



ISABELA DE QUEIROZ GORING

**ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DE COMUNIDADES DE
INVERTEBRADOS DE CAVERNAS INTERTIDAIS NO NORDESTE DO
BRASIL**

LAVRAS - MG

2021

ISABELA DE QUEIROZ GORING

**ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DE COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS DE
CAVERNAS INTERTIDAIS NO NORDESTE DO BRASIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas, para obtenção do título de Bacharel.

Prof: Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Orientador

Ma. Luana Cristina Lourenço Guimarães

Coorientadora

LAVRAS - MG

2021

ISABELA DE QUEIROZ GORING

**ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DE COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS DE
CAVERNAS INTERTIDAIS NO NORDESTE DO BRASIL**

**STRUCTURE AND COMPOSITION OF INVERTEBRATE COMMUNITIES IN
INTERTIDAL CAVES IN NORTHEASTERN BRAZIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19/11/2021

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Me. Ícaro Wilker Gonzaga de Carvalho

Ma. Vanessa Mendes Martins

Prof: Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Orientador

LAVRAS-MG

2021

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo o apoio em todo o período da graduação, e que sempre me ajudaram a manter o foco em busca do meu sonho que se tornou o deles também. E, principalmente, por terem sido os meus maiores encorajadores sempre que pensei em desistir.

Aos meus avós paternos e maternos por todo o carinho e compreensão ao longo dos anos, com ênfase em minha avó paterna que foi uma das principais responsáveis pela continuidade da minha graduação.

Ao meu irmão, que sempre esteve por perto para me fazer rir e melhorar meus dias ruins.

Ao professor Dr. Rodrigo Lopes Ferreira pela oportunidade de me orientar na conclusão dessa dissertação, que sempre disponível para sanar qualquer dúvida, compartilhou conhecimentos e ensinamentos que vou levar tanto para a vida profissional, quanto pessoal. Meus sinceros agradecimentos pelo tempo e atenção que dispôs para me auxiliar nessa caminhada.

Ao professor Dr. Marconi pela ajuda com as bibliografias e as chaves dicotômicas para a identificação do material, além de sempre tirar minhas dúvidas e ajudar com o que era possível.

À minha coorientadora Ma. Luana Cristina Lourenço Guimarães pelos incríveis momentos de distração e diversão no laboratório e fora dele, pela amizade essencial para mim e por todos aprendizados. Agradeço por poder ter feito parte da sua jornada e fico imensamente feliz por você ter feito parte da minha.

À Universidade Federal de Lavras por todas as experiências vividas, amizades feitas e oportunidades. O período de graduação foi uma das épocas mais felizes da minha vida e sempre será lembrada com carinho. Ademais, agradeço pela oportunidade cedida com a bolsa de iniciação científica.

Ao Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por todo o investimento na ciência.

À equipe do CEBS por todo o suporte em todos os processos dessa monografia, principalmente ao Diego Bento, pela ajuda com o material no início de todo processo, ao Gilson e ao Resta que além de auxílio na triagem do material, foram pessoas que melhoraram muito meus dias cansativos no laboratório.

Ao meu grande amigo Rafael Almeida, componente do laboratório de Ecologia de Formigas pela ajuda na identificação dos exemplares da família Formicidae.

Ao meu melhor amigo Matheus Moura por todo o tempo aturando minhas reclamações e lamentos desde o primeiro período de curso, e por todos os momentos que passamos juntos, conversando e rindo de adversidades. Obrigado por me manter sã.

Às minhas companheiras de apartamento, Ana Clara e Janaína que me ofereceram além de suporte uma amizade única e especial. Assim também como minhas colegas de curso, Carol e Inês que sempre estavam por perto me dando apoio e fazendo deste período de curso muito melhor.

A todos os que se envolveram de alguma forma com a realização desse sonho, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O ambiente cavernícola possui algumas características bastante singulares, principalmente quando comparado ao ambiente epígeo, ou seja, externo. As cavernas são ambientes estáveis caracterizados pela falta de luz e algumas peculiaridades em alguns componentes da fauna, como as características morfofisiológicas e comportamentais específicas destes locais. Estudos relacionados à fauna cavernícola do nordeste do Brasil ainda são escassos, e a maior parte do conhecimento sobre a fauna hipógea brasileira provem de pesquisas no Sudeste. Sendo assim, neste trabalho, além de dados da riqueza de espécies, apresentamos dados sobre a estruturação das comunidades componentes das cavernas estudadas no estado do Ceará. O objetivo deste estudo foi o de determinar a estrutura e composição das comunidades de invertebrados de oito cavernas do litoral de Jijoca de Jericoacoara no Ceará. Nas cavernas inventariadas foram encontrados invertebrados pertencentes a pelo menos 14 ordens e 33 famílias. Foram encontradas 58 espécies, assim distribuídos nos táxons: Acari (7 spp.), Araneae (14 spp.), Blattodea (1 spp.), Coleoptera (5 spp.), Collembola (1 spp.), Decapoda (3 spp.), Diptera (5 spp.), Hemiptera (1 spp.), Hymenoptera (11 spp.), Isopoda (3 spp.), Lepidoptera (2 spp.), Orthoptera (1 spp.), Pseudoscorpiones (2 spp.), e por fim, Scolopendromorpha (2 spp.). De maneira geral, as cavernas estudadas se mostraram ambientes ricos e diversos, e a estruturação das comunidades parece estar ligada principalmente ao tamanho da caverna.

Palavras-chave: Cavernas marinhas. Fauna subterrânea. Estrutura de comunidades.

ABSTRACT

The cave environment has some unique characteristics, especially when compared to the external environments. Caves are stable environments characterized by the lack of light and some peculiarities in some components of the fauna, such as the morphophysiological and behavioral characteristics specific to these locations. Studies related to the cave fauna of the Northeast of Brazil are still scarce, and most of the knowledge about the Brazilian cave fauna comes from research in the Southeast. Thus, in this work, we present data on the structure of the component communities of the caves studied in the state of Ceará. The objective of this study was to determine the structure and composition of the invertebrate communities of eight caves along the coast of Jijoca de Jericoacoara in Ceará. In the caves inventoried, invertebrate components of at least 14 orders and 33 families were found. We found 58 species, distributed in the following taxa: Acari (7 spp.), Araneae (14 spp.), Blattodea (1 spp.), Coleoptera (5 spp.), Collembola (1 spp.), Decapoda (3 spp.), Diptera (5 spp.), Hemiptera (1 spp.), Hymenoptera (11 spp.), Isopoda (3 spp.), Lepidoptera (2 spp.), Orthoptera (1 spp.), Pseudoscorpiones (2 spp.), and finally, Scolopendromorpha (2 spp.). In general, the studied caves proved to be rich and diverse environments, and the structuring of the communities seems to be linked to the cave size.

Keywords: Marine Caves. Subterranean fauna. Community structure.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
As cavernas marinhas	10
As comunidades no interior das cavernas	11
METODOLOGIA.....	12
Local de estudo.....	12
Coleta de dados	14
Análise de dados.....	14
RESULTADOS.....	15
Diversidade Beta	15
A riqueza de invertebrados.....	15
Influência dos fatores abióticos na riqueza	16
Influência dos fatores abióticos na composição da fauna	17
DISCUSSÃO.....	18
Diversidade β	19
A riqueza de invertebrados e o tamanho das cavernas (GLM)	19
CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

INTRODUÇÃO

Os ambientes subterrâneos são os ambientes que constituem o domínio abaixo da terra e compreendem habitats com presença de água, ar ou ambos (CULVER & PIPAN, 2013). Esses meios subterrâneos são comumente caracterizados por uma escuridão contínua e outras características que fazem esse ambiente funcionar como um filtro, selecionando espécies (CULVER & PIPAN, 2009^a, MARTINS, 2017). Além disso, variações em parâmetros abióticos geralmente são mais intensas nas proximidades das entradas das cavernas, ou seja, mais próximo à superfície, já que o interior desses ambientes tende a ser mais estável (CIGNA 2002; BADINO, 2010; MAMMOLA et al., 2015, POULSON & WHITE, 1969). Desta forma, a disponibilidade de alimentos tende a ser maior nas regiões próximas às entradas, que explica a maior riqueza de espécies distribuídas nessas áreas quando comparada ao interior das cavernas (POULSON & WHITE, 1969). A estabilidade ambiental subterrânea está diretamente relacionada com o quão isolada está de um ambiente epígeo (SIMÕES, SOUSA-SILVA & FERREIRA, 2015), e por isso uma caverna que possui uma entrada mais ampla tende a ter uma área maior de instabilidade dessas variações, já que está mais sujeito às condições externas. As cavernas são ambientes muito mais amplos e extensos do que é pressuposto, sendo que muitas delas sequer possuem uma entrada abertas à superfície. (HOWARTH, 1983). Esses habitats nem sempre são restritos a passagens capazes de suportar a presença humana, pois muitas dessas formações têm espaços com tamanhos variados (HOWARTH, 1983).

Cavernas são ambientes particularmente fragmentados e singulares, e por isso tendem a possuir espécies únicas (CULVER & PIPAN, 2000). A diversidade da fauna subterrânea, seja ela encontrada em cavernas ou em outro habitat subterrâneo, é geralmente menor quando comparada ao número de espécies epígeas da região (CULVER & PIPAN, 2000, MAMMOLA & ISAIA, 2018). Mudanças de composição da fauna e riqueza podem acontecer através de fatores como substituição de espécies ocasionados por alterações do espaço ao longo do tempo (BENTO, 2011; SOUZA-SILVA et al., 2011b), e essas mudanças alteram as condições das comunidades que se estabelecem nesses ecossistemas.

Já as cavernas intertidais (que sofrem interferência oceânica ou marinha), de um modo geral, tendem a ser ambientes singulares pois contêm espécies de elevado endemismo (ILIFFE et al., 1969), e por se localizarem nas costas litorâneas, sofrem alguma influência do mar o que pode favorecer ou desfavorecer a colonização de espécies nesses ambientes. O ambiente

subterrâneo sendo um meio com características particulares, amplia a singularidade das espécies encontradas (ILIFFE, et al. 1969). Apesar disso, não são muitos os trabalhos publicados sobre cavernas marinhas ou intertidais, especialmente no Brasil (SOUZA-SILVA & FERREIRA, 2009).

Além de processos simbióticos interessantes nesses ambientes especiais, pesquisas em cavernas subaquáticas e costeiras revelaram uma grande variedade de fauna de invertebrados (SOUZA-SILVA & FERREIRA, 2009). No entanto, como a ecologia desses ambientes ainda é pouco compreendida, e a fauna cavernícola aquática ainda é relativamente menos diversa do que a terrestre – pelo menos quando se trata de meso e macroinvertebrados, há menos informações publicamente disponíveis sobre cavernas intertidais. (TODARO *et al.* 2006, TRAJANO & GNASPINI-NETTO, 1991). Embora existam muitas ilhas na costa do Brasil que apresentam cavernas intertidais, a composição das comunidades existentes nessas cavernas ainda é pouco estudada (SOUZA-SILVA & FERREIRA, 2009, FERREIRA, 2010).

Nesta perspectiva, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar quais fatores influenciam a estrutura das comunidades de invertebrados cavernícolas, bem como compreender a composição das comunidades associadas a estas cavernas. Os objetivos específicos foram responder as seguintes questões: 1) como se dá a substituição de espécies de invertebrados entre as cavernas? 2) quais as variáveis influenciam na riqueza e composição das comunidades cavernícolas? E 3) a distância entre a caverna e o litoral influencia positivamente na composição da fauna? Para isso serão testadas as seguintes hipóteses: i) diversidade beta é alta, expressa predominantemente pela substituição de espécies; ii) a riqueza de espécies é maior em cavernas maiores; iii) a distância do litoral influencia na composição de espécies.

REFERENCIAL TEÓRICO

As cavernas marinhas

As então denominadas “cavernas marinhas” são ambientes que de alguma forma recebem água de origem marinha ou oceânica, e que sofrem erosão causada pela ação da água, podendo estas serem cavidades subaquáticas ou costeiras (BIBILONI et al. 1984, BOWMAN et al. 1985, BUSSOTI et al. 2006). Alguns parâmetros devem ser levados em consideração quando estudamos o ambiente das cavernas subaquáticas, como por exemplo a luz (BIBILONI *et al.* 1984). Todos os ambientes de subsuperfície compartilham essa ausência de luz, o que resulta

numa ausência de fotossíntese, que por sua vez reduz a gama de organismos presentes (CULVER *et al*, 2013). Uma cavidade que apresenta as características de uma caverna subaquática ou intertidal, pode servir como abrigo para organismos, como crustáceos de praia, ou ainda peixes marinhos (BIBILONI *et al* 1984).

Além da ausência de luz, as condições hidrodinâmicas também compreendem importantes parâmetros que muitas vezes influenciam a morfologia destas cavidades. Em cavernas menos profundas, por exemplo, o movimentar das ondas promove uma maior renovação do corpo de água quando comparado a cavernas mais profundas, o que pode resultar em condições desfavoráveis para a colonização (BIBILONI *et al* 1984). Porém, essa troca de água frequente e alteração do ambiente, pode ser a explicação para a sobrevivência de organismos cada vez mais especializados, além de ser essencial para a manutenção das comunidades desses ambientes, já que fornece oxigênio e alimentos. (HARMELIN, 1969).

Em comparação com costões rochosos ou ambientes de penhascos entre marés, os habitats de cavernas intertidais têm características incomuns, incluindo aumento da umidade com o desenvolvimento da caverna e falta de contato direto com a água doce (BELL, J.J, 2002). As espécies encontradas nesses ambientes são espécies que de alguma forma estão relacionadas com o ambiente intertidal. Ademais, os biótopos das cavernas marinhas (seja ela totalmente ou parcialmente submersa), podem ser extensos e habitados por espécies adaptadas (HOWARTH, 1983).

As comunidades no interior das cavernas

Para compreender os padrões da biodiversidade subterrânea, é necessário que exista uma compreensão dos parâmetros regionais. (CULVER & PIPAN, 2014). Os padrões que são observados podem não ser explicados por mecanismos ecológicos, uma vez que retratam somente uma parte da situação geral (LEWIS *et al.*, 2017). A quantidade de organismos e habitats encontrados num ambiente subterrâneo marinho, ou aquático, é superior à quantidade encontrada num ambiente terrestre, já que estes ficam localizados acima do lençol freático e por isso acabam sendo mais restritos e menos desenvolvidos nas áreas cársticas (CULVER *et al*, 2013).

Graças ao baixo fluxo energético presente nos ecossistemas cavernícolas, esses habitats normalmente apresentam comunidades mais simplificadas e menos diversificadas em

comparação com os outros habitats (FERNANDES et al., 2019). No entanto, o fato de as espécies dentro de uma caverna serem interdependentes, mantendo a estabilidade desse sistema, é uma questão ainda em aberto (MAMMOLA & ISAIA, 2018).

METODOLOGIA

Local de estudo

Este trabalho foi desenvolvido em oito cavernas localizadas no litoral de Jijoca de Jericoacoara, no Ceará (Jeri I, Jeri III, Jeri IV, Jeri VII, Jeri VIII, Jeri X, Jeri Novo e Caverna de 2 bocas), sendo todas elas cavernas entre marés, ou seja, que se encontram em regiões que sofrem ações da maré (Tabela 1, Figura 1, Figura 2 – A, B e C).

CAVERNAS	LOCALIZAÇÃO	DIST. ATÉ O MAR	TAMANHO
JERI I	02°47'24,6"S, 40°30'52,9"O	38,1m	16,5m
JERI III	02°47'20,1"S, 40° 30'44,4"O	10,7m	13,1m
JERI IV	02°47'19,9"S, 40°30'43,7"O	40,8m	23,4m
JERI VII	02°47'17,0"S, 40°30'35,5"O	25,5m	23,6m
JERI VIII	02°47'17,0"S, 40°30'33,1"O	28,5m	17,7m
JERI X	02°47'13,0"S, 40°30'13,5"O	2,3m	12,8m
JERI NOVO	02°47'16,8"S, 40°30'34,9"O	21,2m	5,7m
CAV. 2 BOCAS	02°47'17,4"S, 40°30'34,2"O	20,9m	3m

Tabela 1. Cavernas selecionadas para o estudo, com sua localização específica, as respectivas distâncias até o mar e tamanho da caverna.

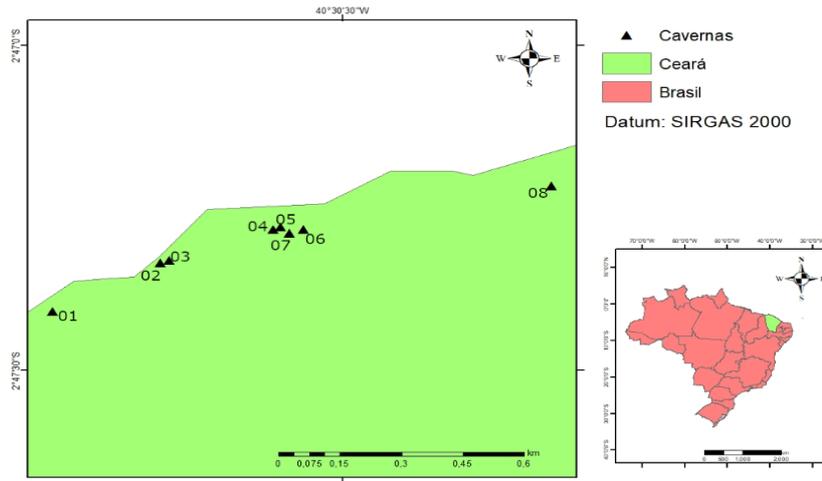


Figura 1: mapa da localização geográfica das cavernas estudadas. Legenda: **01)** Caverna Jeri I **02)** Caverna Jeri III **03)** Caverna Jeri IV **04)** Caverna Jeri VII **05)** Caverna Jeri Novo **06)** Caverna Jeri VIII **07)** Caverna 2 bocas **08)** Caverna Jeri X.



Figura 2: **A-C** Imagens das cavernas onde foram realizadas as coletas **D** Coleta de invertebrados. Fotos por: Rodrigo Lopes, Diego Bento e Marconi Souza-Silva.

De acordo com os dados obtidos através da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), o clima da região é do tipo quente e úmido, com períodos de

chuvas convectivas, ou seja, chuvas que acontecem de acordo com a mudança de temperatura, pressão e umidade de uma região; temperaturas que variam de 25°C a 35°C, e a estação seca dura cerca de seis meses e frequentemente é interrompida por chuvas fortes em outubro ou setembro. A vegetação da região é composta de floresta à retaguarda das dunas, e a vegetação de tabuleiros, com espécies da caatinga misturadas com espécies de mata serrana. Por se localizarem relativamente próximas umas das outras, as cavernas analisadas não apresentam grande variação nos valores de altitude.

A distância das entradas destas cavernas até o mar é variada, e por isso algumas delas recebem mais água intertidal do que outras. A caverna Jeri X, por exemplo, que se encontra a poucos metros da praia recebe mais água do mar do que a Jeri IV, que se encontra mais distante, e isso, provavelmente, afeta na composição destes ambientes.

Coleta de dados

O material foi coletado manualmente fazendo uso de pinças e pincéis dando-se preferência à micro-habitats localizados nas áreas mais úmidas, em depósitos de guano, abaixo de troncos, coleções de água corrente ou parada, entre outros (Figura 2 – D). Os organismos encontrados foram identificados até o nível taxonômico acessível e agrupados em morfoespécies (OLIVER & BAETTIE, 1996). Todo o material foi armazenado em álcool 70% e levado para laboratório para posterior identificação.

Para triagem do material em laboratório, foram utilizadas lupas e material entomológico para manuseio do material, além do auxílio de chaves de identificação de invertebrados, como as chaves presentes no livro *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*, 1962.

Análise de dados

A diversidade Beta, pode ser definida como o grau de dissimilaridade que existe entre comunidades de locais diferentes, e quais seriam os processos ecológicos responsáveis por tais mudanças na composição (KOLEFF et al., 2013, BASELGA, 2010). É de conhecimento geral que a diversidade beta é definida através de dois processos, sendo eles a perda e substituição de espécies (BASELGA 2010, CARVALHO et al., 2012), e por isso, a separação desses elementos pode ser utilizada para o esclarecimento dos padrões observados nos trabalhos com essa diversidade. Portanto, a diversidade beta multiplicativa total foi calculada e seu particionamento foi verificado nas taxas de substituição e aninhamento (BASELGA, 2010).

A riqueza de espécies foi obtida através da contagem do número de espécies. Para verificar se as variáveis ambientais (tamanho da caverna, altitude e influência marinha) interferem na riqueza de espécies foi construído um modelo linear generalizado (GLM), família quasipoisson, utilizada para dados de contagem com grande dispersão. (BATES, et al., 2015).

Realizamos o teste DistLM (análises multivariadas baseadas em distância para modelos lineares) para verificar a existência de relações entre as variáveis ambientais, e a composição de espécies em cada caverna (ANDERSON, 2004, SIMÕES, SOUSA-SILVA & FERREIRA, 2015), e a comparação foi feita por meio do índice de similaridade de Jaccard (presença e ausência) que apresenta a equivalência entre ambientes, e que se baseia no número de espécies comuns nesses ambientes (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2008). Este teste mostra que variável ou variáveis podem influenciar a composição da fauna (MCARDLE & ANDERSON, 2001). As possíveis relações entre as variáveis e a composição da fauna foram testadas com este teste (ALVARENGA, 2019). O critério de seleção utilizado no DistLM foi o AICc e o procedimento de envio foi adotado com 999 permutações (SOUZA-SILVA *et al.*, 2020).

Complementarmente para verificar o percentual de ajuste ao modelo foi realizado um dbRDA (análise de redundância baseada em distância) (ANDERSON, GORLEY & CLARKE, 2008). Todas as análises foram realizadas nos softwares Rstudio e Primer 6 – Permanova.

RESULTADOS

Diversidade Beta

A diversidade beta multiplicativa, apresentou um valor beta total de 0.897, enquanto que mostrou uma influência maior da taxa de aninhamento ($B_{rich}= 0,507$) do que da taxa de substituição ($B_{repl}=0,3903$).

A riqueza de invertebrados

Foi coletado um total de 788 indivíduos pertencentes à 58 espécies distribuídas em 14 ordens nas oito cavernas avaliadas (Figura 3 e 4).

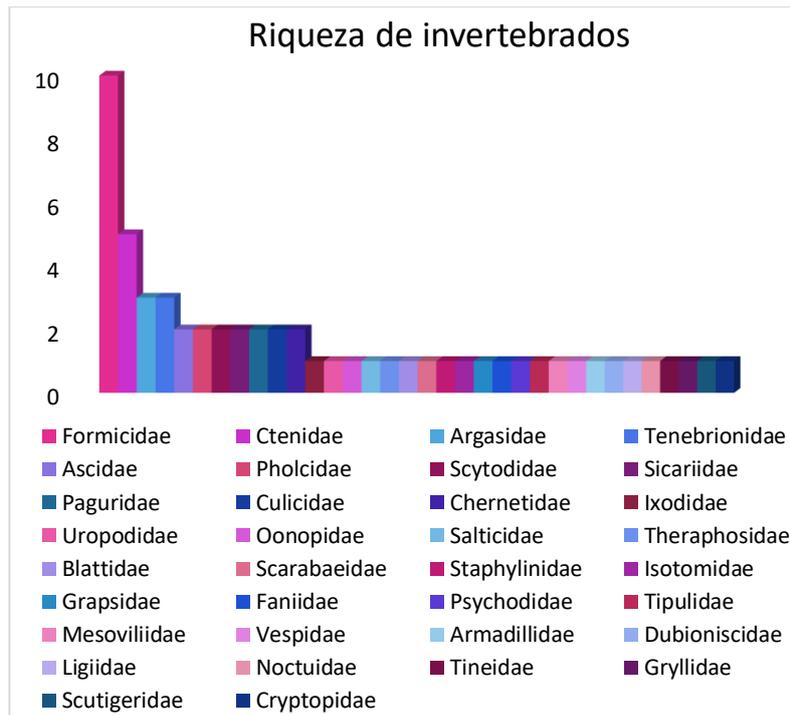


Figura 3: Gráfico de riqueza de invertebrados nas cavernas analisadas

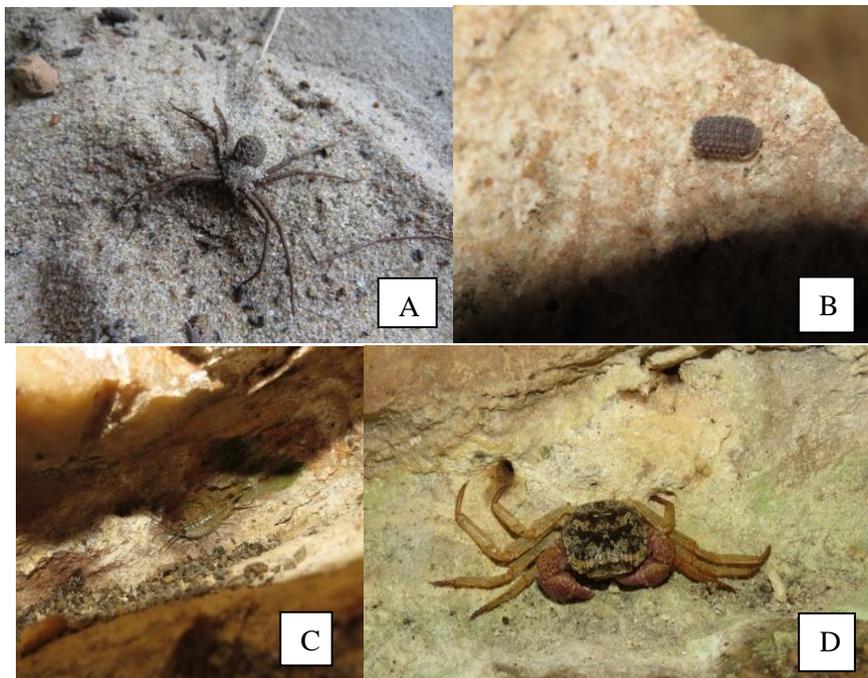


Figura 4: Invertebrados presentes em cavidades subterrâneas no estado do Ceará. **A:** Araneae (Sicariidae) **B e C:** Isopoda **D:** Decapoda (Grapsidae). Fotos por: Rodrigo Lopes, Diego Bento e Marconi Souza-Silva.

Influência dos fatores abióticos na riqueza

Em seguida, para verificar se as variáveis abióticas observadas tinham relação com essa riqueza de espécies, foi realizado o modelo linear generalizado (Glm), que confirmou que a variável de tamanho da caverna influenciou positivamente a riqueza de espécies ($p = 0,008787$) (Figura 5). As outras variáveis também analisadas (altitude e influência marinha) não apresentaram qualquer resultado significativo para a riqueza.

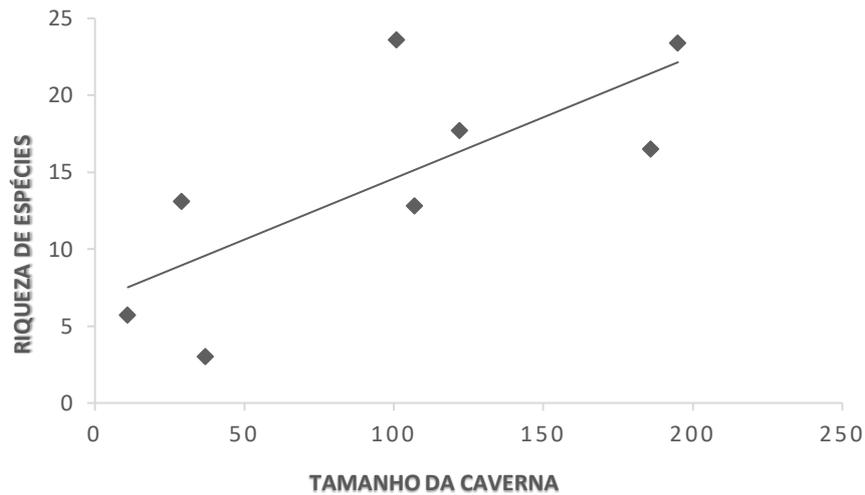


Figura 5: Gráfico de relação entre o tamanho da caverna e a riqueza de espécies

Influência dos fatores abióticos na composição da fauna

Posteriormente, foi executado um modelo linear baseado na distância (disLm) onde nenhuma das variáveis exerceu influência significativa na composição de espécies. As ordenações dbRDA mostraram os resultados do modelo DistLM para composição de fauna (TORRES, 2017). No teste de dbRDA, o valor encontrado foi de 32% de ajuste ao modelo utilizado (Figura 6).

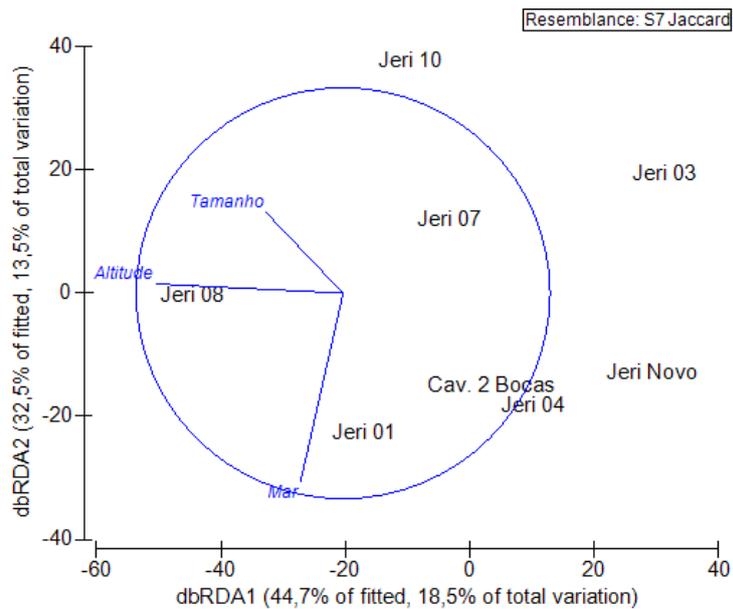


Figura 6: Gráfico da análise de redundância baseada em distância

DISCUSSÃO

Embora não tenham sido encontradas espécies com troglomorfixismos – conjunto de adaptações fisiológicas, morfológicas ou até comportamentais de espécies ao ambiente de luz ausente – as cavernas analisadas nesse trabalho possuem alguma singularidade expressiva, pois demonstram uma alta riqueza, e valores de diversidade β . Além de que também apresentam variadas condições ecológicas, microhabitats e processos interessantes acontecendo a todo momento, e que podem ser afetadas naturalmente por intervenções humanas nesses locais – como visitas – sem o devido planejamento (SOUZA-SILVA, *et al.*, 2011).

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que: a) a variável abiótica ‘tamanho da caverna’ influenciou positivamente na riqueza de espécies das cavernas, confirmando assim uma das hipóteses propostas. As cavernas maiores apresentam maior disponibilidade de habitat e recursos, que são fatores decisivos para a fauna subterrânea (CULVER *et al.* 2006, SIMÕES, SOUZA-SILVA & FERREIRA, 2015), o que possibilita um maior número de espécies (SOUZA-SILVA, 2008, FERREIRA 2004, SIMÕES, SOUZA-SILVA & FERREIRA 2015); b) na influência da composição da fauna, nenhuma variável avaliada promoveu qualquer interferência significativa, como demonstram os resultados obtidos no teste DistLM; c) no particionamento do valor de Beta diversidade total obtido, temos que a taxa de substituição foi menor quando comparada a taxa de aninhamento.

Diversidade β

A diversidade β pode ser gerada tanto por substituição quanto por aninhamento. O valor alto da diversidade β parece ser coletivo e comum aos ambientes de subsuperfície (PIPAN *et al.*, 2018) e foi também corroborada nesse trabalho. Quanto à substituição, podemos definir como sendo a taxa de troca de espécies que acontece em duas determinadas localidades e que pode acontecer por alguns motivos. (BASELGA, 2010). Num local específico, essa substituição de espécies pode ocorrer meramente por conter grande quantidade de espécies coexistindo e que atuam de maneiras específicas nesse ambiente (REGO, *et al.*, 2012).

O aninhamento é um modelo ecológico especial de distribuição de espécies em uma metacomunidade (GOMES, 2014), onde em locais de menor riqueza, um determinado grupo de espécies encontradas forma um subconjunto de espécies encontradas em locais com maior riqueza. Antes, o conceito de aninhamento era somente uma partição da diversidade β , juntamente com a taxa de substituição (BASELGA, 2010). Em algumas situações, onde há diferença de riqueza e, que refletem um ganho ou perda de espécies, temos o aninhamento (GOMES, 2014).

Quando a taxa de substituição de espécies num determinado local é menor quando comparada a taxa de aninhamento, temos que nestes ambientes observados, a seleção de espécies, ou ainda interações interespecíficas, ou ainda restrições históricas, aconteceram de forma mais branda na estrutura dessas comunidades (BASELGA, 2010). O valor obtido para o aninhamento, ou seja, a perda de espécies de maneira não aleatória, sendo maior que o de substituição de espécies, indica que há fatores – bióticos ou abióticos - interferindo nessas comunidades e em sua diversidade (WANG, *et al.*, 2010).

A riqueza de invertebrados e o tamanho das cavernas (GLM)

Os organismos encontrados distribuíram-se pelas seguintes famílias: Argasidae (3 spp.), Ascidae (2 spp.), Ixodidae (1 spp.), Uropodidae (1 spp.) da “ordem” Acari; Ctenidae (5 spp.), Oonopidae (1 spp.), Pholcidae (2 spp.), Salticidae (1 spp.), Scytodidae (2 spp.), Sicariidae (2 spp.) e Theraphosidae (1 spp.) da ordem Araneae; Blattidae (1 spp.) da ordem Blattodea; Scarabaeidae (1 spp.), Staphylindae (1 spp.), Tenebrionidae (3 spp.) pertencentes à ordem Coleoptera; Isotomidae (1 spp.), da ordem Collembola; Grapsidae (1 spp.), Paguridae (2 spp.), componentes da ordem Decapoda; Culicidae (2 spp.), Faniidae (1 spp.), Psychodidae (1 spp.), Tipulidae (1 spp.), da ordem Diptera; Mesoviliidae (1 spp.) da ordem Hemiptera; Pheidole (5

spp.); *Ponera* (1 spp.), *Mycetophylax* (1 spp.), *Linepthea* (1 spp.), *Trachymyrmex* (1 spp.), *Acanthostichus* (1 spp.), da família Formicidae (e ordem Hymenoptera); Vespidae (1 spp.), também componente da ordem Hymenoptera; Armadillidae (1 spp.), Dubioniscidae (1 spp.) e Ligiidae (1 spp.), da ordem Isopoda; Noctuidae (1 spp.), Tineidae (1 spp.), pertencentes a ordem Lepidoptera; Gryllidae (1 spp.), da ordem Orthoptera; Chernetidae (2 spp.), da ordem Pseudoscorpiones, e por fim, Scutigeridae (1 spp.), e Cryptopidae (1 spp.), da ordem Scolopendromorpha (Figura 3).

Muitos estudos buscam compreender quais são os parâmetros utilizados para melhor explicar os valores de riqueza das espécies nas cavernas, e dentre tantos parâmetros, os que mais se destacam são os de tamanho da caverna, assim também como a proximidade entre essas cavernas e também a natureza litológica desses ambientes (CULVER *et al.*, 1973; FERREIRA, 2004; SOUZA-SILVA, *et al.*, 2011).

Diferentes cavernas podem demonstrar valores para riqueza e/ou diversidade naturalmente distintos mesmo que se utilizem esforços amostrais parecidos. Estas diferenças podem ser justificadas por diversos fatores, como por exemplo, a extensão linear dessas cavernas, o grau de interferência antrópica sofrida e até mesmo por suas condições tróficas (FERREIRA, 2005; SOUZA-SILVA *et al.*, 2011).

Análises Multivariadas baseadas em distância – DistLM, com índice Jaccard de presença e ausência e Análise de Redundância baseado em distância - Dbrda

No modelo baseado na distância, assim como na taxa de ajuste ao modelo utilizado, temos que as variáveis observadas não afetam de qualquer modo a composição da fauna estudada. Pela análise do gráfico, dá para notar que são realmente poucas as cavernas que se aproximam de uma relação com alguma das variáveis, e que a maioria delas se encontra bem distante de uma correlação. Sendo assim, infere-se que nenhuma dessas variáveis (altitude, influência marinha ou tamanho da caverna) são significativas para a composição da fauna nessas cavernas.

Projetos relacionados às cavernas marinhas têm mostrado que uma das fundamentais características desses habitats é a existência de diferentes condições e comunidades (HARMELIN *et al.*, 1985, BUSSOTTI *et al.*, 2006). Este trabalho, apesar de limitado em número de cavernas avaliadas, mostra que além de apresentarem uma riqueza significativa, essas cavernas também apresentam uma associação singular de condições que promovem interações que provavelmente só acontecem nestes meios. Ademais, como as cavernas selecionadas para este estudo são relativamente próximas umas das outras (Figura 1), podemos

dizer que compartilham em sua maioria das variações ambientais, e que por isso apresentam fauna bastante semelhante. Portanto, a pesquisa deve ser conduzida para descrever a estrutura dessas comunidades únicas em detalhe. (SOUZA-SILVA & FERREIRA, 2009).

As variáveis também analisadas (altitude e influência marinha – ou distância até o mar) tanto para testes no GLM quanto DistLM, não apresentaram qualquer valor significativo para a riqueza de espécies., muito provavelmente pela proximidade entre as cavernas e a escala espacial utilizada ser pequena.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cavernas com alguma influência marinha ou oceânica ainda são objetos de estudo mais complexos a serem estudados já que apresentam maiores obstáculos ao ser humano, mesmo que sofram apenas desta influência em algum período do dia (marés). No entanto, este trabalho servirá como texto de apoio para os futuros projetos dessa linha e realizados na região litorânea do nordeste do país, assim como subsídio para futuros estudos ecológicos e de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, D. A. *et al.* (2019). **Como a fauna de invertebrados responde a heterogeneidade de habitat em cavernas de regiões semiáridas da Namíbia e do Brasil?** In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. Campinas: SBE, 2019. p.581-589. Acesso em: nov 2021.

ANDERSON, M. J. **DISTLM v.5: a FORTRAN computer program to calculate a distancebased multivariate analysis for a linear model.** Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand., 2004.

ANDERSON, M. J., GORLEY, R. N. & CLARKE K. R. **PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods.** Massey University, Albany Campus, Auckland: New Zealand, 2008.

BADINO, G. **Underground meteorology. What's the weather underground?** *Acta Carsol* 39(3):427–448, 2010.

BASELGA, A. **Partitioning the turnover and the nestedness components of beta diversity.** *Global Ecology and Biogeography*, 19, 134–143, 2010.

- BATES, D., MAECHLER, M., BOLKER, B., WALKER, S. **lme4: Linear Mixed-Effects Models using 'Eigen' and S4. R package version 1.1-19.** 2016.
- BELL, J. J. **The Sponge Community in a Semi-Submerged Temperate Sea Cave: Density, Diversity and Richness.** Berlin: *Marine Ecology*, 23 (4): 297 – 311, 2002.
- BENTO, D. M. (2011). **Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação.** Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil.
- BIBILONI, M.A., J.M. GILI & J.D. ROS. **Les coves submarines de les illes medes.** In: Els Sistemes Naturals de les Illes Medes. 39: 707 – 736, 1984.
- BOWMAN, T. E., ILIFFE, T. M. **Mictocaris Halope, a New Unusual Peracaridan Crustacean from Marine Caves on Bermuda,** *Journal of Crustacean Biology*, v. 5.1, p. 58–73, 1985.
- BUSSOTI, S. *et al.* **Spatial and temporal variability of sessile benthos in shallow Mediterranean marine caves.** *Marine Ecology Progress Series* 325: 109–119, 2006.
- CARVALHO, J. C., P. CARDOSO, and P. GOMES. **Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns.** *Global Ecology and Biogeography* 21:760–771, 2012.
- CIGNA, A. A. **Monitoring of caves: conclusions and recommendations.** *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.31, n.1, p.175-177. 2002.
- CRIST, T.O.; J.A. VEECH.; J.C. GERING & K.S. SUMMERVILLE. **Partitioning species diversity across landscapes and regions: A hierarchical analysis of a, b, and g diversity.** *The American Naturalist*, 162:734-743, 2003.
- CULVER, D., J. R. HOLSINGER, & R. BAROODY. **Toward a predictive cave biogeography: the Greenbriar Valley as a case study.** *Evolution* 27:689-695, 1973.
- CULVER, D. C., DEHARVENG, L., BEDOS, A., *et al.* **The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna.** *Ecography* 29:120–128, 2006.
- CULVER, D. C. & PIPAN, T. (2013). **Subterranean Ecosystems.** In: Levin S.A. (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*, second edition, V. 7, pp. 49-62. Waltham, MA: Academic Press.
- CULVER D. C. & PIPAN T. **The biology of caves and other subterranean habitats.** Oxford: Ed. OUP. 273p., 2009.
- CULVER, D. C., SKET, B. **Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells.** *Journal of Cave and Karst Studies*, 62(1), 11-17, 2000.
- FERNANDES, C. S, BATALHA, M. A, BICHUETTE, M. E. **Dark diversity in the dark: a new approach to subterranean conservation.** *Subterranean Biology* 32: 69–80, 2019.

FERREIRA JUNIOR, E. V., *et al.* **Composição, diversidade e similaridade florística de uma floresta tropical semidecídua submontana em Marcelândia – MT.** *Acta Amazônica*. V. 38(4), 673 – 680., 2008.

FERREIRA, R. L. (2004). **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos.** Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 158pp.

FERREIRA, R. L, *et al* (2010) – **Fauna Subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte: Caracterização e impactos.** *Revista Brasileira de Espeleologia*, v.1, n.1, 2010.

FLATHER C.H. & SAUER J.R. **Using landscape ecology to test hypotheses about large-scale abundance in migratory birds.** *Ecology* 77: 28–35, 1996.

GERING, J.C. & T.O. CRIST. 2002. **The alpha–beta– regional relationship: providing new insights into local–regional patterns of species richness and scale dependence of diversity components.** *Ecology Letters*, 5:433-444.

GOMES, C. R. C. **Aninhamento em comunidades: padrões e processos subjacentes.** 2014. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

HARMELIN, J.G. **Bryozoaires des grottes sous-marines obscures de la région Marseillaise: faunistique et écologie.** *Téthys*, 1: 793-806, 1969.

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

KOLEFF, P., K. J. GASTON, & J. J. LENNON. **Measuring beta diversity for presence – absence data.** *Journal of Animal Ecology* 72:367–382, 2003.

LEWIS, T.R., KUNDINGER, S.R., PAVLOVICH, A.L., BOSTROM, J.R., LINK, B.A., BESHARSE, J.C. **Regulate Onset of Outer Segment Development in Zebrafish Photoreceptors Through Distinct Mechanisms.** *Developmental Biology*. 425(2):176-190, 2017.

MAGURRAN, A.E. (1988). **Ecological diversity and its measurement.** Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

MAMMOLA, S. *et al.* (2015). **Alpine endemic spiders shed light on the origin and evolution of subterranean species.** – PeerJ 3: e1384.

MAMMOLA, S. & ISAIA, M., (2018) **Cave Communities and Species Interactions.** *In Cave Ecology*, pp. 255-267. Springer, Cham.

MARTINS, Vanessa M. **Estruturação da assembléia de insetos aquáticos em ambiente epígeo e hipógeo.** 2017. Tese (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

- MCARDLE B. H., ANDERSON M. J. **Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis.** *Ecology* 82: 290–297, 2001.
- OLIVER, I & BEATTIE, A. J. **Invertebrate morpho-species as surrogates for species: a case study.** *Conservation Biology*. 1(10): 99- 109, 1996.
- POULSON, T. & WHITE, W. **The Cave Environme Limestone caves provide unique natural laboratc for studying biological and geological proces.** *Science*. 165. 971-981, 1969.
- REGO, R. C. M., et al. **Aninhamento e substituição de espécies: o que promove a diversidade beta ao longo de um gradiente de dessecação em um costão rochoso?** 2012. Curso de Pós-graduação em Ecologia) – Universidade de São Paulo
- SIMÕES, M. H., SOUZA-SILVA, M. & FERREIRA, R. L. **Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics.** *Subterranean Biology*, 16: 103-121, 2015.
- SOUZA-SILVA, M. (2008). **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira.** Tese de Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, ICB- UFMG 226 pp.
- SOUZA-SILVA, M. & FERREIRA, R. L. **Estrutura das Comunidades de Invertebrados em Cinco Cavernas Insulares e Intertidais na costa brasileira.** Campinas: *Espeleo-Tema*. v. 20, n. 1/2, p. 25-36., 2009.
- SOUZA-SILVA, M., FERREIRA, R. L., INIESTA, L. F. M., (2020). **Cave lithology effect on subterranean biodiversity: A case study in quartzite and granitoid caves.** *Acta Oecologica*, v.108, ISSN 1146-609X.
- SOUZA-SILVA, M., MARTINS, R. P., FERREIRA, R. L. **Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest: Biodiversity Conservation** 20: 1713–1729, 2011.
- SOUZA-SILVA, M., NICOLAU, J., FERREIRA, R. L. **Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do mandembe, Luminárias, MG.** *Espeleo-Tema*. v.22, n.1., 2011.
- TODARO, M.A., LEASI, F., BIZZARRI, N. *et al.* **Meiofauna densities and gastrotrich community composition in a Mediterranean sea cave.** *Mar Biol* 149, 1079–1091 (2006).
- TORRES, Naiara R. **A importância da conservação de bacias hidrográficas para a manutenção das assembléias de peixes de riachos da Amazônia oriental.** 2017. Tese (Mestrado em Ecologia aquática e pesca). Universidade Federal do Pará, 2017.
- TRAJANO, E., GNASPINI-NETTO, P. **Composição da fauna cavernícola brasileira com uma análise preliminar da distribuição dos táxons.** *Revista Brasileira de Zoologia*: 7(3): 383-407, 1991.
- WANG, Y.; Y. BAO; M. YU; G. XU & P. DING. **Nestedness for different reasons: the distributions of birds, lizards and small mammals on islands of an inundated lake.** *Diversity and Distributions*, 16:862-873, 2010.

WHITTAKER, R.H. **Vegetation of the Siskiyou mountains**, Oregon and California.
Ecological monographs, 30(3): 279, 1960.