas de Fauna Ameaçada, dentre outras ações.

Bagres do gênero *Ituglanis* Costa e Bockmann 1993, pertencentes à família Trichomycteridae Gill 1872, são bem representados no ambiente subterrâneo, com cinco espécies descritas (*I. passensis, I. bambui, I. epikarsticus, I. ramiroi e I. mambai*) (Fernàndez e Bichuette, 2002; Bichuette e Trajano, 2004, 2008), representando um grupo de grande potencial para estudos acerca do comportamento e ecologia (Bichuette, 2003), pois são animais que ocorrem em locais próximos, porém isolados uns dos outros, podendo apresentar histórias evolutivas singulares, apesar da proximidade filogenética e geográfica.

A despeito da grande riqueza de tricomicterídeos troglóbios, *T. itacarambiensis*, do norte de Minas Gerais, foi investigado quanto ao comportamento, assim como *I. passensis, I. bambui e I. ramiroi*; esses foram estudados quanto a reação à luz, comportamento espontâneo, comportamento alimentar e ritimicidade locomotora.

Ituglanis ramiroi ocorre em ambientes específicos na Caverna São Bernardo, em aqüíferos superiores formados por água de percolação (epicarste). Esse ambientes são geralmente pobres em alimento e não têm conexão com riachos superficiais nem com o rio de nível de base da caverna, isolando tais populações. Em relação a aspectos comportamentais, tal espécie foi estudada em relação à reação à luz de diferentes intensidades, geralmente exibindo indiferença a esta; ao comportamento espontâneo, exibindo extensão da atividade natatória e redução do hábito de se entocar; ao comportamento alimentar, mostrando eficiência na detecção e captura de alimento; e à ritimicidade locomotora, exibindo componentes fracos de atividade circadiana (Bichuette, 2003). Note-se que esta espécie apresenta várias regressões comportamentais, ou seja, para alguns aspectos do comportamento, essa espécie apresenta uma diminuição da expressão desse, quando comparado com espécies epígeas e próximas.

Desta maneira, visando contribuir com dados que venham corroborar ou não comportamentos regressivos, já observados em *I. ramiroi* (Bichuette, 2003), apresentamos o estudo do comportamento agonístico nesta espécie. Ainda, tais resultados trazem evidências em relação ao tempo de isolamento no meio hipógeo além de contribuir para efetiva proteção da espécie e seu hábitat.

Métodos

Manutenção dos exemplares vivos

Os exemplares de *Ituglanis ramiroi* (Fig. 1) foram trazidos da localidade de ocorrência (Caverna São Bernardo (13°49'S;46°21W), São Domingos, nordeste de Goiás) acondicionados em recipientes adequados, sem alimentação e sem aerador. Evitou-se a elevação da temperatura, mantendo-se os recipientes em caixas de isopor com hipergel reciclável. No laboratório, foram acondicionados em aquários em uma sala sem iluminação. No total são mantidos dois grupos, chamados aqui de G1 (sete indivíduos) e G2 (três indivíduos), alimentados ao menos uma vez por semana em dias e horários variados, com crustáceos *Artemia salina* (frescos) ou vermes *Tubifex* liofilizados. Essa frequência alimentar é o suficiente para esses animais, visto que em condições naturais, esses podem ficar várias semanas sem disponibilidade de alimento. Esses grupos referem-se a duas populações distintas, que ocorrem em isolamento altimétrico na caverna, em afluente formado por água de infiltração na rocha (água do epicarste). Ou seja, aparentemente não há contato entre as subpopulações que originou os dois grupos. Em laboratório mantêm-se as condições próximas às do ambiente subterrâneo: ausência de luz e variações de temperaturas minimizadas, entre 23 e 25°C.

Figura 1. *Ituglanis ramiroi* em aquário. Foto: Maria Elina Bichuette.

Observações em laboratório

Realizamos os testes, iniciando-se por observações *ad libitum* (Altmann, 1974) para os dois grupos (G1 e G2). Essas foram feitas cerca de quatro meses após a captura. Dessa maneira, detectamos a expressão de componentes agonístico, evidenciando-se dominância hierárquica entre os coespecíficos no G1.

Em seguida realizamos seis pareamentos no esquema residente *versus* intruso, definido após a verificação de indivíduo dominante, como em Trajano (1991).

Os pareamentos referentes ao G1 ocorreram com intervalo de 24 h entre cada um. O indivíduo escolhido como residente, neste caso, o de comprimento corpóreo maior, foi isolado durante dez dias do restante da população. Em seguida, cada indivíduo que foi pareado com o dominante desse grupo, permanecendo isolado durante 24 h antes do pareamento. Cada pareamento teve duração de 1 h.

Já para o grupo G2, não detectamos, a priori, relação de dominância. Por causa disto, os indivíduos foram isolados por mais tempo antes dos pareamentos (7 dias, com 72 h de intervalo entre cada pareamento). Para deixar esses indivíduos isolados por mais tempo, nos baseamos no tempo que o grupo estava em cativeiro (7 anos) convivendo. Ainda, pela ausência de expressão de dominância, o indivíduo residente foi aleatório. Então os testes seguiram a mesma metodologia descrita para o G1.

Fizemos filmagens dos pareamentos para que fosse possível quantificar e distinguir os contatos e mensurar o tempo de contato entre os indivíduos e o tempo de natação.

Registramos 7 categorias comportamentais:

i. Contato frontal: contato dos indivíduos um de frente para o outro, tocando a parte anterior do focinho na parte anterior do focinho do oponente;

ii. Contato por trás: contato de um indivíduo vindo por trás do outro e tocando com o focinho na nadadeira caudal ou no terço posterior do oponente;

iii. Contato por cima: um indivíduo toca o outro com o a região ventral, na região dorsal do oponente, ou vindo de cima e toca o outro com o focinho no dorso do oponente;

iv. Empurrão ventral: golpe por baixo do abdômen do oponente, geralmente desferido com a cabeça;

v. Engalfinhar: quando os indivíduos se tocam e um ou ambos enrolaram-se um no outro;

vi. Jogo de corpo: golpe corporal lateral de duração variável;

vii. "Briga": nomenclatura utilizada quando ocorre interação agonística na qual ocorrem vários contatos (frontais, engalfinhamentos, por baixo, por cima).

Resultados

No total foram oito pareamentos, sendo do pareamento 1 ao 6 os que ocorreram para o G1 e os pareamentos 7 e 8 pertencentes ao G2. O número de ocorrências das categorias comportamentais apresentadas e o número total de contatos foram quantificados (Fig. 2). Na Figura 3 o percentual de ocorrência de cada categoria em relação ao total de contatos pode ser observado.

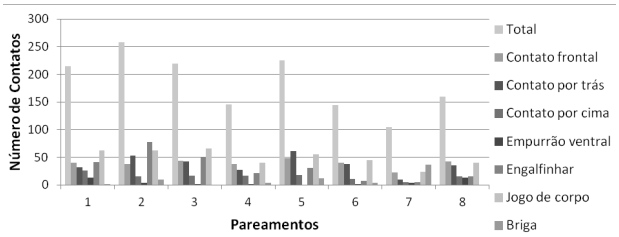


Figura 2. Repertório agonístico e número de ocorrências de contatos para *I. ramiroi*.

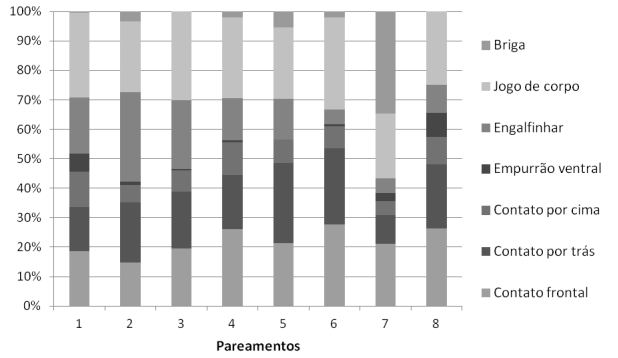


Figura 3. Porcentagens do repertório agonístico em relação ao total de contatos para *I. ramiroi*.

O primeiro pareamento do G2 (grupo mais antigo em cativeiro) apresentou um tempo de comportamento de briga superior em relação aos demais pareamentos no qual esse componente comportamental manifestou-se. Para este grupo, nas observações *ad libitum* os indivíduos eram bastante pacíficos, passando a maior parte do tempo entocado. Contudo, ao parear dois indivíduos (sem tocas disponíveis), o comportamento agonístico foi evidente, diferente do que ocorreu no segundo pareamento deste grupo, sem componentes de briga.

Nos pareamentos 1, 2, 4 e 5 do G1, os indivíduos intrusos apresentaram comportamento de fuga, que foi um comportamento de evitação ao peixe de tamanho corpóreo maior, no caso, o residente.

Em relação ao comportamento exploratório, houve fases de natação rápida, lenta e forrageio do substrato. Além disso, esses indivíduos apresentaram estado estacionário no fundo em alguns momentos, os quais entraram na quantificação de tempo de comportamento exploratório, pois tanto estado estacionário quanto o comportamento exploratório não se encaixam na categoria de comportamento agonístico no presente estudo.

Observamos os componentes agonísticos mais acentuados sempre no início dos pareamentos, e com o passar do tempo houve uma diminuição nestes, sugerindo o estabelecimento de uma hierarquia. Esta provavelmente já estava presente nos grupos, sendo observado no G1, nas observações *ad libitum*, e dessa forma usado de critério para a escolha do residente. E apesar de não ter sido observada, *a priori*, para o G2, em um dos pareamentos houve intenso comportamento de briga, para que a hierarquia fosse estabelecida.

O tempo em que os peixes exibiram comportamento exploratório (sem contatos) também foi medido e comparado com o tempo total de contatos, em porcentagens (Fig.4). Ainda, em relação ao tempo total de contatos, foi medido o tempo de expressão do comportamento de "briga", expresso em porcentagem (Fig. 5). Observa-se uma atividade exploratória significativa em relação aos contatos e também pouca expressão do componente "briga" em relação aos contatos totais, sugerindo componentes fracos de comportamento agonístico e atividade exploratória acentuada.

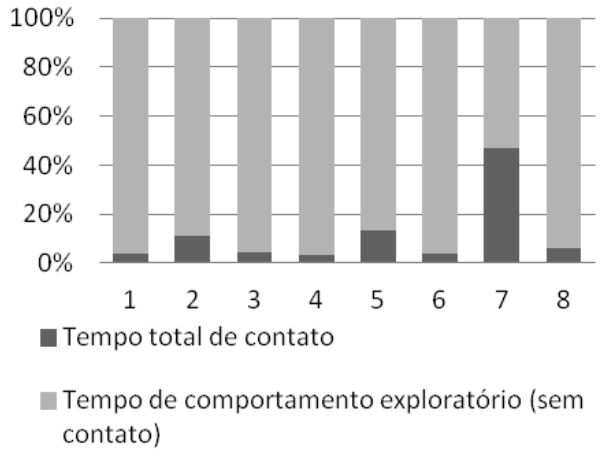


Figura 4. Porcentagens dos tempos totais dos contatos em relação ao tempo despendido em comportamento exploratório (sem contatos) para *I. ramiroi*.

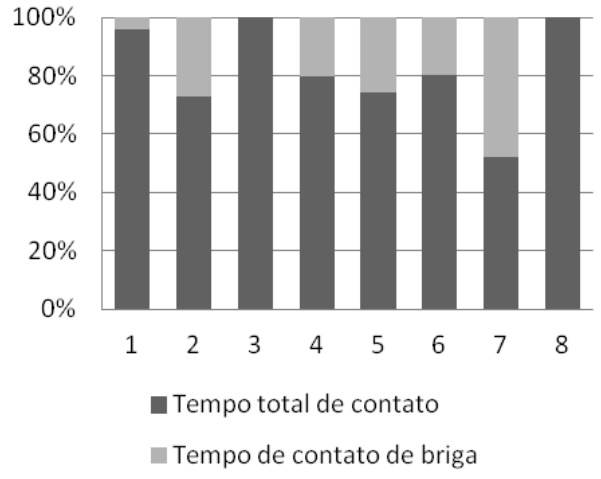


Figura 5. Porcentagens dos tempos de "briga" em relação ao tempo total de contatos para *I. ramiroi*.

Discussão

A escolha do indivíduo no G1 como residente, levando em consideração o tamanho corpóreo, está relacionada à dominância em peixes subterrâneos consistir basicamente no tamanho corpóreo (Berti *et al.*, 1983; Ercolini *et al.*, 1981 apud Hoenen, 1996). Esta relação é mantida por um comportamento de evitação por parte do subordinado, e de contínuas investidas por parte do dominante (Trajano, 1991). Além disso, a variação no tamanho corpóreo influencia a velocidade com que a dominância é estabelecida (Rantin, 2011).

No G2, a não detecção de dominância pode ter ocorrido possivelmente devido os indivíduos deste grupo se encontrarem em cativeiro há mais tempo (há sete anos). Ainda que haja uma expressão fraca de componentes agonísticos nesta espécie, como observado em estudos semelhantes para outros peixes troglóbios, por exemplo, *Poecilia mexicana*, lambaris do gênero *Astyanax* e ambliopsídeos norte-americanos (Parzefall, 1993), este continua presente, sugerindo que esta população esteja isolada no meio subterrâneo há mais tempo que espécies hipógeas que apresentam interações agonísticas complexas e ainda apresentam parentes epígeos próximos como *Pimelodella kronei*, *Ancistrus cryptophtalmus*, *Glaphyropoma spinosum* e *Copionodon* sp. n. (Trajano, 1991; Trajano e Souza, 1994; Rantin, 2011). Entretanto, comparando-se com espécies nas quais o comportamento agonístico é praticamente ausente, com baixos níveis de agressividade, como em *Rhamdiopsis krugi* (Mendes, 1995; Bockmann e Castro, 2010) e *Trichomycterus itacarambiensis* (Trajano, 1996), a população de *I. ramiroi* exibe graus de diferenciação possivelmente relacionados às diferenças no tempo de isolamento no ambiente subterrâneo, podendo representar um estado pleisiomórfico de caráter herdado dos ancestrais epígeos, ou ainda, regressão de agressividade após o isolamento no ambiente hipógeo (Bichuette, 2003)

As categorias comportamentais i, ii e iii também foram exibidas por *G. spinosum* e *Copionodon* sp. n. Contudo, Rantin (2011) agrupou essas categorias em apenas uma denominada "golpe frontal", assim como Trajano (1991), para *P. kronei*.

Excetuando-se o componente "briga", o qual deve ter ocorrido para então se estabelecer ou afirmar uma hierarquia, assume-se que aparentemente os indivíduos estavam interagindo de forma a explorar o ambiente mais do que definir hieraquias.

Ainda, não há parentes epígeos pertencentes ao gênero *Ituglanis* na região de São Domingos, portanto, não há possibilidade de uma análise comparativa mais detalhada para verificação de regressão ou não neste comportamento. As comparações, assim, foram efetuadas com peixes troglóbios de outras regiões brasileiras.

Sendo os componentes de expressão do comportamento agonístico não acentuada em *I. ramiroi*, sugerimos, duas possíveis hipóteses para o entendimento desta manifestação: 1. Os componentes fracos podem representar regressão do comportamento agonístico; 2. A manifestação fraca destes componentes pode representar uma adaptação a ambientes pobres em recursos, principalmente alimentares, visto que a atividade exploratória é acentuada na espécie, em detrimento das interações sociais.

Corroborando a hipótese 1, temos o fato de que *I. ramiroi* não possui parentes epígeos nos riachos de São Domingos, configurando-se como um relicto geográfico, ou seja, pode tratar-se de uma espécie troglóbia antiga, com possibilidade de regressão de caracteres, como já observado para olhos e pigmentação (Bichuette, 2003). Cor-

roborando a hipótese 2, temos o fato destes peixes ocorrerem em ambientes com alimento escasso e exibirem uma atividade natatória estendida, fato também observado no ambiente natural (Bichuette, 2003).

Conclusões

A expressão do comportamento agonístico é fraca em *I. ramiroi*, significando uma possível regressão neste em relação a outras espécies de Siluriformes;

A manutenção do comportamento agonístico, pode representar um tempo de isolamento recente no hábitat hipógeo;

Esta regressão deve ser interpretada como uma especialização, constituindo-se como um caráter robusto para fins de conservação da espécie.

Agradecimentos

Agradecemos ao financiamento PIBIC/CNPQ – UFSCar, aos colegas do Laboratório de Estudos Subterrâneos pela ajuda nos experimentos e sugestões, a FAPESP (processo 1998/13858-1- Bolsa DR MEB), a Eleonora Trajano, por críticas e sugestões.

Referências

Altmann J. 1974. Observational study of behavior: sampling methods. Behaviour 49: 227-267.

Bichuette ME. 2003. Distribuição, biologia, ecologia populacional e comportamento de peixes subterrâneos, gênero *Ituglanis* (Siluriformes: Trichomycteridae) e *Eigenmannia* (Gymnotiformes: Sternopygidae) da área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. São Paulo, Instituto de Biociências da USP. Tese de Doutorado, 330 pp.

Bichuette ME, Trajano E. 2004. Three new subterranean species of *Ituglanis* from Central Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). Ichthyological Exploration of Freshwaters 15: 243 - 256.

Bichuette ME, Trajano E. 2008. *Ituglanis mambai*, a new subterranean catfish from a karst área of Central Brazil, rio Tocantins basin (Siluriformes: Trichomycteridae). Neotropical Ichthyology 6(1): 9-15.

Bockmann FA, Castro RMC. 2010. The blind catfish from the caves of Chapada Diamantina, Bahia, Brazil (Siluriformes: Heptapteridae): description, anatomy, phylogenetic relationships, natural history, and biogeography. Neotropical. ichthyology 8: 673-706.

Ercolini A, Berti R. 1977. Morphology and response to light of *Uegitglanis zammaranoi* Gianferrari, anophthalmic phreatic fish from Somalia. Monitore Zoologique Italiano 9: 183-199.

Fernandez L, Bichuette ME. 2002. A new cave dwelling species of *Ituglanis* from the São Domingos karst, central Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). Ichthyological Exploration of Freshwaters 13: 273 - 278.

Hoenen S. 1996. Behavioural studies on *Pimelodella kronei*, from Bombas Resurgence, Southeastern Brazil (Siluriformes: Pimelodidae). Mémoires de Biopéologie 23: 217-226.

Huppop K. 1987. Food-finding in cave fish (*Astyanax fasciatus*). International Journal of Speleology 16: 59-66.

Langecker TG. 1992. Light sensitivity of cave vertebrates. Behavioral and morphological aspects. In: Camacho, AI, editor. The Natural History of Biospeleology. Madrid: Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales p295-326.

Lamprecht G, Weber F. 1992. Spontaneous locomotion behaviour in cavernicolous animals: the regression of the endogenous circadian system. In Camacho, AI, editor. The Natural History of Biospeleology. Madrid: Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales p225-262.

Mendes LF. 1995a. Ecologia populacional e comportamento de uma nova espécie de bagres cavernícolas da Chapada Diamantina, BA (Siluriformes, Pimelodidae). São Paulo, Instituto de Biociências da USP. Dissertação de Mestrado, 86 pp.

Mendes LF. 1995b. Observations on the ecology and behaviour of a new species of a troglobitic catfish from Northeastern Brazil. Mémoires de Biospéologie 22: 99-101.

Moreira CR, Bichuette ME, Oyakawa OT, Pinna MCC, Trajano E. 2010. Rediscovery and redescription of the unusual subterranean characiform *Stygichthys typhlops*, with notes on its life history. Journal of fish Biology 76: 1815-1824.

Parzefall J. 1986. Behavioural preadaptations of marine species for the colonization of caves. Stygologia 2(1/2): 144-155.

Parzefall J. 1992. Behavioural aspects in animals living in caves. In: CAMACHO, AI, editor. The Natural History of Biospeleology. Madrid: Monografias del Museo Nacional de Ciencias Naturales p327-376.

Parzefall J. 1993. Behavioural ecology of cave-dwelling fishes. In: Pitcher, TJ, editor. Behaviour of teleost fishes. New York: Champman e Hall p573-605.

Pati AK. 2001. Temporal organization in locomotor activity of the hypogean loach, *Nemacheilus evezardi*, and its epigean ancestor. In ROMERO, A, editor. The biology of hypogean fishes. Dordrecht: Kluwer Academic Publ p119-129.

Rantin B. 2011. Comportamento e distribuição geográfica de bagres subterrâneos e epígeos, subfamília Copionodontinae Pinna, 1992 (Siluriformes, Trichomycteridae), da Chapada Diamantina, Bahia central. São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde/UFSCar. Dissertação de Mestrado, 165 pp.

Thines G. 1954. Etude comparative de la photosensibilité de poissons aveugles *Caecobarbus geertsi* Blgr. et *Anoptichthys jordani* Hubbs e Innes. Annales de la Societé Royale Zoologique de Belgique 85: 35-58.

Trajano E. 1989. Estudo do comportamento espontâneo e alimentar e da dieta do bagre cavernícola, *Pimelodella kronei*, e seu ancestral epigeo, *Pimelodella transitoria* (Siluriformes, Pimelodidae). Revista Brasileira de Biologia 49 (3): 757-769.

Trajano E. 1991. Agonistic behaviour of *Pimelodella kronei*, troglobitic catfish from Southeastern Brazil (Siluriformes: Pimelodidae). Environmental Biology of Fishes 30: 407-421.

Trajano E. 1996. Ecologia, comportamento e evolução de peixes subterrâneos. Estudo de caso: *Trichomycterus* sp. da caverna Olhos d'Água, Itacarambi, MG. São Paulo, Instituto de Biociências da USP. Tese de Livre Docência, 83 pp.

Trajano E. 1997. Synopsis of brazilian troglomorphic fishes. Mémoires de Biospéologie 24: 119-126.

Trajano E. 1998. As cavernas de Campo Formoso, Bahia: Biologia da Toca do Gonçalo, com ênfase em uma nova espécie de bagres troglóbios. O Carste 10(3): 84-91.

Trajano E, Bockmann FA. 2000. Ecology and behaviour of a new cave catfish of the genus *Taunayia* from northeastern Brazil (Siluriformes, Heptapterinae). Ichthyological Explorations of Freshwaters 11: 207-216.

Trajano E, Gerhard P. 1997. Light reaction in Brazilian cave fishes (Siluriformes: Pimelodidae, Trichomycteridae, Loricari-

idae). Mémoires de Biospéologie 24: 127-138
Trajano E, Menna-Barreto L. 1995. Locomotor activity pattern of Brazilian cave cattfishes under constant darkness (Siluriformes, Pimelodidae). Biological Rhythm Research 26(3): 341-353.
Trajano E, Menna-Barreto L. 1996. Free-running locomotor activity rhythms in cave-dwelling catfishes, *Trichomycterus* sp., from Brazil (Teleostei, Siluriformes). Biological Rhythm Research 27(3): 329-335.
Trajano E, Menna-Barreto L. 2000. Locomotor activity rhythms in cave catfishes, genus *Taunayia*, from eastern Brazil (Teleostei: Siluriformes: Hepaapterinae). Biological Rhythm Research 31(4): 469-480.
Trajano E, Souza AM. 1994. The behaviour of *Ancistrus cryptophthalmus*, an armoured blind catfish from caves of Cental Brazil, with notes on syntopic *Trichomycterus* sp. (Siluriformes, Loricariidae, Trichomycteridae). Mémoires de Biospéologie 21: 151-159.
Trajano E, Bichuette ME. 2010. Subterranean fishes of Brazil. In Trajano, E, Bichuette, ME, Kapoor B.G. editors. Biology of subterranean fishes. Enfield: Science Publishers p331-355.

Revista da Biologia (2013) 10(2): 34–39
DOI: 10.7594/revbio.10.02.06

Artigo

Dinâmica populacional do bagre cego de Iporanga, *Pimelodella kronei*: 70 anos de estudo

Population dynamics of the blind catfish, *Pimelodella kronei*: a comparison with Trajano 1987

Ana Luiza Feigol Guil*, Eleonora Trajano
Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Brasil

*Contato do autor: analuizaguil@gmail.com

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Resumo. O bagre cego de Iporanga, *Pimelodella kronei*, do Alto Ribeira - SP, foi o primeiro peixe troglóbio descoberto no Brasil e um dos mais estudados. Esses bagres foram excessivamente coletados na década de 1970 e, por isso, houve um declínio populacional detectado por Trajano 10 anos mais tarde. O presente estudo aborda a dinâmica populacional de *P. kronei* nas cavernas Areias de Cima e de Baixo, com foco nos deslocamentos no habitat, crescimento individual, fator de condição, e distribuições das freqüências de comprimento-padrão e fator de condição. Para tal, a população foi acompanhada entre outubro/2008 e maio/2010, através de marcação e recaptura, comparando-se aos resultados de Pavan (1945) e Trajano (1987). Este é o primeiro monitoramento de longo termo para peixes cavernícolas brasileiros.
Palavras-chave. *Peixes cavernícolas; Ecologia populacional; Monitoramento; Pimelodella kronei, Brasil.*

Abstract. The Iporanga blind catfish, *Pimelodella kronei*, from the Alto Ribeira karst area, was the first troglobite discovered and described in Brazil, and it is still one of the most intensively studied. These catfish were collected during the 1970´s, causing a population decline recorded by E.Trajano ten years later. We present data on the population dynamics in the Areias de Cima Cave gathered two decades after, focusing on distribution of length and condition factor, movements and individual growth, based on a mark-recapture program carried out from October 2008 to May 2010. These data are compared to those by Pavan (1945) and Trajano (1987). This is the first long-term monitoring for Brazilian cave fishes.
Keywords. *Cave fish; Population ecology; Monitoring; Pimelodella kronei; Brazil.*

Introdução

O Brasil é um país com grande potencial para estudo de peixes subterrâneos e suas especializações a esse modo de vida. Entre esses peixes, destacam-se os Siluriformes, que correspondem a quase um terço do total de peixes troglóbios (exclusivamente subterrâneos) do mundo. Os siluriformes têm geralmente hábitos noturnos, orientam-se por quimiorrecepção e sua dieta é frequentemente generalista. Isso faz com que esses peixes tenham alto potencial para a colonização do meio subterrâneo, pois podem sobreviver com poucos recursos disponíveis nesse meio, além de se orientarem no escuro com mais facilidade que, por exemplo, os Characiformes, outro grupo dominante nas águas doces das regiões neotropicais. (Trajano *et al.*, 2007).

Um aspecto importante na evolução dos organismos subterrâneos, com evidentes desdobramentos na área de conservação, é a ecologia populacional. Existe a noção de que as populações troglóbias seriam pequenas, devido à escassez alimentar, à distribuição geográfica restrita e à baixa tolerância a flutuações ambientais. Estudos recentes sobre peixes troglóbios mostram que tanto os tamanhos como as densidades populacionais podem variar consideravelmente entre espécies e populações, aparentemente em função de condições ambientais que podem diferir espacial e temporalmente (Trajano, 2001), mas sempre mantendo-se em níveis inferiores aos de espécies epígeas (superficiais) aparentadas vivendo em ambientes geograficamente próximos, em corpos d´água de mesma ordem.

Taxas de crescimento individual e fatores de condição (indicadores quantitativos do bem estar e saúde dos peixes) são outro componente importante do estilo de vida, que, na grande maioria das espécies troglóbias, tende ao tipo K (baixa fecundidade, reprodução infreqüente, maturidade retardada, crescimento lento e alta longevidade [Culver, 1982; Balon, 1990]). Seu monitoramento permite, por exemplo, verificar se nutrição, doenças e contaminantes estão afetando a dinâmica populacional. Por

outro lado, considerando-se a escassez alimentar nos habitats subterrâneos em geral,e considerando-se que quase toda a energia provem do meio epígeo (superficial), é importante relacionar o fator de condição à sazonalidade, visto que uma diminuição no aporte nutricional nas estações secas pode alterar o fator de condição. Além disso, as estimativas das taxas de crescimento individual e dos fatores de condição permitem comparar populações submetidas a diferentes condições climáticas e de disponibilidade de nutrientes.

O bagre cego de Iporanga, *Pimelodella kronei* (Ribeiro, 1907), da região do PETAR (Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira, Iporanga, sul de São Paulo), foi o primeiro peixe troglóbio descoberto no Brasil e um dos mais estudados até hoje. Na década de 1980, Trajano (1987) realizou um estudo populacional baseado principalmente em marcação e recaptura na Caverna Areias de Cima, localidade-tipo e principal habitat de *P. kronei* em termos de extensão e tamanho populacional. Foi então confirmado o esperado para troglóbios, que são reconhecidos como espécies altamente vulneráveis em função de suas características ecológicas, com populações geralmente pequenas, endêmicas de áreas geográficas restritas, baixas densidades populacionais, sensíveis a flutuações ambientais, limitadas pela baixa disponibilidade de alimento no meio subterrâneo, com ciclo de vida típico de estrategistas K. Além disso, foi detectada uma queda populacional na Caverna Areias, em relação ao observado em décadas anteriores a 1970 (Pavan, 1945; informações de moradores locais).

Para testar a eficácia da medida legal de proteção do sistema Areias, verificando se a população das Areias de Cima, que é a mais numerosa, recuperou-se da queda na década de 1970, foi realizado o monitoramento utilizando-se o mesmo desenho amostral e métodos de Trajano (1987). Além disso, a disponibilidade de marcas permanentes, retidas pelo animal durante toda a sua vida, permitiu estender o estudo para vários ciclos anuais, de modo a responder questões que ficaram em aberto no estudo de Trajano, restrito à estações secas.

O objetivo deste trabalho foi verificar o estado de conservação de *P. kronei*, visitando todas as localidades com registro anterior de bagres cegos, monitorando-se as populações das Cavernas Areias de Cima e de Baixo através de marcação e recaptura entre 2006 e 2010. Estes dados foram então comparados com os de Pavan (1945), que representariam o estado não-perturbado das populações, e de Trajano (1987), que observou um declínio populacional importante em relação a Pavan. O intervalo de monitoramento de duas décadas seria adequado a populações troglóbias, que apresentam lenta taxa de substituição devido às estratégias K de ciclo de vida. No caso específico de *P. kronei*, observou-se efetivamente uma baixa proporção de indivíduos reprodutivos na natureza, e a longevidade máxima média foi estimada em 15 anos (Trajano, 1991). Assim sendo, esperar-se-ia que, cessados os impactos em virtude da proibição de visitação sem fins científicos e de coletas sem licença especial, as populações levem no mínimo esse tempo para começar a se recuperar.

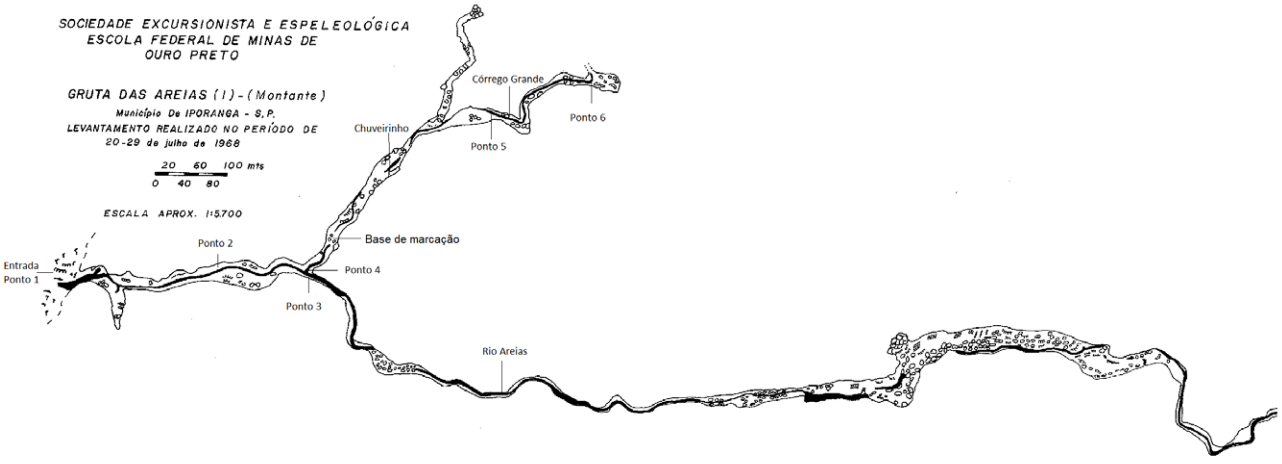


Figura 1. Mapa em planta da Caverna Areias de Cima, mostrando os pontos de coleta.

Nesta década, houve coleta excessiva por amadores, sem sinais evidentes de recuperação após mais de 10 anos (Trajano e Britski, 1992; Trajano, 1997a). Como consequência dos nossos alertas, o CONAMA recomendou, em sua Resolução n. 005 de 06/08/1987 a interdição da visitação sem fins científicos ao sistema das Areias. Esta medida foi razoavelmente bem implementada nos últimos 20 anos.

Bagres atribuídos à espécie *P. kronei* foram encontrados em várias cavernas do PETAR e arredores: Areias de Cima e de Baixo e Ressurgência das Águas Quentes (Sistema das Areias), Ressurgência das Bombas, Córrego Seco, Abismo do Gurutuva e Alambari de Cima.

Material e métodos

Durante o segundo semestre do ano de 2008, durante todo o ano de 2009 e no primeiro semestre do ano de 2010, foram realizadas oito viagens, a cada 45 dias aproximadamente, para o PETAR. Além disso, nos anos de 2006 e 2007, foram realizadas duas viagens preliminares, com marcação.

Os pontos de coleta na Caverna Areias de Cima (fig. 1) foram basicamente os mesmos de Trajano (1987), não tendo sido realizadas coletas no conduto do rio Areias

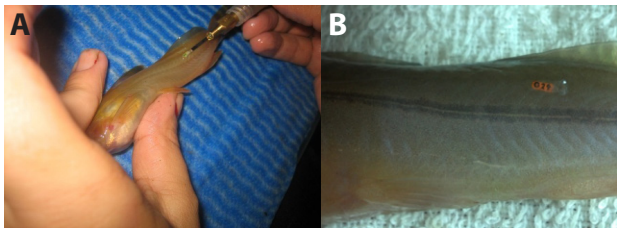


Figura 2. Método de marcação. A. aplicação de estiqueta subcutânea e B. detalhe da etiqueta aplicada.

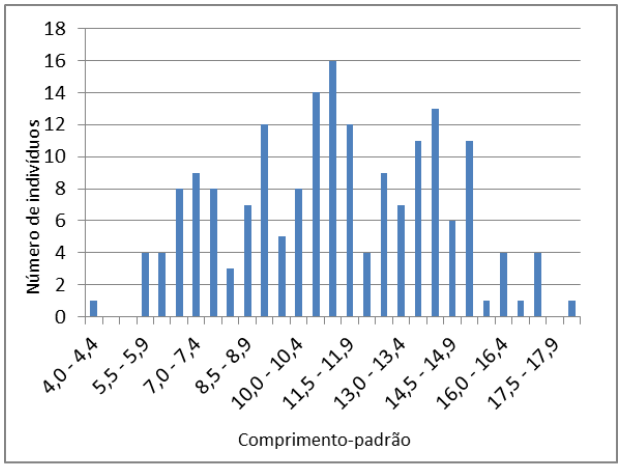
após a bifurcação pela dificuldade de acesso, incluindo trecho de natação em condutos apertados que seriam facilmente sifonados em caso de chuvas.

Coleta e marcação

Os bagres foram coletados em armadilhas do tipo covo, com iscas, como em Trajano (1991), e com redes de mão (pucás).

Por questões de praticidade e disponibilidade à época, o método utilizado por Trajano foi a tatuagem por injeção subcutânea de pigmentos acrílicos solúveis em água. Este método é satisfatório apenas para estudo de médio prazo (uma única estação seca), pois as marcas são reabsorvidas em alguns meses.

O método aplicado neste estudo foi o de injeção subcutânea de etiquetas individualizadas permanentes, com códigos binários (marca Northwestern Marine Technology, modelo "soft VI alpha tags" - Fig. 2). Os peixes eram anestesiados em solução de benzocaína, marcados e medidos e, uma vez recuperados da anestesia, soltos no trecho de rio em que haviam sido coletados. Em cada captura eram anotados os seguintes dados: comprimento-padrão (medido com paquímetro de precisão de 1 mm), peso (medido com dinamômetros do tipo Pesola, com precisão de 1 g ou 2 g) e características individuais, como grau de desenvolvimento de olhos e pigmentação. A freqüência e extensão dos deslocamentos individuais foram inferidas a partir da anotação dos locais de coleta em capturas consecutivas.



Distribuição das frequências de comprimento-padrão no total de exemplares de P. kronei coletados entre 2006 e 2010 na Caverna Areias de Cima.

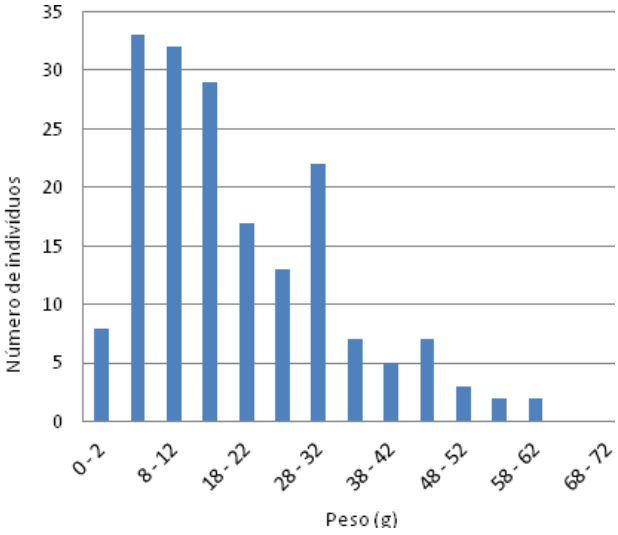


Figura 4. Distribuição das frequências de peso no total de exemplares de *P. kronei* coletados entre 2006 e 2010 na Caverna Areias de Cima.

Análise de dados

A partir dos dados de peso e comprimento-padrão, foram calculados os valores do fator de condição, tanto o alométrico (modelo de crescimento não-linear), mais realista, como, para fins de comparação com Trajano (1987), o isométrico (relação linear do crescimento, peso x comprimento, utilizando-se o método descrito em Vazzoler(1996). Foram, então, elaborados gráficos da distribuição de frequências de fator de condição, além de peso

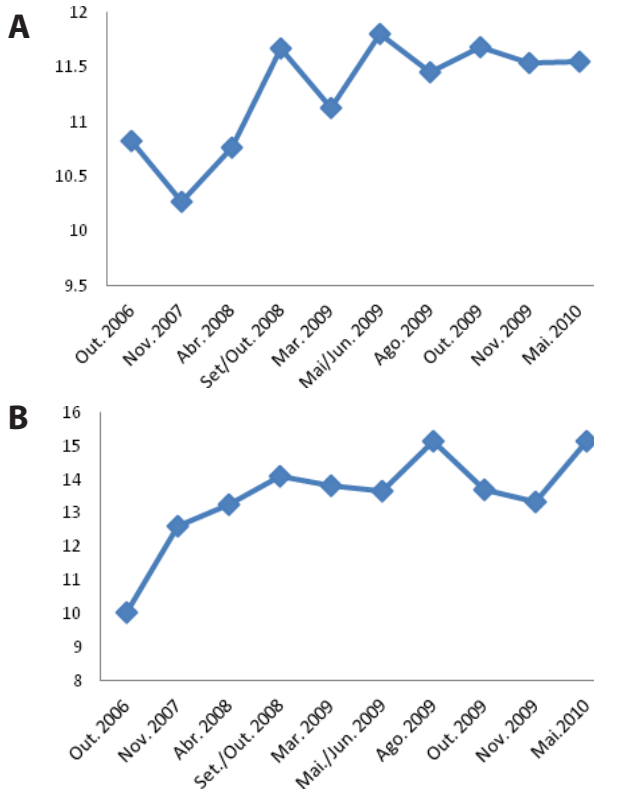


Figura 5. A Valores médios do fator de condição isométrico para exemplares de *P. kronei* coletados na Caverna Areias de Cima entre 2006 e 2010. B. Valores médios do fator de condição alométrico para esses exemplares.

e comprimento-padrão, para comparação com as modas obtidas por Trajano (1987).

Para estimar a taxa de crescimento individual, aplicou-se a equação de von Bertalanffy: $Lt = L\infty\ (1\text{-}e^{-kt})$, onde Lt = comprimento relativo à idade t; L∞ = comprimento médio máximo (assintótico); K = parâmetro de correlação (Trajano, 1987).

Resultados

Distribuição de freqüência de comprimento-padrão, peso e fator de condição

A distribuição das freqüências de comprimento-padrão no total dos bagres cegos capturados na Caverna Areias de Cima está representada na Figura 3, onde se pode observar a existência de duas modas, uma na faixa de 10,5 a 10,9 cm e outra de 11,0 a 11,4 cm.

Para a distribuição de freqüências de peso, também foram registradas três modas, nas faixas de 3 - 7 g, 8 - 12 g e 13 – 17 g (Fig. 4).

Dos valores médios do fator de condição de isométrico obteve-se o gráfico na Figura 5A. Os resultados da estimativa alométrica foram bastante distintos da estimativa isométrica. Nota-se que o gráfico na Figura 5B é quase linear, com seus valores muito acima do observado na Figura 5A.

Deslocamentos

Na caverna Areias de Cima, foi coletado um total de 159 indivíduos, dos quais 119 foram marcados, sendo oito exemplares de *P. transitoria* e 111 de *P. kronei*. A maior parte dos peixes estava no Córrego Grande, com cerca de 40% do de exemplares de *P. kronei* e 37,5% dos exemplares de *P. transitoria* capturados durante todo o estudo, o que representa uma abundância muito maior do que em todos os outros pontos de coleta.

Dentre os 108 bagres cegos marcados, 24 foram recapturados uma vez e cinco, duas vezes, perfazendo um total de 34 recapturas. Não foi recapturado nenhum exemplar de *P. transitoria*. Dessas 34 recapturas, em 14 o exemplar havia se deslocado em relação à captura anterior,

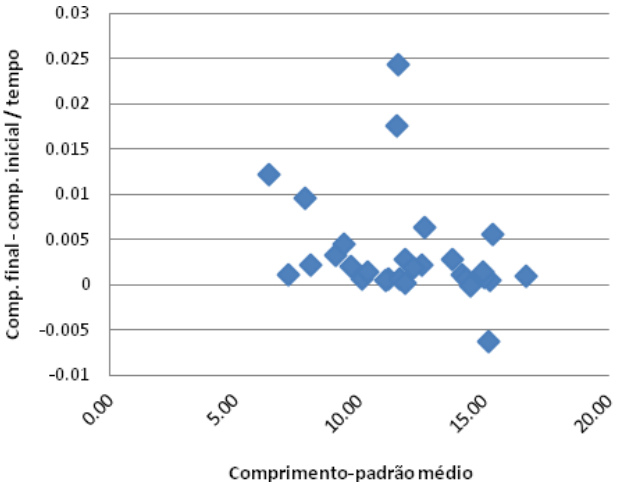


Figura 6. Crescimento individual diário de exemplares de P. kronei no habitat (em mm).

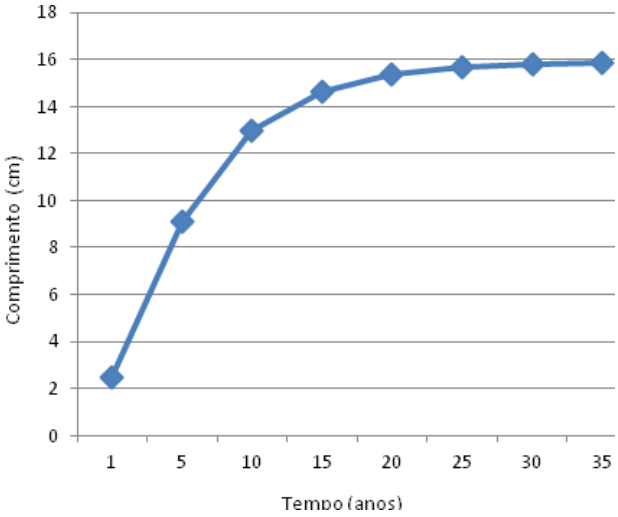


Figura 7. Curva transformada de crescimento pelo modelo de Von Bertalanffy.

sendo que cinco indivíduos mudaram de um rio para o outro, sendo 1 do Córrego Grande para o Rio das Areias e 4 na direção oposta. Dos peixes coletados no Rio das Areias, oito foram recapturados rio acima (sentido Córrego Grande); entre aqueles exemplares coletados no Córrego Grande, dois foram recapturados à jusante da primeira coleta e os demais não se deslocaram. Em apenas três casos, os bagres cegos coletados no Rio das Areias foram recapturados rio abaixo em relação à captura anterior, nos outros oito casos, os peixes foram recapturados à montante da primeira captura.

Crescimento individual

No presente estudo, verificou-se que os indivíduos de *P. kronei* da Caverna Areias de Cima mostraram valores de crescimento diário altamente flutuantes (Fig. 6), variando de -0,0062 a 0,024 mm, com um crescimento médio diário de 0,0286 mm e variando de -0,186 a 0,729 mm/mês, ou ainda, um crescimento anual entre -2,26 e 8,86 mm/mês. Assim, o crescimento mensal estimado para *P. kronei* é de 0,858 mm e o crescimento anual é de 10,4 mm.

A partir da equação de Von Bertalanffy (Fig. 7),obteve-se os valores de L∞ = 15,88 cm (comprimento médio máximo) e K = 0,176 (parâmetro relacionado à taxa de crescimento anual) para a Caverna Areias de Cima e primeiros 600 m da de Baixo. Esses valores equivaleriam a um crescimento diário de aproximadamente 0,000482 cm.

A curva de crescimento calculada pelo modelo de Von Bertalanffy presume que peixes com 15,88 cm teriam aproximadamente 30 anos de idade. No entanto, se observarmos os valores da primeira e última captura de cada indivíduo, nota-se que, o crescimento dos indivíduos é heterogêneo, de modo que a longevidade estimada pelo modelo de Von Bertalanffy estaria superestimada quando se considera a média da população - tal longevidade seria para os indivíduos com as maiores taxas de crescimento, assumindo-se que este fosse mantido continuamente.

Discussão

A distribuição de frequências do comprimento-padrão em Pavan (1945) mostra uma moda bem destacada na faixa de 10,0-11,0 cm, a qual não apareceu no estudo de Trajano (1987). Esta autora obteve uma distribuição de comprimentos tipicamente unimodal, com moda na faixa de 13,0 a 13,4 cm, coincidindo com a segunda moda (menos frequente) de Pavan (*op. cit.*). Associada às coletas excessivas de bagres cegos testemunhada por E. Trajano na década de 1970, a ausência da primeira moda de Pavan levou essa autora a concluir que tais coletas teriam provocado um declínio populacional acentuado, com prejuízo aos bagres que teriam nascido naquele período (e que, na década de 1980, estariam com 10,0 – 11,0 cm de comprimento).

No presente trabalho, observamos modas em faixas diferentes de comprimento, sendo as principais (10,5 – 10,9 e 11,0 – 11,4 cm) na faixa de Pavan e uma secundária (14,0 – 14,5 cm) próxima, porém com valores 1 cm superiores, à moda de Trajano. Uma terceira moda foi, ainda, detectada no presente trabalho, na faixa de 7,0 – 7,4 cm, possivelmente correspondendo a animais recrutados nos últimos 5-10 anos.

O presente estudo indica que, mais de 20 décadas após seu declínio, a população de bagres cegos das Areias recuperou a estrutura de distribuição de tamanhos (é difícil correlacionar com estrutura etária em virtude do crescimento heterogêneo) e vem se reproduzindo em taxas superiores às das décadas de 1970-1990.

Trajano registrou duas modas para freqüência de peso, nas faixas de 8 – 12 g e 18 – 22 g; esta segunda aproxima-se de uma das modas do presente. Nesta faixa de peso, estão indivíduos com comprimento-padrão na moda de 9-10 cm, e aqueles com peso entre 28 e 32 g tem tamanho na moda de 13,5 – 13,9 cm. Por outro lado, em geral animais pesando entre 3 e 7 g tem cerca de 7 cm, que não corresponde a nenhuma moda de comprimento observada neste estudo. Isto é consistente com a alometria no crescimento em peso, que tende a acelerar ao longo da vida.

No caso dos fatores de condição alométricos na população da Areias de Cima, o valor médio mensal mais baixo foi de 10,03, observado em outubro de 2006, e o mais alto foi de 15,11, para agosto de 2009, consistentemente com a ausência de sazonalidade nesse ano. Para a Caverna Areias de Baixo, estudada basicamente em 2009, também não houve grande variação (20,2 – 20,7). Nota-se aqui que o efeito da maior disponibilidade de alimento sobre o fator de condição demora certo tempo para se manifestar – após um período de cheia com alimento abundante, os animais levariam alguns meses para engordar. Por outro lado, o aumento no grau de engorda (refletido no fator de condição), pode manter-se nos primeiros meses da estação seca, como observado para o mês de maio.

Em resumo, acredita-se que, após mais de 25 anos do estudo de Trajano, a população esteja mais estável e mostrando sinais de recuperação, conforme indicado pelo reaparecimento das faixas de distribuição de peso e de comprimento-padrão que haviam sido registradas por Pavan (1945).

Mesmo considerando-se as diferenças de tamanho, os valores do fator de condição em *P. kronei* estão bem acima dos observados para a outra espécie de *Pimelodella* troglóbia, *P. spelaea*, da área cárstica de São Domingos, Alto Tocantins, GO. Esta última apresentou modas de comprimento-padrão entre 60 e 75 cm, correspondendo a valores de fator de condição alométrico entre 3,5 e 4,5 (Trajano *et al.*, 2004), bem abaixo dos menores valores para os menores exemplares de *P. kronei* examinados, os quais estão na faixa de tamanho de *P. spelaea*. Ou seja, estes últimos são bagres muito mais delicados, possivelmente em função da maior escassez alimentar, com períodos de extrema carência. Por outro lado, os valores de fator de condição calculados para outro heptapterídeo troglóbio, *Rhamdia enfurnada* (E.Trajano, dados não publicados), do sul da Bahia, também sujeita a forte sazonalidade climática, estão apenas um pouco abaixo dos de *P. kronei*, talvez refletindo a maior robustez dos bagres desse gênero.

Trajano (1987) observou que cerca de 20% dos animais recapturados foram registrados em locais diferentes da captura anterior, enquanto que, no presente estudo, essa porcentagem esteve em torno de 50%. Esta maior porcentagem pode ser explicada, novamente, pelo fato de 2009 ter sido um ano particularmente chuvoso, favorecendo deslocamentos pela conexão de corpos d´água que ficam isolados a maior parte do tempo em épocas normais – devido às fortes chuvas frequentes durante todo o ano de 2009 e, consequentemente, a elevação do nível dos rios Areias e Córrego Grande, houve a conexão entre os rios existentes na Caverna Areias de Cima, o que possibilitou o deslocamento de vários peixes de um rio para o outro em algumas ocasiões.

As recapturas registradas à jusante da captura anterior incluem animais carreados de forma passiva pelo arrasto da correnteza, ou ainda animais ativos, mas que despendem de pouco gasto energético para esse deslocamento, ao passo que recapturas à montante sempre denotam um deslocamento ativo. Portanto, acredita-se que esses peixes tenham uma forte tendência a subir o rio, provavelmente para reprodução, uma vez que foi observado um poço bem a montante no Córrego Grande com muitos exemplares pequenos (1 – 2 cm). Outra possibilidade seria a existência de uma maior disponibilidade de alimento nestes locais, uma vez que, quanto mais os animais sobem o rio, mais próximos eles ficam do sumidouro externo, entrada de alimento alóctone (epígeo) na caverna. O grande número de exemplares pequenos nos dá evidências de reprodução freqüente, fato não observado pela autora na década de 1980, provavelmente em conseqüência do impacto detectado na época.

Quanto ao crescimento individual, Trajano (1987) observou que, em 79,5% dos casos, foram obtidos valores de L*t inferiores a 0,017 mm/dia. Para apenas seis peixes (8,2%), esse crescimento foi superior a 1 mm/mês (sendo que três deles frequentaram a região da entrada, onde há maior disponibilidade de alimento). No presente estudo, que abrangeu também estações chuvosas, de maior dispo-

nibilidade de alimento, verificou-se, dentro do esperado, taxas maiores de crescimento médio (0,028 mm/dia). Trajano (1987), supôs que os valores negativos correspondiam a erros de medida. Estudos posteriores abordando outras espécies troglóbias mostraram que crescimento negativo é um fato, que pode ser comum durante estações secas com grande limitação de alimento, como observado para *Trichomycterus itacarambiensis* (Trajano, 1997b) e *R. enfurnada* (E. Trajano, dados não publicados). Ou seja, as taxas médias reais de crescimento de *P. kronei* à época de Trajano foram ainda menores que o indicado pelos valores registrados pela autora (Trajano, 1991).

Aplicando a equação de Von Bertalanffy, Trajano (1991) encontrou os seguintes valores: L = 15,4 cm e K = 0,0898, os quais se aplicam para crescimento na estação seca. Os valores presentemente obtidos estão mais próximos à realidade, pois o estudo abrangeu indivíduos que passaram por uma ou mais estações chuvosas, além de terem sido marcados exemplares menores do que os estudados por Trajano. Por outro lado, quase todos os exemplares coletados na Areias de Baixo apresentaram crescimento diário negativo, possivelmente por se tratarem de bagres relativamente grandes, que estariam no limite de desenvolvimento, onde a curva de crescimento de Von Bertalanffy tende à assíntota.

O modelo de Von Bertalanffy deve ser tomado com certas restrições em virtude de crescimento tão heterogêneo, com muitos casos de crescimento negativo, que parece ser comum em populações de peixes troglóbios; consequentemente há uma dispersão muito grande dos pontos em torno da curva média. A equação de Von Bertalanffy aplicada à população de *P. kronei* presentemente estudada nos levaria a uma longevidade média de 30 anos, considerando-se que o crescimento seria homogêneo. No entanto, encontramos animais com mais de 18 cm de comprimento-padrão e essa mesma equação nos levaria a uma longevidade de mais de 100 anos, o que não seria razoável. A estimativa de 30 anos ou mais se aplicaria a exemplares com taxas de crescimento acima da média. Acreditamos que uma longevidade média na faixa de 15-20 anos (de qualquer modo, acima da estimada por Trajano, 1991 – 10-15 anos) esteja mais próxima da realidade.

Conclusões

1. A população de *P. kronei* do Sistema das Areias mostra sinais de estabilidade e recuperação da estrutura populacional.

2. As medidas de proibição da visitação turística parecem ter sido essenciais para a conservação da população de bagres cegos das Areias e devem permanecer efetivamente.

3. Assim como outras espécies de peixes troglóbios, *P. kronei* aresenta crescimento individual altamente heterogêneo, com casos de crescimento negativo.

4. Estudos de longo prazo permitem uma estimativa mais realista de parâmetros populacionais.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas biólogos pelo auxílio em campo, em especial a Kate Pereira Maia, Bruno Fernandes Takano e Sandro Secutti; à CAPES-PROAP, pelo auxílio financeiro.

Referências

Balon EK. 1990. Epigenesis of an epigeneticist: the development of some alternative concepts on the early ontogeny and evolution of fishes. Guelph Ichthyol. Rev. 1, 1-42

Culver DC. 1982. Cave life: Evolution and Ecology. Cambridge: Harvard University Press, 189 pp.

Pavan C. 1945. Os peixes cegos das cavernas de Iporanga e a evolução. Boletim Faculdade de Filosofia Ciências e Letras. Universidade de São Paulo, 79. Biologia Geral 6, 1 – 104.

Trajano E. 1987. Biologia do bagre cavernícola, *Pimelodella kronei*, e de seu provável ancestral, *Pimelodella transitoria* (Siluriformes, Pimelodidae). São Paulo: Instituto de Biociências Tese de Doutorado, 211 pp.

Trajano E. 1991. Populational ecology of *Pimelodella kronei*, troglobitic catfish from southeastern Brazil (Siluriformes, Pimelodidae). Env. Biol. Fish. 30: 407-21.

Trajano E, Britski HA. 1992. *Pimelodella kronei* (Ribeiro, 1907) e seu sinônimo *Caecorhamdella brasiliensis* Borodin, 1927: Morfologia externa, taxonomia e evolução (Teleostomi, Siluriformes). Bol. Zool. 12, 53-89.

Trajano E. 1997a. Threatened fishes of the World: *Pimelodella kronei* (Ribeiro, 1907) (Pimelodidae). Env. Biol. Fish. 49, 332.

Trajano E. 1997b. Population ecology of *Trichomycterus itacarambiensis*, a cave catfish from eastern Brazil (Siluriformes, Trichomycteridae). Environmental Biology of Fishes 50, 357-369.

Trajano E. 2001. Ecology of subterranean fishes: an overview. Environmental Biology of Fishes. 62 (1-3): 133–160.Trajano, E., Guil, A. L. F. e Silva, A. M. (2007). O bagre cego de Iporanga, *Pimelodella kronei*, p. 55 – 68. In: Trajano. E. (org) Sistema Areias: *100 anos de estudos*. Redespeleo Brasil, 125p.

Trajano E, Guil ALF, Silva AM. 2007. O bagre cego de Iporanga, Pimelodella kronei. P. 55 - 68. In. Trajano E. (org.) Sistema Areias: 100 anos de estudos. Redespeleo Brasil. 125 p.

Trajano E, Reis RE, Bichuette ME. 2004. *Pimelodella spelaea*, a new cave catfish from Central Brazil, with data on ecology and evolutionary considerations (Siluriformes: Heptapteridae). Copeia 2004(2), 315-325

Vazzoler AEA. 1996. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. Maringá: EDUEM/CNPq/Nupelia, 169 pp.

Revista da Biologia (2013) 10(02): 40–45
DOI: 10.7594/revbio.10.02.07

Artigo

Ecologia populacional e conservação de eglídeos (Crustacea: Decapoda: Aeglidae) em cavernas da área cárstica do Alto Ribeira, em São Paulo.

Population ecology and conservation of aeglids (Crustacea: Decapoda: Aeglidae) in caves from the Alto Ribeira karstic area, São Paulo

Kate P. Maia*, Sérgio L.S. Bueno, Eleonora Trajano
Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

*Contato do autor: kate.spirogyra@gmail.com

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Resumo. Investigações de campo realizadas em 2009 objetivaram a determinação do tamanho populacional de três espécies troglóbias (*Aegla microphthalma* da Caverna Santana, *A. cavernicola* da Caverna Areias de Baixo e *A. leptochela* da Gruta dos Paiva) e uma troglófila (*A. marginata* de duas localidades: Gruta dos Paiva e Gruta Barra Bonita) de eglídeos da região cárstica do Alto Ribeira, por meio das técnicas de censo visual (todas as cavernas) e marcação-e-recaptura (apenas na Gruta dos Paiva). Os resultados foram comparados com dados populacionais anteriores obtidos em 1994 para as mesmas espécies e localidades. *Aegla marginata* não mais foi encontrada na Gruta Barra Bonita e nenhum exemplar de *A. microphthalma* foi tampouco avistado na Caverna Santana. Apenas treze exemplares de *A. cavernicola* foram observados na Caverna Areias de Baixo. Apenas na Gruta dos Paiva foi coletado número suficiente de indivíduos das espécies sintópicas, *A. leptochela* e *A. marginata*, que permitisse estimar o tamanho da população destes eglídeos. Os valores obtidos indicam que houve um drástico declínio populacional destas espécies no interior da caverna em comparação com dados pretéritos.
Palavras-chave. *Aegla; Troglóbios; Ecologia populacional; Marcação e recaptura; Conservação.*

Abstract. Exploratory field surveys were carried out in 2009 to estimate the population size of three troglobitic (*Aegla microphthalma* from Santana Cave, *A. cavernicola* from Areias de Baixo Cave and *A. leptochela* from Paiva Cave) and one troglophile aeglid species (*A. marginata* from Paiva Cave and Barra Bonita Cave) from the karst region of the Alto Ribeira by means of visual census (all caves) and mark-recapture technique (Paiva Cave only). Results were compared with previous population size data obtained in 1994 for the same species and respective localities. *A. marginata* was no longer found at the Barra Bonita Cave and no *A. microphthalma* specimens were eye-spotted at the Santana Cave. Thirteen specimens of *A. cavernicola* were found at the Areias de Baixo Cave. Only Paiva Cave provided enough number of individuals of the co-existing aeglids *A. leptochela* and *A. marginata* produced significant population size estimates, which indicated a sharp decline of the cave dwelling population size of both species as compared to previous data.
Keywords. *Aegla; Troglobites; Population ecology; Mark-recapture; Conservation.*

Introdução

Os animais que habitam o biótopo subterrâneo podem ser divididos nos seguintes grupos: 1. trogloxenos: animais que, apesar de viverem parte de suas vidas no meio subterrâneo, necessitam retornar ao meio epígeo para completar seu ciclo de vida; 2. troglófilos: aqueles que podem completar seu ciclo de vida em qualquer um dos dois ambientes (subterrâneo e da superfície); e 3. troglóbios: espécies que vivem exclusivamente no meio subterrâneo, geralmente apresentando especializações associadas à vida cavernícola, denominadas troglomorfismos (Trajano e Bichuette, 2006). Devido a limitações espaciais dos hábitats subterrâneos e à escassez de alimento, as populações desse ambiente são geralmente pequenas (Poulson, 1964; Barr Jr., 1968; Trajano, 1991).

O gênero *Aegla* Leach, 1820 (Decapoda: Anomura) pertence à família Aeglidae Dana, 1852 e é encontrado exclusivamente em ambientes de água doce. Contém cerca de 70 espécies descritas e distribuídas apenas nas regiões temperada e subtropical do continente sul-americano (Bond-Buckup *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2009; Bond-Bu-

ckup *et al.*, 2010).

Na região cárstica do Alto Ribeira são conhecidas sete espécies de eglídeos (Bond-Buckup e Buckup, 1994). As espécies *A. microphthalma* Bond-Buckup & Buckup, 1994, *A. leptochela* Bond-Buckup & Buckup, 1994 e *A. cavernicola* Türkay, 1972 são troglóbias e endêmicas na Caverna Santana, Gruta dos Paiva e Areias de Baixo respectivamente. Estas espécies apresentam diferentes graus de troglomorfismo, como a redução de olhos (pela diminuição no número de omatídeos) e da pigmentação, como tipicamente observado em *A. microphthalma* (Bond-Buckup e Buckup, 1994; Alves Jr., 2007). No ano de 2006, as espécies troglóbias referidas acima, constavam da Lista Nacional de Espécies de Invertebrados Aquáticos e Peixes Ameaçadas de Extinção, divulgada pela Fundação Nacional do Meio Ambiente, por ocasião da publicação da chamada 1 do edital FNMA nº 02/2006 sobre a elaboração de planos de recuperação para espécies de peixes e invertebrados aquáticos ameaçadas de extinção. Na lista da Fauna Ameaçada no Estado de São Paulo (Série PROBIO/SP, 1998), *A. microphthalma* consta como "Criticamente Ameaçada". As outras duas espécies troglóbias, *A. cavernicola* e *A. leptochela,* foram incluídas como "Vulneráveis", tendo em vista a fragilidade intrínseca dos troglóbios (Trajano, 2000).

Através deste trabalho procurou-se monitorar essas populações de eglídeos com o intuito de verificar se houve alteração em seu tamanho populacional, mediante comparação com o estudo realizado por Moracchioli (1994). Os objetivos específicos do presente estudo foram: estimar o tamanho e as densidades populacionais de *A. cavernicola*, *A. microphthalma* e *A. leptochela*; estimar o tamanho e densidade das populações da espécie troglófila de *A. marginata* Bond-Buckup & Buckup, 1994 das grutas dos Paiva e Barra Bonita.

Área de estudo

O Vale do Alto Rio Ribeira, sul de São Paulo, é uma das últimas reservas florestais do Estado de São Paulo. As cavernas monitoradas situam-se em dois parques estaduais contíguos, o Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), e o Parque Estadual Intervales (PEI). No primeiro, foram visitados a Caverna Santana, com mais de 5.700m de comprimento e aberta à visitação de turistas, e os primeiros 1200 m da Areias de Baixo, fechada para visitação. No PEI foram visitadas a Gruta da Barra Bonita, uma pequena gruta com cerca de 140 m, que atravessa o morro e é percorrida por um pequeno riacho intermitente, e a Gruta dos Paiva, com 2.880 m de desenvolvimento, a maior da região do PEI e frequentemente visitada por turistas.

Métodos

Durante o ano de 2009, foram realizadas incursões aproximadamente a cada 45 dias ao PETAR resultando em sete visitas, e aproximadamente a cada dois meses para o PEI, resultando em outras quatro viagens.

Foram utilizados dois métodos para estimar o tamanho das populações, os quais foram previamente empregados em estudos de peixes troglóbios (Trajano, 2001), e também de populações de *Aegla* (Moracchioli, 1994). O primeiro consiste no Censo Visual no qual, antes do posicionamento das armadilhas, é realizada uma inspeção visual ao longo do rio e os exemplares avistados e/ou capturados são contados. Apesar do Censo Visual ter sido realizado nas quatro cavernas estudadas, a estimativa do tamanho populacional com base nesses dados pode apenas ser realizada na Gruta dos Paiva uma vez que nenhum ou poucos eglídeos foram avistados nas outras cavernas. A Gruta dos Paiva, foi separada em três trechos de acordo com características do hábitat. O número de indivíduos avistados ou coletados em um determinado trecho foi dividido pelo valor da área (em m^2) desse trecho, obtendo-se assim uma densidade populacional para cada trecho. Nessa estimativa foram considerados apenas os indivíduos adultos com tamanho mínimo de 11,6 mm da carapaça, incluindo o rostro (em referência ao tamanho da menor fêmea ovígera amostrada). Extrapolando a densidade populacional média à área total do percurso subterrâneo do rio, foi obtida uma estimativa do tamanho total da população.

O segundo método, Marcação e Recaptura, que consiste na coleta, marcação e soltura dos indivíduos adultos, visando a sua recaptura em um novo evento de amostragem, também foi utilizado apenas na Gruta dos Paiva. Esta caverna foi dividida em oito transectos de tamanhos desiguais (Fig. 1), ao longo dos quais foram distribuídas 20 armadilhas. As armadilhas iscadas eram do tipo covo e foram empregadas de acordo com técnica e recomendações descritas em Bueno *et al.* (2007). Em complementação às coletas nas armadilhas, procurou-se capturar todos os indivíduos avistados, para fins de confirmação da iden-

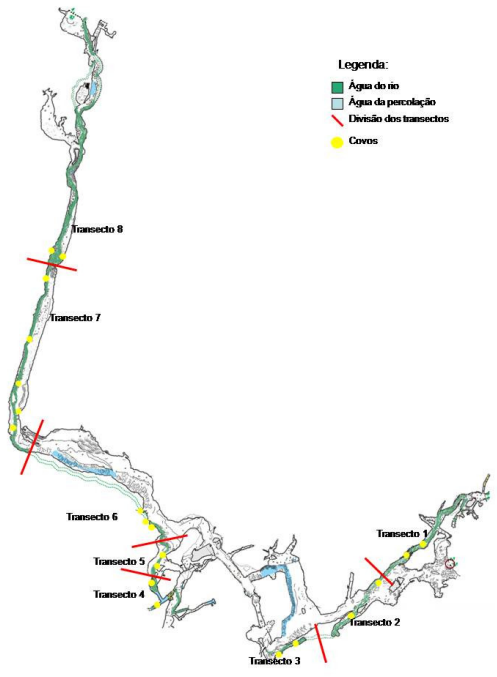


Figura 1. Mapa em planta do trecho de rio (cerca de 1.500 m) na Gruta dos Paiva, dividido por transectos e mostrando distribuição dos covos.

tificação (*A. marginata* ou *A. leptochela*) e marcação.

Os indivíduos capturados na Gruta dos Paiva, por quaisquer dos métodos, tiveram sua carapaça marcada, utilizando-se a técnica sugerida por Abrahamsson (1965) e adotada em eglídeos por Moracchioli (1994), no qual são realizadas marcas em pontos diversos por cauterização a quente, de acordo com um código numérico pré-definido. Cada indivíduo recebeu uma marca específica e correspondente a um número (Fig. 2). Para a marcação, foi utilizado um alfinete com sua cabeça aquecida ao rubro (Fig. 3). O reconhecimento dos indivíduos é possível por um longo período de tempo uma vez que as marcas permanecem visíveis mesmo após estes sofrerem de uma a três ecdises sucessivas (Abrahamsson, 1965). Em eglídeos adultos as ecdises ocorrem a cada três ou quatro meses

Figura 2. Exemplar de *A. marginata* com marca individual.

Figura 3. Marcação de exemplar de *A. marginata*, pelo método de cauterização a quente utilizando agulha aquecida ao rubro.

(Moracchioli, 1994).

Também foi determinado o sexo dos indivíduos, através da localização dos poros genitais (coxa do 3º par de pereiópodos nas fêmeas) e do desenvolvimento dos pleópodos nas fêmeas, uma vez que este último caráter encontra-se ausente ou rudimentar nos machos de qualquer faixa etária (Martin e Abele,1988). Após essas anotações os indivíduos marcados foram devolvidos ao local específico de coleta.

Os dados da marcação e recaptura foram utilizados para a estimativa do tamanho das populações através do método "Triple-Catch" (Begon, 1979), que é utilizado em estudos nos quais foram realizados três eventos de coleta. Uma vez que foram realizadas quatro coletas (A, B, C e D), foram feitos, dois "Triple-Catch": um usando as coletas A, B e C, e outro usando B, C e D.

Resultados

Apesar da realização de censos visuais e posicionamento dos covos nas cinco primeiras visitas na caverna Areias de Baixo, nenhum exemplar de *Aegla cavernicola* foi encontrado no trecho percorrido de aproximadamente 600 m. Na terceira e quarta expedições, foram encontrados vestígios do uso de sabão no pequeno trecho epígeo de rio entre as cavernas Areias de Cima e Areias de Baixo, inclusive com sabonetes lá deixados. Nas duas últimas incursões realizadas, adentrou-se mais na caverna, transpondo um sifão localizado a aproximadamente 700 m da entrada. Na primeira destas incursões foram avistados sete indivíduos de *A. cavernicola* após o sifão, onde foram posicionadas quatro armadilhas, que não capturaram nenhum indivíduo. Na última incursão, foram avistados outros seis exemplares da mesma espécie.

A caverna Santana, localizada no PETAR (localidade-tipo de *A. microphthalma*) e onde foram realizados dois censos visuais de eglídeos, foi capturado apenas um indivíduo, provavelmente de *Aegla schmitti* Hobbs III, 1979, a cerca de 1000 m da entrada. Esta espécie forma populações epígeas numerosas na região, cujos indivíduos podem transitar livremente entre os meios epígeo e hipógeo.

Para a Gruta da Barra Bonita, no PEI, foram realizadas duas expedições. Em ambas o nível do riacho na caverna estava muito baixo, não sendo avistado nenhum indivíduo da espécie *A. marginata*, previamente registrada nessa localidade.

Na Gruta dos Paiva, para diferenciar as duas espécies residentes, os caracteres utilizados em campo por Moracchioli (1994) foram: a diferença de coloração, sendo a *A. marginata* marrom-acinzentada e a *A. leptochela* creme-alaranjada; a maior robustez corpórea em *A. marginata* comparada com o corpo alongado em *A. leptochela*; e também redução da córnea em *A. leptochela*. Em condições de trabalho no campo, porém, a variação na coloração observada entre as duas espécies e a redução da área pigmentada da córnea de *A. leptochela*, por vezes não permitiram uma separação confiável das espécies devido à variação apresentada entre os exemplares, gerando sobreposições e dificuldades de interpretação. O reconhecimento das espécies só foi possível entre os exemplares machos adultos, e baseou-se na observação do grau de desenvolvimento da palma do par de quelas do primeiro pereiópodo, sendo inflada em *A. marginata* e delgada em *A. leptochela* (ver Bond-Buckup e Buckup 1994 para maiores detalhes).

Na estimativa populacional, mediante o uso de Censo Visual realizado em área equivalente a 755 m² e no qual foram utilizados apenas indivíduos adultos de ambas as espécies e sexos, a densidade calculada para cada um dos

três trechos da caverna foram 0,48 indivíduos/m²; 0,24 indivíduos/m² e 0,27 indivíduos/m² para os trechos 1, 2 e 3, respectivamente. A média das densidades é de 0,33 indivíduos/m². Considerando-se este valor médio de densidade, o tamanho estimado da população de *Aegla* adultas das duas espécies dentro da área de trabalho do rio da Gruta dos Paiva foi de 249 indivíduos.

Para o método de marcação e recaptura, em decorrência da dificuldade inicial de diferenciar as fêmeas adultas das espécies troglóbia *A. leptochela* e troglófila *A. marginata*, o método de estimativa populacional não pode ser aplicado para a população de cada uma das duas espécies separadamente. Dessa forma, o método foi aplicado a três situações: adultos totais (de ambas as espécies), machos adultos totais (ambas as espécies), e machos adultos de *A. marginata,* ou seja, excluídos os machos adultos de quelas estreitas (caráter atribuído à espécie *A. leptochela*).

A tabela 1 sumariza os tamanhos populacionais estimados para os três casos já citados, assim como as estimativas para os tamanhos das populações de fêmeas de ambas as espécies e de machos de *A. leptochela*. Essas duas últimas estimativas são resultado das diferenças entre o número de adultos totais e machos totais, e de machos totais e machos de *A. marginata*, respectivamente.

Tabela 1. Tamanhos populacionais estimados com o método "Triple-Catch". Julho 2009: coletas A, B e C; setembro 2009: coletas B, C e D.

	Julho	Setembro
Adultos totais	136	475
Machos totais	62	45
Fêmeas totais	74	430
Machos *Aegla marginata*	58	35
Machos *Aegla leptochela*	4	10

A densidade das populações combinadas das duas espécies foi baixa na área de trabalho (755 m²), variando de 0,18 a 0,63 indivíduos/m² nas duas estimativas integralizadas pelo método "Triple-Catch" e referentes a julho e setembro, respectivamente. Os valores populacionais estimados para cada sexo evidenciaram uma predominância de fêmeas totais em relação ao total de machos, tendo sido esta diferença mais expressiva no período correspondente à estimativa de setembro, quando as fêmeas representaram 90,5% do tamanho estimado da população combinada das duas espécies.

Ainda com relação à população combinada de adultos das duas espécies, a densidade populacional de machos de *A. leptochela* foi muito baixa, tendo variado de 0,005 e 0,013 indivíduos/m² em julho e setembro, respectivamente. Estes valores foram bem inferiores aos obtidos para machos de *A. marginata* (0,08 e 0,05 indivíduos/m²) para os mesmos períodos.

Considerando-se apenas os exemplares machos, a predominância observada de *A. marginata* sobre *A. leptochela* foi marcante, tendo a primeira espécie representado 93,5% (58 de 62) e 77,8% (35 de 45) dos indivíduos deste sexo nas estimativas de julho e setembro, respectivamente.

Discussão

O presente estudo confirma a grande dificuldade em encontrar exemplares de *A. michophthalma* na Caverna Santana, local onde a espécie é endêmica, o que já havia sido registrado por Moracchioli (1994). Com aproximadamente 5.700 m de extensão, a galeria principal da Caverna Santana é percorrida pelo rio Roncador, afluente do rio Betari, bacia do rio Ribeira do Iguape (Moracchioli, 1994), com largura média em torno de 4 metros, variando entre faixas de condutos estreitos e profundos e faixas largas e rasas (S. Bueno, observação pessoal). Considerando-se tais dimensões, a área máxima de ocupação disponível para *A. microphthalma* seria estimada em 22.800 m², ou 0,02 km². Entretanto, este valor pode ser considerado como superestimado uma vez que a espécie é encontrada apenas na seção final da caverna (Moracchioli, 1994).

Em junho de 2007, foi realizada uma visita a essa caverna e foram distribuídas aproximadamente 20 armadilhas ao longo do rio, tendo capturado apenas um indivíduo de *A. microphthalma*, enquanto outro exemplar foi avistado no leito do rio. No entanto, vários exemplares de camarões de água doce (*Macrobrachium* sp) foram capturados nas armadilhas. É importante salientar que até a década de 1980, não eram observados habitualmente pitus na sub-bacia do Alto Rio Betari. Segundo habitantes locais, esses crustáceos teriam sido introduzidos na década de 1950, para fins recreativos, em riachos do Núcleo Caboclos do PETAR, parte da bacia do Rio Iporanga, que deságua no Rio Ribeira a jusante da foz do Betari. Assim, à hipótese de poluição por minérios proveniente da mina em atividade a montante do Rio da Caverna Santana até a década de 1980, deve ser acrescentada a hipótese de competição com os pitus, de maior capacidade reprodutiva, e também com outras espécies de eglídeos epígeos (no caso, *A. schmitti*), como possíveis explicações para a sensível diminuição observada na população de *A. microphthalma*. O declínio dessa população é realmente preocupante, pois a mesma já foi mais numerosa ao longo do comprimento do Rio Roncador, conforme observado em 1974/1975, segundo trabalho da bióloga Cecília Torres (E. Trajano, comum. pess.). Em 1994, a população já havia reduzido drasticamente, sendo estimada por Moracchioli em 12 indivíduos (Moracchioli, 1994).

De acordo com os critérios utilizados pela IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2010) para avaliação do grau de extinção de espécies, *A. microphthalma* pode ser alocada na categoria de "Criticamente Ameaçada" com base nos seguintes critérios: A4ae (redução populacional contínua detectada por observação direta, atribuída a ação antrópica e competição com outras espécies, no caso o camarão de água doce introduzido na região) e B2ab(iii,v) (área de ocupação muito reduzida e restrita à localidade-tipo, e declínio da qualidade do hábitat e do número estimado de indivíduos adultos.).

Também para a Caverna Areias de Baixo foi observada uma provável redução populacional de *A. cavernicola* nos últimos 20 anos, já que antes a população ocupava

o Rio Areias desde sua entrada (sumidouro) na Caverna Areias de Baixo, e agora se restringe à porção após o sifão. A presença de uma família, morando nas proximidades dessas duas cavernas nos últimos 20 anos, a qual utiliza a água dos rios para vários fins, como o banho, lavagem de roupas e utensílios, pode explicar o declínio dessa população, que vive a jusante do trecho de rio perturbado, não apenas por poluição como também por assoreamento devido ao desmatamento para acesso ao mesmo. *Aegla cavernicola* ocorre apenas nas cavernas contíguas Areias de Cima e Areias de Baixo, ambas integrantes do Sistema Areias e com um total de aproximadamente 5.000 metros de desenvolvimento. Considerando-se que o rio que percorre o interior destas cavernas apresenta uma largura média aproximada de 4 metros (S. Secutti, com. pessoal) a área de ocupação desta espécie equivaleria 0,02 km², assumindo uma distribuição homogênea. Pelos critérios utilizados pela IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2010), *A. cavernicola* encaixa-se na categoria de "Criticamente Ameaçada" [critérios B2ab(iii,v)] por apresentar área de ocupação reduzida, fragmentada e restrita a uma área conhecida (Sistema Areias), além do observado declínio da população em consequência do comprometimento do hábitat por ação antrópica.

No caso da população de *A. marginata* que habita a Gruta da Barra Bonita, o fato de não ter sido encontrado nenhum indivíduo provavelmente está relacionado com o baixo nível do rio que corre a caverna. Esta pode ser uma população migrante ("sink population"), composta por indivíduos oriundos de uma população fonte ("source population"), a qual, quando perde contato com esta, desaparece (Fong, 2004).

Utilizando a técnica de Marcação e Recaptura, Moracchioli (1994) estimou o tamanho da população de *A. marginata* em aproximadamente 226 indivíduos na Gruta dos Paiva. É importante salientar que o valor de densidade obtido por Moracchioli (1994) para esta espécie (1,61 indivíduos/m²) neste local é, ainda assim, bastante superior aos valores de densidade calculados (0,18 e 0,63 indivíduos/m²) no presente estudo para o total de adultos das duas populações combinadas de eglídeos sintópicos da Gruta dos Paiva.

Tendo em vista que Moracchioli (1994) não observou diferença significativa entre os valores estimados para a população de cada uma dessas duas espécies (proporção de aproximadamente um indivíduo de *A. marginata* para um de *A. leptochela*), os resultados aqui apresentados evidenciam uma redução significativa das duas populações de eglídeos nesta caverna ao longo dos últimos 15 anos, sendo que esta redução foi mais expressiva para a espécie troglóbia *A. leptochela*.

Apesar de *A. marginata* não constar da lista de espécies de eglídeos ameaçadas por apresentar uma ampla distribuição geográfica no meio epígeo (ver Bond-Buckup & Buckup, 1994 para informações sobre locais de ocorrência), a redução da população de *A. leptochela* observada na Caverna dos Paiva desperta extrema preocupação. Com 2.880 metros de desenvolvimento (Moracchioli, 1994) e com largura média aproximada de 3 metros do rio no interior da caverna (S. Bueno, obs. pess.), calcula-se que a área de ocupação de *A. leptochela* seja equivalente a 0,0086 km²). Com base nos critérios da IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2010), *A. leptochela* acomoda-se na categoria de "Criticamente Ameaçada" [critérios B2ab(iii,v)] por apresentar área de ocupação reduzida e restrita à sua localidade-tipo, e declínio da qualidade do hábitat e do número estimado de indivíduos adultos.

A expressiva variação temporal no percentual de fêmeas totais capturadas em relação aos machos (tabela 1) não encontra explicação no presente momento. Entretanto, é possível que tal variação possa estar associada a diferenças comportamentais entre os sexos em determinados momentos do ciclo de vida. Por exemplo, Cohen *et al.* (2011) observaram que fêmeas da espécie epígea *A. paulensis* Schmitt, 1942 mostram aumento significativo de atividade de deslocamento por ocasião do início do período reprodutivo, quando o acasalamento e oviposição são iminentes. A biologia reprodutiva de *A. leptochela*, ou mesmo de *A. marginata*, no interior de cavernas não é conhecida, o que impede possíveis inferências nesse sentido.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas que ajudaram em campo, especialmente à Ana Luiza F. Guil e Bruno F. Takano; à FAPESP, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica a Kate P. Maia (proc. 09/50536-9), e ao CNPq, pelas bolsas de produtividade de S.Bueno e E.Trajano. Agradecimento especial ao COTEC pela permissão de coleta no PETAR e Intervales.

Referências

Abrahamsson SAA. 1965. A method of marking crayfish *Astacus astacus* Linné in population studies. Oikos 16: 228 - 231.

Alves Júnior LB. 2007. Invertebrados aquáticos: crustáceos e gastrópodes. In: Trajano E, editor. Sistemas Areias – 100 Anos de Estudos. Redespeleo Brasil, São Paulo p106-111.

Barr Jr TC. 1968. Cave ecology and the evolution of troglobites. Evolutionary Biology 2: 35 -102.

Begon M. 1979. Investigating animal abundance. London: Edward Arnold.

Bond-Buckup G, Buckup L. 1994. A família Aeglidae (Crustacea, Decapoda, Anomura). Arquivos de Zoologia 32: 159 - 346.

Bond-Buckup G, Jara CG, Buckup L, Pérez-Losada M, Bueno APP, Crandall KA, Santos S. 2010. New species and new records of endemic freshwater crabs from the Atlantic Forest in Southern Brazil (Anomura: Aeglidae). Journal of Crustacean Biology 30: 495-502.

Bond-Buckup G, Jara CG, Pérez-Losada M, Buckup L, Crandall KA. 2008. Global diversity of crabs (Aeglidae: Anomura: Decapoda) in freshwater. Hydrobiologia 595: 267 – 273.

Bueno SLS, Shimizu RM, Rocha SS. 2007. Estimating the population size of *Aegla franca* (Decapoda: Anomura: Aeglidae) by mark-recapture technique from an isolated section of Barro Preto stream, county of Claraval, state of Minas Gerais, southeastern Brazil. Journal of Crustacean Biology 27: 553 - 559.

Cohen FPA, Takano BF, Shimizu RM, Bueno SLS. 2011. Life cycle and population structure of *Aegla paulensis* (Decapoda: Anomura: Aeglidae). Journal of Crustacean Biology 31:

389-395.
Fong DW. 2004. Intermittent pools at headwaters of subterranean drainage basins as sampling sites for epikarst fauna. In Jones WK, Culver DC, Herman JS, editors. Proceedings of the Symposium Held. Karst Waters Institute. Shepherdstown p114-188.
IUCN Standards and Petitions Subcommittee. 2010.Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 8.0 http://intranet.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/RedListGuidelines.pdf.
Martin JW, Abele LG. 1988. External morphology of the genus *Aegla* (Crustacea: Anomura: Aeglidae). Smithsonian. Contribution to Zoology 453: 1 - 46.
Moracchioli N. 1994. Estudo da Biologia de *Aegla spp.* Cavernicolas do Vale do Alto Ribeira, São Paulo (Crustacea: Anomura: Aeglidae). Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, USP, São Paulo.
Poulson TL. 1964. Animals in aquatic environments: animals in caves. In: Dill DB, editor. Handbook of physiology, sections 4: adaptation to the environment. Washington, American Phisiological Society. Cap. 47, p749-71.
Santos S, Bond-Buckup G, Pérez-Losada M, Bartholomei-Santos ML, Buckup, L. 2009. *Aegla manuinflata*, a new species of freshwater anomuran (Decapoda: Anomura: Aeglidae) from Brazil, determined by morphological and molecular characters. Zootaxa 2088: 31-40.
Trajano E. 1991. Populational ecology of *Pimelodella kronei*, troglobitic catfish from southeastern Brazil (Siluriformes, Pimelodidae). Environmental Biology of Fishes 30: 407 - 421.
Trajano E. 2000. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: Composition, ecology and conservation. Biotropica 32: 882 - 893.
Trajano E. 2001. Ecology of subterranean fishes: an overview. Environmental Biology of Fishes 62: 133 - 160.
Trajano E, Bichuette ME. 2006. Biologia Subterrânea - Introdução. Redespeleo Brasil, São Paulo.

Revista da Biologia (2013) 10(02): 46–51
DOI: 10.7594/revbio.10.02.08

Revisão

Morfologia e ecologia sensorial em aracnídeos troglóbios: perspectivas para a espeleobiologia brasileira

Morphology and sensory ecology in troglobite arachnids: perspectives for the Brazilian speleology

Rodrigo Hirata Willemart, Bruna Gomes Taques
Laboratório de Ecologia Sensorial e Comportamento de Artrópodes (LESCA), Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, Brasil

Contato do autores: willemart@usp.br ; bruna@usp.br

Resumo. Neste texto nós discutimos as relações existentes entre a ecologia sensorial e o estudo de aracnídeos cavernícolas. Como a ecologia e comportamento de determinada espécie depende diretamente dos estímulos do ambiente aos quais ela responde e por sua vez isso depende das estruturas sensoriais que ela possui, é fundamental entender aspectos morfológicos dos animais. Ressaltamos, então, alguns dos troglomorfismos conhecidos no grupo e discutimos questões interessantes a serem investigadas. Trabalhos sobre comportamento de aracnídeos troglóbios podem ser mais difíceis de realizar devido a sua baixa abundância, enquanto estudos morfológicos tipicamente apresentam menos obstáculos. Deve-se levar em conta também que as teorias da seleção natural e sexual podem gerar previsões distintas sobre diferenças entre epígeos e troglóbios próximos filogeneticamente, o que traz importantes implicações sobre a compreensão da ecologia sensorial de determinada espécie. Os vários levantamentos de fauna cavernícola feitos no Brasil, combinados com a literatura elencada neste trabalho, auxiliam os interessados em iniciar projetos nesta área.
Palavras-chave. *Arachnida; Espeleobiologia; Estruturas sensoriais; Mecanorrecepção; Quimiorrecepção.*

Recebido 29jul2011
Aceito 10mar2013
Publicado 31jul2013

Abstract. In this paper, we discuss some relationships between sensory ecology and the study of cave arachnids. As the ecology and behavior of a given species depends directly on which stimuli it responds to and that depends on the sensory structures it has, it is very important to understand morphological aspects of the animals. We therefore emphasize some of the troglomorphisms known in the group and address interesting questions to be further investigated. Studies on behavior may be more difficult to conduct because of the low number of troglobites typically found in caves, whereas studies on morphology are usually easier to carry out. We should also consider that natural and sexual selection may generate distinct predictions on what differences are to be found when comparing phylogenetically close epigean and troglobites. The various faunistic surveys carried out in Brazililian caves, combined with the literature listed in the present paper, are helpful for those interested in starting projects in this area.
Keywords. *Arachnida; Speleobiology; Sensory structures; Mechanoreception; Chemoreception.*

Introdução

Todos os animais respondem às informações relevantes recebidas do meio, em um processo que envolve fatores fisiológicos e comportamentais que podem variar de acordo com o contexto envolvido: detecção de predadores, presas, parceiros sexuais ou monitoramento do habitat dentre outros. A detecção e resposta a essas informações de maneira adequada é, portanto, essencial à sobrevivência de um organismo, pois é através delas que poderão responder aos perigos e oportunidades de maneira a sobreviver e reproduzir-se, assim propagando seus genes. A ecologia sensorial visa estudar os processos pelos quais as informações do mundo exterior são obtidas e como se dá a resposta a elas pelos animais (Ali, 1978; Dusenbery, 1992; Barth e Schmid, 2001). Nas ciências biológicas modernas, não há mais muitas áreas estanque, sem sobreposição com outras áreas do conhecimento. Por exemplo, quando se estuda quais células de determinadas estruturas sensoriais respondem e como respondem a um estímulo de um predador, quais as categorias de comportamento desencadeadas na presa por essa resposta, como ela varia de acordo com o habitat da presa ou o horário do dia, qual o valor adaptativo dessa resposta e quais genes estão envolvidos na produção de proteínas envolvidas na resposta celular, temos um trabalho que pode se enquadrar nas áreas de Fi-

siologia, Neurobiologia, Neurofisiologia, Cronobiologia, Ecologia Sensorial, Ecologia Comportamental, Evolução, Zoologia, Biologia molecular, Genética e Etologia. A ecologia sensorial é, portanto, uma ciência multidisciplinar.

A aracnofauna subterrânea brasileira

Troglóbios são espécies restritas ao meio subterrâneo, que podem possuir os chamados troglomorfismos, especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais, frequentemente convergentes em grupos não aparentados (Culver *et al.*, 1995). Suas características mais conspícuas são a redução das estruturas oculares e pigmentação melânica, observada em peixes, salamandras, crustáceos e insetos, entre vários outros. Processos de regressão podem afetar igualmente outros caracteres, tanto morfológicos, como fisiológicos e comportamentais. Por outro lado, troglóbios também podem apresentar características construtivas, interpretadas como resultado de adaptação (Culver e Pipan, 2009).

O Brasil destaca-se por sua rica fauna de aracnídeos cavernícolas, que incluem tanto espécies troglóbias como troglófilas (capazes de viver e completar o ciclo de vida tanto no meio subterrâneo como no epígeo, superficial) e trogloxenas (que precisam retornar periodicamente ao meio epígeo para completar o ciclo de vida).

As espécies de aracnídeos troglóbios brasileiros estão listadas em Trajano e Bichuette (2010), às quais se deve acrescentar as descritas por Souza e Ferreira (2010; 2011; 2012a, b); Ferreira e Souza (2012); Ratton *et al.*, 2012; Machado *et al.*, 2011: são ao todo pelo menos 16 espécies de aranhas (há muitas ainda não descritas), com destaque para as famílias Ochyroceratidae e Pholcidae, quatro de Amblypygi, quatro de pseudo escorpiões (mas o número real deve ser muito superior tendo em vista as espécies não descritas), 15 de opiliões (idem) e sete de Palpigradi. Some-se, a esta, a altíssima diversidade de aracnídeos troglófilos, típica de cavernas tropicais, que constituem um excelente te material para comparações. Note-se que a diversidade de ácaros é praticamente desconhecida devido ao impedimento taxonômico, ou seja, às dificuldades de sistemática desse grupo de megadiversidade.

A despeito dessa diversidade, e da relativa facilidade de obtenção de material para estudos comparativos, em um contexto evolutivo, a aracnofauna subterrânea brasileira permanece muito pouco conhecida no que diz respeito à morfologia e ecologia sensorial, em comparação com outros países, sobretudo da Europa e América do Norte.

O alto grau de especialização ao ambiente subterrâneo tornam as espécies troglóbias extremamente interessantes para estudos sob uma abordagem de ecologia sensorial. Apresentamos, a seguir, os troglomorfismos relacionados a estruturas sensoriais, com ênfase nos aracnídeos, discutindo as perspectivas de estudo para o Brasil.

Adaptações morfológicas sensoriais em aracnídeos troglóbios

A adaptação morfológica mais evidente relacionada às estruturas sensoriais em artrópodes troglóbios é o alongamento dos apêndices, nos quais pode haver um aumento do número de órgãos sensíveis a estímulos químicos e mecânicos (Crustacea: Hobbs, 2004 ; Insecta: Christiansen, 2003; Moldovan, 2003; Arachnida: Ribera, 2003; Myriapoda: Stoev *et al.*, 2010). Especificamente sobre as estruturas sensoriais, sabe-se, por exemplo, que besouros troglóbios podem possuir tricobótrios mais longos nos élitros, maior número de quimiorreceptores nas antenas e maior área de superfície de sensilas olfativas do que seus parentes epígeos, encontrados no meio superficial (Nitzu e Juberthie, 1996; Decu e Juberthie, 2003; Moldovan, 2003). Munidos de tais estruturas, os animais podem detectar o alimento mais rapidamente e a uma maior distância e, em função disso, gastam menos energia na procura de alimento (Huppop, 2004).

Os troglomorfismos vistos em aracnídeos não diferem muito do que é observado em outros artrópodes. Em ácaros, ocorre o alongamento e atenuação das quelíceras, pedipalpos, pernas, tricobótrios e ocorre redução ou perda de olhos, ao menos na família Rhagidiidae (Ducarme *et al.*, 2004); em amblipígeos, aranhas, opiliões e Ricinulei, há casos descritos de redução ou perda de olhos e alongamento de apêndices (Cokendolpher e Enríquez, 2004; Kury e Pérez-González, 2008; Rahmadi *et al.*, 2010; Snowman *et al.*, 2010) (Figs. 1 e 2); em Palpigradi e pseudo-escorpiões, foi descrito o alongamento de apêndices (Harvey e Volschenk, 2007; Souza e Ferreira, 2010); em Schizomida, pode haver perda das manchas ocelares (Humphreys *et al.*, 1989) e escorpiões exibem perda ou redução de ocelos, atenuação de pernas e pedipalpos e redução no número de dentes do pente (Prendini *et al.*, 2010). Diferenças na disposição das cerdas sensoriais entre troglóbios e epígeos também foram descritas em Palpigradi e

Figura 1. Opilião troglóbio, *Eusarcus sp*. (Pachylinae), da Serra do Ramalho na Bahia. Foto: gentilmente cedida por Abel Pérez-González.

Figura 2. Opilião troglóbio, *Iandumoema uai* (Pachylinae), de Olhos d´Água, Minas Gerais. Foto: gentilmente cedida por Abel Pérez-González.

escorpiões (Prendini *et al.*, 2010; Souza e Ferreira, 2010).

Todos os troglomorfismos mencionados acima não surgem de uma geração para outra. Existiria uma relação direta entre o tempo de isolamento na caverna e o surgimento dos troglomorfismos? Embora não se possa fazer uma relação direta entre tempo de isolamento e presença de troglomorfismos por diversos motivos apresentados em Trajano (2007), troglóbios que colonizaram e foram isolados no meio subterrâneo recentemente no tempo geológico podem ainda ter pigmentação melânica e estruturas oculares típicas da condição epígea.

Note-se que, em circunstâncias excepcionais, olhos podem ter valor adaptativo em cavernas (existem inúmeras definições de adaptação, mas o termo pode ser entendido como uma característica que é comum na população por fornecer alguma melhora em determinada função) até para um troglóbio: é o caso de opiliões da Nova Zelândia, *Megalopsalis tumida* (Eupnoi) e *Hendea myersi* (Laniatores): eles apresentam olhos grandes e funcionais e os utilizam para detectar larvas luminescentes do díptero *Arachnocampa luminosa,* das quais se alimentam (Meyer-Rochow e Liddle, 1988; Meyer-Rochow, 2003). Este, no entanto, é um caso excepcional, pois a bioluminescência é raríssima em cavernas.

Estudos em comportamento e morfologia: caminhos e obstáculos

Para se trabalhar com morfologia e ecologia sensorial de aracnídeos, um primeiro passo é ler a respeito das estruturas sensoriais destes animais. As obras provavelmente mais completas sobre estruturas sensoriais de aranhas são a de Barth (2002), além de Foelix (2010). Informações sobre estruturas sensoriais de outros grupos de aracnídeos podem ser encontrados em Weygoldt (1969), Polis (1990), Punzo (1998), Weygoldt (2000), Brownell (2001), Talarico *et al.* (2005, 2006, 2007, 2008) e Willemart *et al.* (2009), embora os três primeiros careçam de muita informação sobre esse assunto. Filogenias e, por vezes trabalhos de morfologia ou sistemática apresentam micrografias de varredura nas quais estruturas sensoriais podem ser visualizadas (ex. Framenau *et al.* 2010; Tu e Hormiga 2011; Willemart e Giribet 2010). Tais obras podem, portanto, ser valiosas fontes de informação.

Por meio de observações e experimentos comportamentais, nota-se que espécies troglóbias tipicamente utilizam pistas e sinais químicos e mecânicos para encontrar alimento e se comunicar com o sexo oposto, visto que a modalidade visual não está disponível. (Decu e Juberthie, 2003; Romero, 2003; Parzefall, 2004; Trajano e Bichuette, 2006). Poder-se-ia se pensar que isso é fruto do isolamento e a evolução no meio subterrâneo. Entretanto, a maioria dos aracnídeos não cavernícolas também independe da visão para se alimentar ou se acasalar, utilizando primariamente sinais químicos e principalmente mecânicos (Brownell, 2001; Gaffin e Brownell, 2001; Barth, 2002; Gaskett, 2007; Willemart *et al.*, 2009). Portanto, talvez as diferenças comportamentais entre aracnídeos epígeos e troglóbios não sejam tão óbvias como no caso de outros animais. Uma possível exceção seja o caso de aranhas da família Lycosidae, família que inclui animais epígeos (que não habitam cavernas) com olhos bem desenvolvidos e que possui espécies troglóbias (Howarth, 1983).

De qualquer forma, dado que os troglomorfismos relacionados às capacidades sensoriais estão muitas vezes presentes em aracnídeos (ver acima), poder-se-ia esperar que troglóbios fossem mais sensíveis em uma ou mais modalidades sensoriais do que seus parentes epígeos, talvez facilitando o encontro de parceiros sexuais e alimento. Métodos para estudar mecanorrecepção e quimiorrecepção conforme discutido acima, utilizados em aracnídeos brasileiros, podem ser encontrados em Mineo e Del Claro (2006) e Willemart e Chelini (2007).

No primeiro, os autores utilizaram vibrações de substrato produzidas por um aparelho que simulava vibrações produzidas por baratas, fazendo com que escorpiões reagissem. O uso do aparelho era importante porque permite isolar as vibrações de odores e outros estímulos que uma barata verdadeira emitiria. No segundo, os autores testaram a reação de opiliões a ágar contendo estímulos positivo (sacarose), negativo (sal em alta concentração) e neutro (ausência de estímulo). O ágar apresentava sempre a mesma aparência visual, textura, tamanho e os animais não esboçavam reação a eles antes de efetivamente tocá-lo. Portanto, os autores podiam concluir que a quimiorrecepção de contato explicava a diferente reação dos animais nos diferentes tratamentos. Em outro experimento, os autores demonstraram olfação a curta distância descrevendo o comportamento de opiliões frente a caixas fechadas por tela contendo presas mortas podres, não-podres e um controle. Por meio de filmagens, comparou-se o tempo gasto pelos opiliões sobre as caixas com cada uma das presas, permitindo efetivamente concluir que eles reagem diferente a diferentes odores. Estudos como estes, se realizados com animais cavernícolas, auxiliam na compreensão da evolução das capacidades sensoriais em táxons deste ambiente.

Um dos problemas para trabalhos comportamentais é o baixo número de indivíduos de algumas espécies troglóbias que por vezes limita a realização de experimentos, pois (1) aumenta a chance de obtenção de resultados cuja significância estatística não pode ser testada devido ao baixo "n" e, portanto, (2) diminui a aceitação dos trabalhos em periódicos. Não por acaso há poucos trabalhos comportamentais com aracnídeos troglóbios no Brasil (ex. Pinto-da-Rocha, 1996). Em vertebrados troglóbios, como peixes, estudos com um baixo número amostral são tolerados devidos à óbvia limitação de se possuir dezenas de animais em cativeiro (ver Parzefall e Trajano, 2010). O mesmo deveria ocorrer com artrópodes troglóbios.

Finalmente, como bem colocado por Howarth (1983), infelizmente tem-se dedicado mais a descrever a perda de estruturas por troglóbios em vez de tentar explicar como os troglóbios exploram os recursos nas cavernas. Seria muito benéfico para a espeleobiologia se mais etólogos se envolvessem em tais estudos, trazendo assim as ferramentas da etologia para se estudar a fundo as causas proximais e distais do comportamento de animais troglóbios.

Mesmo no caso da morfologia, ainda há muito por

se investigar com foco na rica aracnofauna troglóbia brasileira, comparando-a com táxons epígeos aparentados: pode ter havido aumento do tamanho de receptores mecânicos tácteis de contato ou detectores de deslocamento de ar como tricobótrios? Ou talvez aumento na densidade de receptores? Respostas a essas perguntas são importantes não apenas de um ponto de vista evolutivo, filogenético, como também de um ponto de vista proximal, mecanístico, de como troglóbios diferem de seus parentes epígeos em termos de detecção de predadores, por exemplo.

A Figura 3 mostra respostas detectáveis morfologicamente que espécies troglóbias podem ter ao ambiente cavernícola, em termos sensoriais. Características típicas do meio cavernícola como ausência de luz, baixa densidade de co-específicos e de alimento podem levar a uma maior eficiência na recepção de estímulos químicos e mecânicos por meio do aumento no número e tamanho de estruturas sensoriais. Se a pressão de seleção pender para o encontro entre os sexos, espera-se observar diferenças entre machos e fêmeas como ocorre em espécies epígeas: muitas espécies de mariposas machos, por exemplo, possuem antenas muito maiores do que as das fêmeas. Isso ocorre porque as fêmeas liberam feromônios sexuais no ar e os machos precisam detectar esses feromônios. Analogamente, a baixa densidade de co-específicos em cavernas poderia levar, por seleção sexual, ao aparecimento de dimorfismos sexuais relativos ao encontro entre machos e fêmeas. Por outro lado, se o que levar ao aumento na quantidade de estruturas sensoriais for a escassez de alimento, então talvez ambos os sexos sejam afetados igualmente e por seleção natural pode se observar aumento no número ou tamanho de estruturas sensoriais (Fig. 3).Tais estudos seriam interessantes tanto do ponto de vista da ecologia sensorial, como da espeleobiologia, como de um

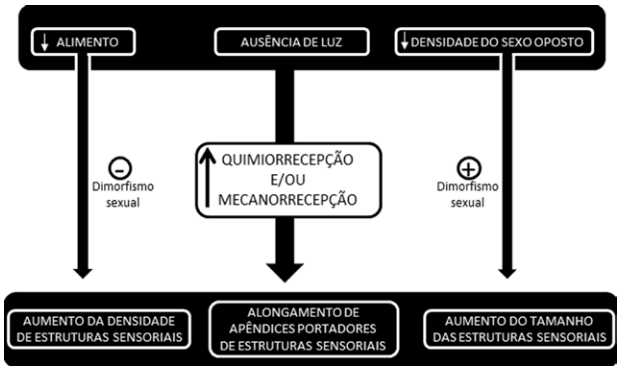


Figura 3. Modificações morfológicas observáveis que podem estar presentes em aracnídeos troglóbios. O retângulo superior mostra pressões de seleção que podem levar ao aumento das capacidades mecano e/ou quimiorreceptoras por meio de características do retângulo inferior. Se as modificações observadas são frutos de seleção natural para encontro de alimento, não se espera observar dimorfismo sexual. Se as modificações observadas são fruto de seleção sexual para encontro de parceiros sexuais, é esperado que haja dimorfismo sexual. Outras modificações possíveis, comportamentais ou fisiológicas não estão representadas aqui. O esquema também não se aplica a alguns casos como, por exemplo, animais guanófilos (que vivem em fezes de morcegos) em que a densidade populacional é muito alta.

ponto de vista evolutivo de maneira geral.

Trabalhos de morfologia são relativamente mais fáceis por exigirem uma menor quantidade de indivíduos. Normalmente, a morfologia é menos variável do que o comportamento, que é extremamente variável entre indivíduos de uma população. Não havendo polimorfismos previamente conhecidos, medir o diâmetro do olho de cinco indivíduos de opiliões de uma determinada população de uma espécie poderá dar uma idéia razoável do tamanho do olho nesse grupo. Mas calcular o tempo de reação a um estímulo visual com cinco indivíduos certamente não será uma medida confiável da espécie. O tempo será possivelmente extremamente variavel, mais do que o diâmetro do olho. Como mencionado acima, é comum que haja diferenças entre estruturas sensoriais de animais troglóbios e seus parentes epígeos. Havendo uma filogenia bem resolvida, um grupo epígeo filogeneticamente próximo, uma ou mais espécies troglóbias e um microscópio eletrônico de varredura, basta um pequeno número de machos e fêmeas para realizar um trabalho sobre evolução de estruturas sensoriais. Pode se fazer comparações qualitativas e quantitativas, embora esta última exija vários indivíduos caso haja intenção de realizar testes estatísticos. Se a comparação for apenas visual por meio de micrografias de varredura, menos indivíduos são necessários.

Quais espécies escolher para realizar estudos nesse sentido? Se o estudo for comparado, em um contexto evolutivo, deve-se obviamente procurar grupos para os quais existam filogenias propostas. Dentre algumas espécies listadas em Trajano e Bichuette (2010), como aranha *Ctenus* sp. troglóbia da Chapada Diamantina e os vários opiliões Gonyleptidae, há filogenias que podem ser úteis, como as propostas por Polotow (2010) e Caetano e Machado (2013).

Um exemplo de estudo de cunho comparativo realizado com espécies cavernícolas e seus parentes epígeos é o trabalho de Santos (2003): na subfamília Goniosomatinae que o autor estudou (ver também Gnaspini *et al.*, 2003; Chelini *et al.*, 2011), há espécies de opiliões cavernícolas com diferentes graus de relação com cavernas. Por exemplo: *Serracutisoma spelaeum* é um trogloxeno obrigatório (depende igualmente do ambiente subterrâneo para completar seu ciclo de vida), enquanto *Serracutisoma proximum* ocorrere dentro e fora de cavernas dependendo da época do ano (trogloxeno não obrigatório) e *Heteromitobates discolor* não é cavernícola, embora esteja comumente associada a locais escuros e úmidos sob rochas. Testando várias espécies por meio de diversos experimentos fisiológicos e comportamentais, o autor testou se realmente as espécies que possuem relação mais íntima com cavernas apresentam maior fototaxia negativa, se são menos resistentes a baixas umidades etc. Ele concluiu, entre outras coisas, que todas as espécies da subfamília preferem ambientes pouco iluminados e apresentam reduzida capacidade de tolerar variações de seu conteúdo hídrico. Neste último caso, houve inclusive relação entre o tipo de abrigo usado na natureza e a tolerância à dessecação. *Serracutisoma spelaeum* é tão sensível à perda d´água que 75 % de umidade relativa já é adverso para a espécie. O trabalho

só foi possível devido à hipótese filogenética já existente e mais tarde publicada (Silva e Gnaspini, 2010).

Com os vários trabalhos publicados sobre Palpigradi que mencionamos acima, há várias espécies alvo para se estudar as pressões de seleção que influenciaram as características troglomórficas dessas espécies (Fig. 3). O fato de serem animais muito pequenos pode dificultar as observações e a preparação do material, mas não é impeditiva para observações em microscópio eletrônico de varredura.

Já os amblipígeos troglóbios do gênero *Charinus* (Trajano e Bichuette, 2010) podem ser alvo igualmente interessante de estudos morfológicos visto que há as estruturas sensoriais de amblipígeos já são bem conhecidas (Weygoldt, 2000; Santer e Hebets, 2011). Assim, fica mais fácil identificá-las para posteriormente comparar espécies troglóbias com parentes epígeas.

Aranhas troglóbias da família Pholcidae também da Chapada Diamantina (Trajano e Bichuette, 2010) também podem ser objeto de estudos interessantes. Será que fazem teias maiores do que seus parentes epígeos já que há menos alimento na caverna? O uso oportunístico do habitat terrestre para a construção de teias por *Theridion bergi* (Theridiidae), aranha troglófila em cavernas do Alto Ribeira, a qual, no meio epígeo, está tipicamente associada ao ambiente aquático (Xavier *et al.*, 1995), mostra como a plasticidade ecológica desses animais auxilia na adaptação ao regime seletivo subterrâneo.

Estes são apenas alguns exemplos dentre os vários que poderiam ser abordados. Esperamos que novas gerações de cientistas adentrem a fronteira entre a ecologia sensorial e o estudo biológico das cavernas e ajudem a expandir o grande corpo de conhecimento sobre animais cavernícolas já gerado por pesquisadores brasileiros. A ecologia sensorial é uma área relativamente recente e ainda pouco explorada, mas que pode dar frutos interessantíssimos quando aliada à bioespeleologia.

Agradecimentos

Agradecemos à Prof. Drª. Eleonora Trajano pelo convite para submissão e revisão do texto, aos revisores anônimos de conteúdo e forma, ao Prof. Dr. Abel Pérez-González da UFRJ pela revisão do manuscrito e por ter cedido as fotos dos opiliões troglóbios e à FAPESP (2010/00915-00) pelo financiamento do projeto vigente no LESCA (Laboratório de Ecologia Sensorial de Artrópodes, EACH USP).

Referências

Ali MA. 1978. Sensory Ecology. Review and Perspectives. New York and London: Plenum Press.

Barth FG. 2002. A Spider´s World: Senses and behavior. Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg.

Barth FG, Schmid A. 2001. Ecology of sensing. Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg.

Brownell P. 2001. Sensory ecology and orientational behaviors. In: Brownell P, Polis G. Scorpion biology and research. Oxford: Oxford University Press p159-183.

Caetano DS, Machado G. 2013. The ecological tale of Gonyleptidae (Arachnida, Opiliones) evolution: phylogeny of a Neotropical lineage of armoured harvestmen using ecological, behavioural and chemical characters. Cladistics DOI: 10.1111/cla.12009.

Chelini MC, Willemart RH, Gnaspini P. 2011. Caves as a winter refuge by a neotropical harvestman (Arachnida, Opiliones). Journal of Insect Behavior 24:393–398.

Christiansen K. 2003. Adaptation: Morphological (External). In: Gunn J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Routledge p7-9.

Cokendolpher JC, Enríquez T. 2004. A new species and records of *Pseudocellus* (Arachnida: Ricinulei: Ricinoididae) from caves in Yucatán, Mexico and Belize. Texas Memorial Museum: Speleological Monographs 6:95-99.

Culver DC, Kane T, Fong D. 1995 Adaptation and Natural Selection in Caves: The Evolution of *Gammarus minus*. Cambridge: Harvard University Press.

Culver DC, Pipan T. 2009. Biology of caves and other subterranean habitat. Oxford: Oxford University Press.

Decu V, Juberthie C. 2003. Insecta: *Coleoptera* (Beetles). In: Gunn J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Routledge p447-445.

Ducarme X, Wauthy G, André MH, Lebrun P. 2004. Survey of mites in caves and deep soil and evolution of mites in these habitats. Canadian: Journal of Zoology 82:841-850.

Ducarme X, Wauthy G, André MH, Lebrun P. 2004. Survey of mites in caves and deep soil and evolution of mites in these habitats. Canadian: Journal of Zoology 82:841-850.

Dusenbery DB. 1992. Sensory Ecology. W.H. Freeman. New York.

Ferreira RL, Souza MFVR, 2012. Notes on the behavior of the advanced troglobite *Eukoenenia Maquinensis,* Souza & Ferreira 2010 (Palpigradi: Eukoeneniidae) and its conservation status. Speleobiology Notes 4:17-23.

Foelix R. 2010. Biology of spiders 3ed. Oxford: Oxford University Press.

Framenau VW, Scharff N, Harvey MS. 2010. Systematics of the Australian orb-weaving spider genus *Demadiana* with comments on the generic classification of the Arkyinae (Araneae: Araneidae). Invertebrate Systematics 24:139–171.

Gaffin DD, Brownell PH. 2001. Chemosensory behavior and physiology. In: Brownell P, Polis G. Scorpion biology and research. Oxford: Oxford University Press p184-203.

Gaskett AC. 2007. Spider sex pheromones: Emission, reception, structures, and functions. Biological Reviews 82:27-48.

Gnaspini P, Santos FH, Hoenen S. 2003. The occurrence of different phase angles between contrasting seasons in the activity patterns of the cave Harvestman *Goniosoma spelaeum* (Arachnida, Opiliones). Biological Rhythm Research 34:31-49.

Harvey MS, Volschenk ES. 2007. Systematics of the Gondwanan pseudoscorpion family Hyidae (Pseudoscorpiones: Neobisioidea). New data and a revised phylogenetic hypothesis. Invertebrate Systematics 21:365-406.

Hobbs HH. 2004. Crustacea. In: Culver DC, White WB. Encyclopedia of Caves. Academic Press p141-152.

Howarth FG. 1983. Ecology of cave arthropods. Annual Review of Entomology 28:365-389.

Howarth FG. 1993. High-stress subterranean habitats and evolutionary change in cave-inhabiting arthropods. American Naturalist 142:65-77.

Humphreys WF, Adams M, Vine B. 1989. The Biology of *Schizomus vinei* (Chelicerata: Schizomida) in the caves of Cape Range. Western Australia: Journal of Zoology 217:177-201.

Huppop K. 2004. Adaptation to low Food. In: Culver DC, White WB. Encyclopedia of Caves. Academic Press p4-10.

Kury AB, Pérez-González A. 2008. The first cave-dwelling *Spinopilar* Mello-Leitão 1940 (Opiliones, Gonyleptidae, Tricommatinae), described from a Brazilian cave. Tropical Zoology 21:259-267.

Machado EO, Ferreira RL, Brescovit AD. 2011. A new troglomorphic *Metagonia* Simon 1893 (Araneae, Pholcidae) from Brazil. Zootaxa (Auckland. Print) 3135:59-62.

Meyer-Rochow VB. 2003. Adaptation: Eyes. In: Gunn, J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Routledge p4-5.

Meyer-Rochow VB, Liddle AR. 1988. Structure and function of the eyes of two species of opilionid from New Zealand glowworm caves (*Megalopsalis tumida*: Palpatores, and *Hendea myersi cavernicola*: Laniatores). Proceedings of the Royal Society of London B 233:293-319.

Mineo MF, Del Claro K. 2006. Mechanoreceptive function of pectines in the Brazilian yellow scorpion *Tityus serrulatus*: perception of substrate-borne vibrations and prey detection. Acta Ethologica 9:79–85.

Moldovan OT. 2003. Beetles. In: Gunn J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Routledge p45-50.

Nitzu E, Juberthie C. 1996. Changement dans l´equipement sensoriel des antennes et des palpes maxillaires en fonction de l´habitat chez les Coleoptères Cliveninae (Scartitidae). Memoires de Biospéologie 23:91-102.

Parzefall J. 2004. Behavioral Adaptations. In: Culver DC, White WB. Encyclopedia of Caves. Academic Press p51-55.

Parzefall J, Trajano E. 2010. Behavioral patterns in subterranean fishes. In: Trajano E, Bichuette ME, Kapoor BG. (Eds). Biology of Subterranean Fishes. Enfield: Science Publishers.

Pinto-da-Rocha R. 1996. Biological notes on and population size of *Pachylospeleus strinatii* Silhavy, 1974 in the Gruta das Areias de Cima, Iporanga, south-eastern Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). Bulletin of the British arachnological Society 10:189-19.

Polis GA. 1990. The biology of scorpions. Stanford University Press.

Polotow DG. 2010. Análise cladística da subfamília Cteninae Simon, 1897 e revisão do gênero *Celaetycheus* Simon, 1897 (Araneae, Ctenidae). Tese de Doutorado p174.

Prendini L, Francke OF, Vignoli V. 2010. Troglomorphism, trichobothriotaxy and typhlochactid phylogeny (Scorpiones, Chactoidea): more evidence that troglobitism is not an evolutionary dead-end. Cladistics 26:117-142.

Punzo F. 1988. The Biology of Camel-Spiders (Arachnida, Solifuga). Springer

Rahmadi C, Harvey MS, Kojima JI. 2010. Whip Spiders of the genus *Sarax* Simon 1892 (Amblypygi: Charinidae) from Borneo Island. Zootaxa 2612:1-21.

Ratton P, Mahnert V, Ferreira RL. 2012. A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. Journal of Arachnology 40:274-280.

Ribera C. 2003. Arachnida. In: Gunn, J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Routledge p75-76.

Romero A. 2003. Adaptation: Behavioural. In: Gunn J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Routledge p3-4.

Santer RD, Hebets EA. 2011. The Sensory and behavioural biology of whip spiders (Arachnida, Amblypygi). In: Casas J. Advances in Insect Physiology, 41, Academic Press, p1-64.

Santos FH. 2003. Estudo de parâmetros fisiológicos relacionados ao modo de vida cavernícola em Goniosomatinae (Opiliones, Gonyleptidae). Tese de Doutorado p140.

Silva MB, Gnaspini P. 2009. A systematic revision of Goniosomatinae (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae), with a cladistic analysis and biogeographical notes. Invertebrate Systematics 23:530-624.

Snowman CV, Zigler KS, Hedin M. 2010. Caves as Islands: Mitochondrial Phylogeography of the cave-obligate spider *Nesticus barri* (Araneae: Nesticidae). Journal of Arachnology 38:49-56.

Souza MFVR, Ferreira RL. 2010. *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) in Brazilian caves with the first troglobiotic palpigrade from South America. Journal of Arachnology 38:415-424.

Souza MFVR, Ferreira RL. 2011. A new troglobitic *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) from Brazil. Journal of Arachnology 39:185-188.

Souza MFVR, Ferreira RL. 2012. A new remarkable troglobitic species of *Eukoenenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) from Brazil. Journal of Arachnology 40:151-158.

Souza MFVR, Ferreira RL. 2012. *Eukoenenia virgemdalapa* (Palpigradi: Eukoeneniidae): a new troglobitic palpigrade from Brazil. Zootaxa (Auckland. Print) 3295:59-64.

Stoev P, Akkari N, Zapparoli M, Porco D, Enghoff H, Edgecombe DG, Georgiev T, Lyubomir P. 2010. The centipede genus *Eupolybothrus* Verhoeff, 1907 (Chilopoda: Lithobiomorpha: Lithobiidae) in North Africa, a cybertaxonomic revision, with a key to all species in the genus and the first use of DNA barcoding for the group. ZooKeys 50:29-77.

Talarico G, Palacios-Vargas JG, Alberti G. 2008. Taste while chewing? Sensory structures in the chelicerae of *Pseudocellus pearsei* (Chamberlin & Ivie, 1983) (Arachnida, Ricinulei). Revista Ibérica de Aracnología 15:47–53.

Talarico G, Palacios-Vargas JG, Fuentes Silva M, Alberti G. 2005. First ultrastructural observations on the tarsal pore organ of *Pseudocellus pearsei* and *P. boneti* (Arachnida, Ricinulei). Journal of Arachnology 33:604–612.

Talarico G, Palacios-Vargas JG, Fuentes Silva M, Alberti G. 2006. Ultrastructure of tarsal sensilla and other integument structures of two *Pseudocellus* species (Arachnida, Ricinulei). Journal of Morphology 267:441–463.

Talarico G, Palacios-Vargas JG, Alberti G. 2008. The pedipalp of *Pseudocellus pearsei* (Ricinulei, Arachnida) – ultrastructure of a multifunctional organ. Arthropod Structure & Development 37:511–521.

Trajano E. 2007. The challenge of estimating the age of subterranean lineages: examples from Brazil. Time in Karst p191–198.

Trajano E, Bichuette ME. 2006. Biologia Subterrânea - Introdução. Redespeleo Brasil.

Trajano E, Bichuette ME. 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. Subterranean Biology 7:1-16.

Tu L, Hormiga G. 2011. Phylogenetic analysis and revision of the linyphiid spider genus *Solenysa* (Araneae: Linyphiidae: Erigoninae). Zoological Journal of the Linnean Society 161:484–530.

Xavier E, Baptista RLC, Trajano E. 1995. Biology and redescription of *Theridion bergi* Levi, 1963 (Araneae: Theridiidae), a semi-aquatic spider from Brazilian caves. Revue Arachnologique 11:17-28.

Weygoldt P. 1969. The biology of pseudoscorpions. Harvard University Press.

Weygoldt P. 2000. *Whip Spiders (Chelicerata: Amblypygi) Their Biology, Morphology and Systematics* Apollo Books, Steenstrup.

Willemart RH, Chelini MC. 2007. Experimental demonstration of close-range olfaction and contact chemoreception in the Brazilian harvestman *Iporangaia pustulosa*. Entomologia Experimentalis et Applicata 123:73–79.

Willemart RH, Farine JP, Gnaspini P. 2009. Sensory biology of Phalangida harvestmen (Arachnida, Opiliones): a review, with new morphological data on 18 species. Acta Zoologica 90:209-227.

Willemart RH, Giribet G. 2010. A scanning electron microscopic survey of the cuticle in Cyphophthalmi (Arachnida, Opiliones) with the description of novel sensory and glandular structures. Zoomorphology 129:175–183.