



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

GUIMARÃES, L.C.L.; BARROS, J.S.; FERREIRA, R.L. O que determina a estabilidade populacional de *Phalangopsis* sp. (Orthoptera: Phalangopsidae) em cavidades naturais subterrâneas?. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.624-633. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_624-633.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

O QUE DETERMINA A ESTABILIDADE POPULACIONAL DE *PHALANGOPSIS* SP. (ORTHOPTERA: PHALANGOPSIDAE) EM CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS?

WHAT DRIVES POPULATION STABILITY OF *PHALANGOPSIS* SP. (ORTHOPTERA:
PHALANGOPSIDAE) IN CAVES?

Lívia Dorneles AUDINO (1); Renata ANDRADE (2); Leopoldo Ferreira de Oliveira BERNARDI (3);
Tatiana BEZERRA (4); Xavier PROUS (4)

- (1) BioData Consultoria Ambiental.
- (2) Terradentro Estudos Ambientais.
- (3) Universidade Federal de Lavras, Departamento de Entomologia.
- (4) Vale S.A.

Contatos: livia.audino@gmail.com; reandrad.01@gmail.com; leopoldobernardi@gmail.com;
tatiana.bezerra@vale.com; xavier.prous@vale.com.

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a importância relativa das condições ambientais locais, disponibilidade de recursos, condições climáticas do meio epígeo e distância da área de mineração na estabilidade populacional de grilos *Phalangopsis* em cavidades localizadas na Floresta Nacional de Carajás, PA. As populações de grilos de *Phalangopsis* sp. foram monitoradas em 51 cavidades ferríferas durante 11 campanhas de campo, que ocorreram entre 2015 a 2018. Verificou-se que as populações de *Phalangopsis* sp. foram mais instáveis em cavidades de menor tamanho, com menor frequência no aparecimento de poças d'água e com maior amplitude nos valores de temperatura e umidade. O estudo de estabilidade populacional pode ser uma possível abordagem para avaliar como as espécies cavernícolas estão respondendo a distúrbios naturais e antrópicos ao longo do tempo.

Palavras-Chave: cavernas ferríferas; temporal; monitoramento ambiental; invertebrados.

Abstract

The goal of this study was to evaluate the relative importance of local environmental conditions, availability of food resources, climatic conditions of the epigeal environment and distance to mining area in population stability of Phalangopsis crickets in caves located in Floresta Nacional of Carajás, Pará. Phalangopsis populations were monitored in 51 iron caves during 11 fieldworks, between 2015 and 2018. Phalangopsis sp. populations were more instable in caves of smaller size, with a smaller frequency in the appearance of puddles and with a higher amplitude in temperature and humidity values. The studies about population stability can be a great approach to evaluate how cave species are responding to natural and anthropic disturbance over time.

Keywords: iron caves; temporal; environmental monitoring; invertebrates.

1. INTRODUÇÃO

Entender os processos que regulam a estabilidade temporal de populações têm sido um dos grandes desafios da ecologia há décadas (KAREIVA et al., 1993). Estas informações são essenciais para prever padrões em ecossistemas (MÁJEKOVÁ et al. 2014, MROWICKI et al. 2016). Isso é particularmente importante nos dias atuais, devido às intensas e frequentes mudanças ambientais causadas pela espécie humana.

Além disso, a avaliação da estabilidade de populações tem sido considerada uma importante

ferramenta para monitorar os efeitos de diversos tipos de distúrbios ambientais (IVES 1995, PECHMANN et al. 1991; MAIR et al. 2014, MROWICKI et al. 2016). Isso acontece porque as mudanças ambientais são um dos fatores capazes de causar instabilidades na abundância de uma população ao longo do tempo (IVES, 1995). Nesse sentido, populações com grandes flutuações em sua abundância podem estar mais susceptíveis à extinção já que alcançam tamanhos reduzidos frequentemente, e ficam mais expostas a extinção. Assim, populações que conseguem manter seu tamanho estável ao longo do tempo podem ter

maiores chances de persistir, já que populações mais estáveis tendem a ser mais resilientes a mudanças ambientais (OLIVER et al. 2010, MAIR et al. 2014).

Contudo, nos ecossistemas dificilmente o tamanho de uma população permanece constante ao longo do tempo, pois este tende a flutuar influenciado por fatores internos e externos à população (IVES, 1995). Dentre os fatores que podem influenciar o tamanho populacional podemos citar: condições ambientais locais, disponibilidade de recursos, interações intra e interespecíficas, sazonalidade, impactos ambientais e estocasticidade (IVES, 1995; COWLISHAW et al., 2008; MAGURRAN et al., 2010; MAIR et al., 2014; OLIVER et al., 2010). Desta forma, o grande desafio é identificar se estas flutuações populacionais temporais estão ocorrendo devido a processos naturais ou se podem ser atribuídas a impactos antrópicos (MAGURRAN et al. 2010, DORNELAS et al. 2012, KAMPICHLER et al. 2014). Pesquisas desta natureza são essenciais para o planejamento e desenvolvimento de programas de conservação visando reduzir a perda da biodiversidade em paisagens modificadas pelo homem.

A investigação sobre quais processos determinam a estabilidade temporal de uma população tem sido realizada para os mais diversos ecossistemas terrestres e aquáticos (PECHMANN et al. 2006, OLIVER et al. 2010; MROWICKI et al. 2016). Contudo, esse tipo de estudo é raro para ambientes cavernícolas, tendo sido desenvolvido em poucas oportunidades, tais como Russo e colaboradores na cavidade Valmarino, Itália (RUSSO et al., 1999).

Cavidades naturais subterrâneas são ambientes únicos e que apresentam papéis ecológicos essenciais para a humanidade (HUNTER, 2017). Os espaços subterrâneos possuem algumas propriedades particulares, tais como: ausência completa de luz solar, umidade e temperatura constantes e os recursos tróficos presentes são geralmente de origem alóctone e escassos. Devido a estas condições particulares, a biodiversidade encontrada nas cavernas é peculiar e pode apresentar espécies com distribuição restrita (WHITTEN, 2009). Nesse sentido, é inegável que as cavidades subterrâneas abrigam uma biodiversidade taxonômica, genética e funcional única, com alto grau de endemismo (CHRISTMAN et al. 2005, PIPAN e CULVER, 2013).

Apesar de sua reconhecida importância, os sistemas cársticos têm sofrido constantes impactos (ZHAO et al. 2011, MEDELLIN et al. 2017, JAFFÉ et al. 2018), estando entre os ecossistemas mais ameaçados do mundo (ZHAO et al. 2011), principalmente pelas atividades de mineração (AULER e PILÓ, 2015). Por este motivo, conciliar atividades de mineração com a conservação das cavidades subterrâneas tem sido um objeto de preocupação da comunidade científica, a indústria, comunidades locais e órgão competentes (JAFFÉ et al. 2016). Assim, estudos com a intenção de entender os determinantes das dinâmicas populacionais em cavernas são essenciais para ampliar o entendimento sobre a resiliência e resistência destes sistemas.

Já se sabe que as condições ambientais locais, disponibilidade de recursos, condições ambientais do meio epígeo ao redor das cavidades podem influenciar as comunidades presentes nas cavidades (PELLEGRINI et al. 2016, SIMÕES et al. 2015, ZEPON; BICHUETTE 2017). Contudo, até o momento, nenhum estudo investigou a influência de todos estes fatores juntos para determinar a estabilidade populacional de organismos cavernícolas. Entender como estas variáveis interagem e quais delas tem o maior efeito na dinâmica populacional destes organismos é essencial para o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficientes.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar qual a importância relativa das condições ambientais locais, disponibilidade de recursos, condições climáticas do meio epígeo e distância da área de mineração para determinar a estabilidade populacional de grilos da espécie *Phalangopsis* sp. em cavidades naturais subterrâneas na região de Carajás, PA. A escolha da espécie baseou-se no fato dela ser de grande distribuição regional podendo ocorrer grandes populações no ambiente cavernícola, sendo provavelmente troglófila.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área de abrangência total do estudo compreende uma região de mineração de ferro situada na Floresta Nacional de Carajás (06°04'40.34"S 50°41'25.53"W), região Amazônica, a sudeste do estado do Pará.

Cinquenta e uma (51) cavidades ferríferas foram contempladas neste estudo, estando localizadas no entorno das minas N4WS (15), N5S

(13), N4E (12), N5SM1 (3), N5E (2), pilhas de estéril PESL (1) e PESE (1) e quatro cavidades localizadas na área de N5SM2 distante do complexo minerário.

2.2. Monitoramento de *Phalangopsis* sp.

As cavidades foram vistoriadas ao longo de onze campanhas de campo que ocorreram no período de agosto de 2015 a setembro de 2018. Nas cavidades observaram-se todos os biótopos potenciais (e.g. como troncos, depósitos de guano e locais úmidos), no intuito de identificar a presença ou não da espécie alvo do estudo. Os indivíduos observados foram mapeados através de sua plotagem em uma planta baixa da cavidade, de forma que ao final das visitas foram geradas informações sobre a presença dessas espécies, além da abundância relativa das populações e suas distribuições espaciais nos locais estudados.

2.3. Caracterização das cavidades

Todas as cavidades monitoradas foram caracterizadas de acordo com: condições ambientais locais, presença de recursos, influência das atividades de mineração e condições climáticas externas (do meio epígeo).

As condições ambientais locais mensuradas foram: área, projeção horizontal, volume, altitude, desnível, presença/ausência de poças d'água ao longo das onze campanhas, frequência no aparecimento de poças de água ao longo das onze campanhas de monitoramento, temperatura e umidade. Apenas as variáveis relacionadas às poças de água, temperatura e umidade apresentaram variações ao longo das onze campanhas de monitoramento. Se na cavidade haviam poças d'água em algum momento do monitoramento considerou-se que estas estavam presentes, caso contrário ausentes. A frequência de poças de água representou em quantas campanhas as poças d'água estiveram presentes nas cavidades. Desta forma, essa medida variou de 0 a 11 (0 = se nunca houveram registros de poças de água nas cavidades; 1 = se as mesmas estiveram presentes em apenas uma campanha e assim sucessivamente). Para a temperatura e umidade, foram utilizados a média e o desvio padrão obtidos a partir das medições realizadas pelos dataloggers deixados durante todo período de monitoramento no interior de cada cavidade. O desvio padrão mostrará o quanto a temperatura e umidade das cavidades variaram em torno da média em cada uma das cavidades.

A variável mensurada para representar a presença de recursos foi a presença de colônia de

morcegos (número médio de morcegos encontrados em cada cavidade ao longo das onze campanhas). A quantidade de morcegos foi utilizada como um proxy da disponibilidade de guano fresco presente nas cavidades.

A influência das atividades de mineração para cada uma das cavidades foi avaliada a partir da distância da área com impacto (incluindo supressão vegetal). Esta distância pode ter variado ao longo do estudo, e por este motivo, utilizou-se a distância média de cada cavidade monitorada em relação à área de mineração ao longo das onze campanhas de monitoramento. Esta variável foi medida a partir de imagens de satélite em programas de geoprocessamento.

As condições climáticas externas foram representadas pelas variáveis de precipitação total, temperatura e umidade média obtidas no meio epígeo ao longo de 30 dias antes da visita em cada cavidade nas diferentes campanhas de monitoramento. Foi, então, calculada a precipitação total (soma) e uma média dos valores temperatura e umidade externos ao longo das onze campanhas de monitoramento. Além da média, calculou-se também o desvio padrão destas variáveis, a fim de representar o quanto estas variáveis mudaram ao longo das onze campanhas de monitoramento.

2.4. Análises estatísticas

A variância no tamanho populacional de *Phalangopsis* sp. foi calculada para cada uma das cavidades ao longo do tempo. A variância irá mostrar o quanto os valores de abundância da espécie variam em relação à abundância média obtida nas 11 campanhas, ou seja, quanto menor a variância mais próximos os valores estão da média e quanto maior a variância mais distantes os valores estão da média. A variância servirá, portanto, como uma proxy para determinar a estabilidade das populações cavernícolas. Para avaliar esta variância populacional foi calculado o coeficiente de variação da abundância ao longo das onze campanhas do monitoramento de cada cavidade. A variância foi calculada através da seguinte fórmula: (desvio padrão da abundância ao longo do tempo / média da abundância) (OLIVER et al. 2010). Esta é uma das métricas mais utilizadas para avaliar dinâmicas populacionais temporais.

Antes de se proceder com as análises estatísticas, foi verificada se existia colinearidade entre as variáveis explicativas contínuas. A verificação da colinearidade foi feita através da análise de correlação de Pearson, utilizando-se o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM,

2018). Considerou-se uma alta correlação todas aquelas com r igual ou acima de 0.80. Dentre as variáveis altamente correlacionadas, decidiu-se utilizar nas análises apenas a variável com maior sentido biológico e remover as outras das análises.

Dentre as variáveis que representam as condições ambientais locais, foram encontradas uma alta correlação entre projeção horizontal e área ($r = 0.93$; $p < 0.05$), projeção horizontal e volume ($r = 0.82$; $p < 0.05$), área e volume ($r = 0.94$; $p < 0.05$), umidade média e desvio padrão da umidade ($r = -0.88$; $p < 0.05$). Nesse contexto, a área é capaz de representar melhor o tamanho de uma cavidade em relação a projeção horizontal e volume. Por este motivo, volume e projeção horizontal foram removidos e apenas área foi incluída nas análises estatísticas. No caso da correlação entre umidade média e desvio padrão da umidade no interior das cavidades, decidiu-se utilizar apenas o desvio padrão por fornecer maiores informações sobre a variação dos valores de umidade nas cavidades. Dentre as variáveis representantes das condições climáticas externas, encontrou-se uma alta correlação entre umidade média e desvio padrão da umidade ($\rho = -0.81$; $p < 0.05$). Por este motivo, apenas o desvio padrão da umidade será utilizado nas análises.

Assim, foi investigado quais fatores bióticos e abióticos são responsáveis por determinar a variância na abundância de *Phalangopsis* de cada cavidade. Para isso foi feita análise de partição da variância, utilizando o coeficiente de variação da abundância como variável resposta e as condições ambientais locais, presença de recursos, influência das atividades de mineração e condições climáticas externas como variáveis explicativas. A análise de partição da variância mostrará qual a porcentagem de explicação de cada grupo de variáveis para determinar a variância temporal de *Phalangopsis* nas cavidades. Isso é feito investigando-se quais as relações existentes entre uma variável resposta e uma ou mais variáveis ou grupos de variáveis explicativas baseando-se em múltiplas regressões lineares parciais (BORCARD et al. 1992, PERES-NETO et al. 2006). A análise de partição da variância foi realizada através do software R, pacote

vegan, função varpart (OKSANEN et al., 2016; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

Após identificar a importância relativa dos grupos de variáveis, uma análise de RDA foi realizada, usando regressão linear, para identificar quais as variáveis que representam cada um destes grupos são mais importantes. Assim, foi avaliada a contribuição individual de cada variável para determinar a variância na abundância de *Phalangopsis*. Esta análise também foi realizada no software R, pacote Vegan, função rda (OKSANEN et al., 2016; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

3. RESULTADOS

O modelo de partição da variância explicou um total de 37% do coeficiente de variação da abundância de grilos do gênero *Phalangopsis* presentes nas cavidades. Sessenta e três por cento da variância não foi explicada pelas variáveis consideradas no modelo. A análise de partição da variância mostrou que as condições ambientais locais (características físicas, poças d'água e clima hipógeo) foram as únicas variáveis importantes para determinar a variação na abundância da população de *Phalangopsis*. O ambiente local apresentou uma explicação total significativa de 30% (considerando seus efeitos independentes e compartilhados). Deste total, 37% foram atribuídos aos efeitos independentes e significativos do ambiente local, ou seja, 37% da variância é explicada apenas pelas condições ambientais locais das cavidades. Já as condições climáticas do meio externo, presença de recursos e atividades de mineração não foram importantes para determinar a variação da abundância na população destes insetos, apresentando uma explicação total baixa e não significativa de 2%, 1% e 0%, respectivamente. Os efeitos independentes destes grupamentos também foram baixos, sendo de 8% para as condições climáticas do meio epígeo, 0% para recursos e 0% para a influência das atividades de mineração. Valores negativos no modelo devem ser interpretados como apresentando 0% de explicação (Figura 1, Tabela 1).

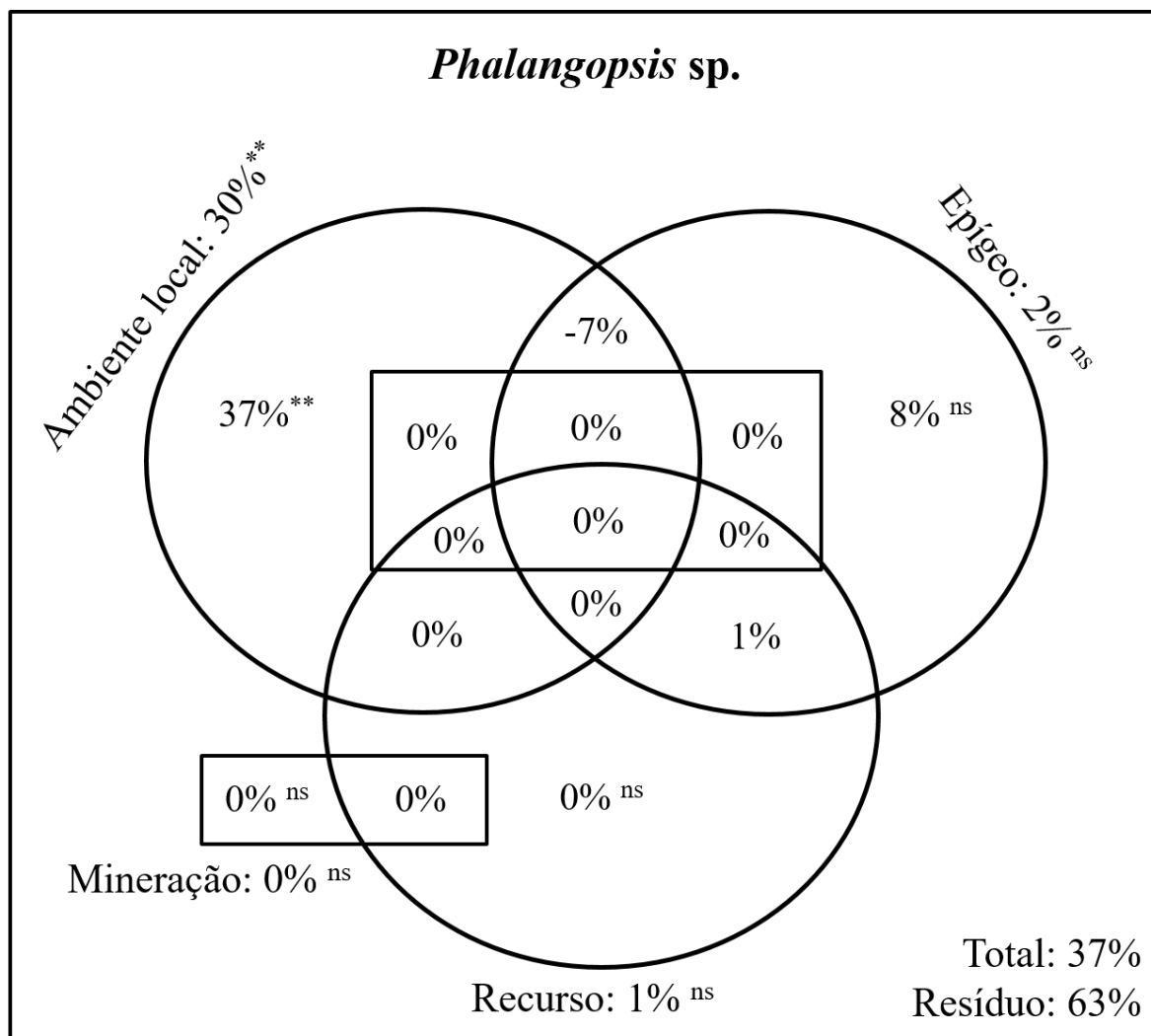


Figura 1: Diagrama de Venn mostrando os resultados da análise de partição da variância. Na figura encontram-se os valores de porcentagem de explicação (R^2 ajustado) dos agrupamentos de variáveis do ambiente local, condições climáticas externas (citado na figura como epígeo), recurso e influência das atividades de mineração (mineração) para determinar o coeficiente de variação da abundância de grilos do gênero *Phalangopsis*. Asterisco indica que a explicação da variável foi significativa e “ns” que não foi significativa. As frações de explicação total (considerando as explicações independentes e compartilhadas) estão listadas acima dos círculos e retângulo, e frações individuais estão indicadas dentro do diagrama de Venn. Áreas de sobreposição do círculo e retângulo indicam porcentagem de explicação compartilhada entre as duas variáveis.

Dentre as variáveis que compuseram o agrupamento ambiente local, a mais importante foi a variação da umidade, seguida por frequência no aparecimento de poças d’água, área, presença e ausência de poças de água e variação na temperatura. As variáveis desnível, altitude e temperatura média não foram consideradas importantes para determinar o coeficiente de variação da abundância de *Phalangopsis* (Tabela 1).

O coeficiente de variação da abundância apresentou relação significativa e negativa com área e frequência de poças d’água. Ou seja, as populações de *Phalangopsis* sp. apresentaram maior

variação na abundância ao longo do tempo, foram menos estáveis, em cavidades de menor tamanho e com menor frequência no aparecimento de poças d’água. Adicionalmente, o coeficiente de variação médio foi maior em cavidades que nunca apresentaram poças d’água ao longo das onze campanhas de monitoramento. Já a relação do coeficiente de variação com a variação da temperatura e umidade nas cavidades foi positiva e significativa. Ou seja, cavidades com maior amplitude nos valores de temperatura e umidade apresentam populações de *Phalangopsis* mais instáveis (Figura 2, A até E).

Tabela 1: Importância de cada uma das variáveis preditoras para explicar o coeficiente de variação da abundância de *Phalangopsis* sp. nas cavidades. O R^2 ajustado (Adj. R^2) foi calculado usando regressão linear e os valores de p foram gerados através de um procedimento de permutação. Valores em negrito são aqueles estatisticamente significativos ($p < 0.05$). * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Categoria	Variável	Adj. R^2
Ambiente	Área	0.17**
	Desnível	0.03
	Altitude	-0.01
	Poças d'água (presença/ausência)	0.10*
	Frequência poças d'água	0.20**
	Temperatura média	0.02
	Varição temperatura	0.09**
	Varição umidade	0.26**
Condições climáticas externas	Precipitação total	-0.01
	Varição da precipitação	-0.01
	Temperatura média	-0.01
	Varição da temperatura	-0.01
	Varição da umidade	-0.01
Recursos	Colônia de morcegos	0.01
Mineração	Distância da área de mineração	-0.009

variação na temperatura (medida através do desvio padrão da temperatura ao longo das onze campanhas de monitoramento) (D), e variação na umidade (medida através do desvio padrão da umidade ao longo das onze campanhas de monitoramento) (E). As barras na figura C indicam desvio padrão. * = $p < 0.05$.

4. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostraram que a estabilidade temporal das populações de *Phalangopsis* sp. está principalmente relacionada às condições ambientais locais das cavidades (área, poças d'água, temperatura e umidade), não apresentando nenhuma relação com a distância das cavidades em relação à mina, disponibilidade de recursos e condições climáticas externas.

Estudos já observaram que comunidades cavernícolas podem apresentar uma alta estabilidade temporal a longo prazo, havendo pouca variação tanto na riqueza quanto no tamanho das populações (RUSSO et al., 1999). Contudo, no presente estudo, com base nas observações de *Phalangopsis* sp., nós demonstramos que os valores de estabilidade podem variar entre cavidades, estando relacionado a características físicas e ambientais das mesmas, tais como a área, presença / ausência e frequência no aparecimento de poças d'água, variação na temperatura e umidade local. Cavidades maiores, com a presença de poças d'água, maior frequência no aparecimento das mesmas e com menor variação na temperatura e umidade apresentaram populações mais estáveis.

Sistemas com maior área geralmente sustentam um maior número de indivíduos (COLLINGE, 1996; DE SOUZA et al., 2001), e, por este motivo, estas populações não sofrem alterações tão drásticas na abundância ao longo do tempo, possuindo maior estabilidade e persistência local. Além disso, cavidades maiores tendem a ter grande áreas isoladas do meio epígeo, podendo proporcionar maior estabilidade ambiental nestes sistemas (BERNARDI, et al. 2017; MOREIRA; TRAJANO 1992), o que pode ajudar a promover estabilidade nas populações (RUSSO et al., 1999). Adicionalmente, cavidades com a presença de poças d'água no seu interior apresentam maior capacidade de minimizar as condições climáticas adversas (e.g. seca) advindas do meio epígeo, o que diminui a variação nos valores de temperatura e umidade locais. Assim, estas cavidades conseguem manter maiores níveis de umidade, que são importantes para *Phalangopsis* sp.

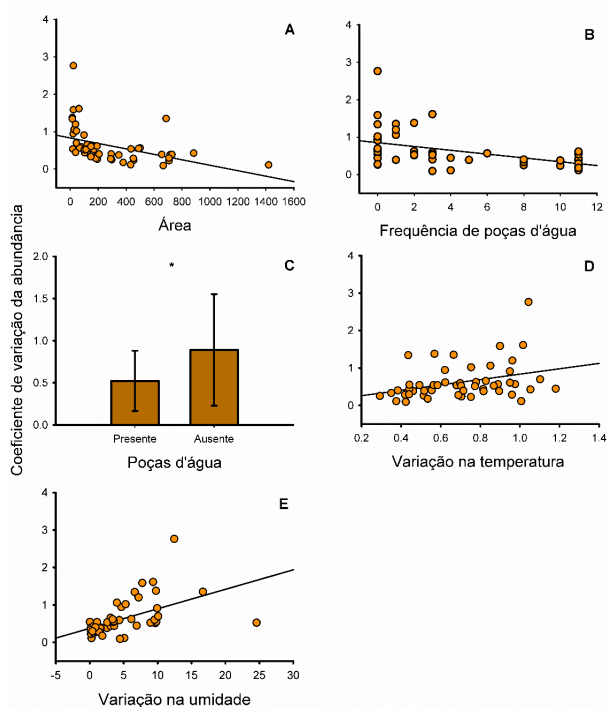


Figura 2: Relação entre o coeficiente de variação da abundância de *Phalangopsis* sp. e a área das cavidades (A), frequência de poças d'água (número de campanhas em que as poças d'água foram encontradas nas cavidades) (B), presença e ausência de poças de água (C),

As condições climáticas externas, disponibilidade de recursos e distância da mina não foram significativamente importantes para determinar a estabilidade populacional de *Phalangopsis*. Algumas hipóteses podem ser apresentadas para explicar estes resultados. Primeiramente, esta espécie é frequentemente encontrada em regiões mais profundas das cavidades na região da Serra dos Carajás, onde as condições são mais favoráveis ao seu estabelecimento (BARBOSA et al., 2017). Por este motivo, *Phalangopsis* sp. pode não ser tão influenciada pelas condições climáticas do meio epígeo. Em segundo lugar, a disponibilidade de recursos foi medida apenas através da variável abundância média de morcegos. Contudo, indivíduos do gênero *Phalangopsis* foram observados se alimentando de uma grande diversidade de recursos durante os trabalhos de campo, especialmente de detritos orgânicos, carcaças de animais e guano. Assim, esta é uma espécie provavelmente generalista, que pode usar outros tipos de recursos no interior das cavidades igualmente a outras espécies de grilos encontrados em cavernas, como aqueles dos gêneros *Endecous* e *Strinatia*, que também pertence à família Phalangopsidae (GNASPINI; PELLEGRINI; FRANCO 2002; TRAJANO; MOREIRA 1991). Ou seja, os *Phalangopsis* que se encontram em cavernas com um número baixo de morcegos podem estar usando recursos alternativos, fazendo com que a população não seja prejudicada. De acordo com Russo et al. (1999), a diminuição no aporte de um tipo de recurso pode não ser o fator que determina a estabilidade das populações em uma cavidade. Isso pode acontecer especialmente em cavidades de minério de ferro, onde são geralmente encontrados outros tipos de recursos, que podem servir como fonte de alimento para as espécies detritívoras, como matéria orgânica vegetal e principalmente raízes (FERREIRA et al., 2005; FERREIRA et al., 2015).

Existem evidências de que impactos no ambiente subterrâneo, sejam causados pelo homem ou por mudanças ambientais, podem afetar negativamente as espécies cavernícolas (BERNARDI et al. 2011; PELLEGRINI; FERREIRA 2012; LAKE et al., 1989; DEATH, 1996). Contudo, este não foi o resultado encontrado neste estudo. É possível que o período de três anos de monitoramento não seja suficiente para se obter algum tipo de resposta dos grilos em relação aos

impactos observados. Outra possibilidade é que as atividades de mineração que estão sendo realizadas ao redor das cavidades possam ser menos relevantes que as características físicas do ambiente cavernícola na determinação da estabilidade nas populações de *Phalangopsis* sp. Em geral, invertebrados apresentam um ciclo de vida curto, e por este motivo respondem rápido a distúrbios. Contudo, é importante ressaltar que pouco se sabe sobre o ciclo de vida da espécie avaliada e mais informações seriam necessárias para concluir se seu tempo de resposta acontece em curto ou longo prazo.

5. CONCLUSÕES

Nossos resultados mostraram que a estabilidade populacional de *Phalangopsis* sp. está estritamente vinculada às condições ambientes locais das cavidades naturais subterrâneas. A presença de recursos, condições climáticas externas e distância da área de mineração não se mostraram importantes para determinar uma maior ou menor flutuação populacional nas cavidades. Avaliar a estabilidade temporal das populações pode ser uma ótima ferramenta para ser usada no monitoramento ambiental de sistemas subterrâneos, principalmente quando temos o intuito de responder questões relacionadas à perturbação vinculadas ao processo de mineração. O estudo da estabilidade populacional pode ser um ótimo indicativo de como as espécies estão respondendo a um distúrbio ao longo do tempo. Além disso, as flutuações na abundância são capazes de refletir o quanto uma população pode persistir nas cavidades. Populações instáveis (que variam muito ao longo do tempo) são mais susceptíveis a extinções locais do que populações estáveis. Quanto mais variável o tamanho de uma população, maior é sua susceptibilidade a estocasticidades ambientais e maior será a probabilidade do tamanho populacional chegar a zero (FAGAN et al. 2001, TSCHARNTKE et al. 2002).

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à equipe de campo (Juliana Mascarenhas, Luana da Silva, Carlos Henrique Sena e Daniele Pedrosa), a Adimir Rezende (cálculo da distância mineração) e pelo auxílio dado pelas empresas VALE S.A pelo apoio financeiro e fomento à pesquisa e Brandt Meio Ambiente pelo apoio logístico durante as atividades na Floresta Nacional de Carajás.

REFERÊNCIAS

- AULER, A.S., PILÓ, L.B. Caves and mining in Brazil: the dilemma of cave preservation within a mining context. In: ANDREO, B., CARRASCO, F., DURÁN, J.J., JIMÉNEZ, P., MOREAUX, J.W. (Eds.) **Environmental earth sciences**. Berlin, Heidelberg: Springer. 2015. p. 487-496.
- BARBOSA, S.G.; SIMÕES, M.H.; MACHADO, P. B.; LOPES, R.R.; PIETROBON, T.; PROUS, X. Áreas de ocupação de duas espécies de grilos em cavernas ferríferas da região de Carajás, estado do Pará. In: II Simpósio Brasileiro de Biologia Subterrânea, Lavras. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Biologia Subterrânea**, 2017. p. 45.
- BERNARDI, L.F.O.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R., L. Efeitos do uso turístico sobre cavidades subterrâneas artificiais: subsídios para o uso antrópico de sistemas subterrâneos. **Tourism and Karst Areas**, v. 4, n. 2, p. 71-88, 2011.
- BERNARDI, L.F.O.; MASCARENHAS, J.; BEZERRA, T.M.O.; AUDINO, L.D.; SENA, C.H.; SILVA, L. Considerações sobre as condições climáticas (temperatura e a umidade do ar) em cavidades naturais ferruginosas de Carajás, Parauapebas. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (Orgs.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, Ouro Preto. **Anais do 34 Congresso Brasileiro de Espeleologia**, 2017. p.289-295. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_289-295.pdf>.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P.; DRAPEAU, P. Partialling out the spatial component of ecological variation. **Ecology**, v. 73, n. 3, p. 1045-1055, 1992.
- CHRISTMAN, M.C.; CULVER, D.C.; MADDEN, M.K.; WHITE, D. Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 1441–1452. 2005.
- COLLINGE, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 36, n. 1, p. 59-77, 1996.
- COWLISHAW, G.; PETTIFOR, R. A.; ISAAC, N. J. B. High variability in patterns of population decline: the importance of local processes in species extinction. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 276, p. 63-69, 2008.
- DEATH R.G. The effect of patch disturbance on stream invertebrate community structure: the influence of disturbance history. **Oecologia**, v. 108, p. 567- 576, 1996.
- DESOUZA, O.; SCHOEREDER, J. H.; BROWN, V.; BIERREGAARD, R. O. A theoretical overview of the processes determining species richness in forest fragments. In: BIERREGAARD, R. O.; GASCON, C.; LOVEJOY, T.; MESQUITA, R. (Eds.). **Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest**. New Haven & London: Yale University Press, 2011. p. 13-21.
- DORNELAS, M., MAGURRAN, A.E; BUCKLAND, S.T.; CHAO, A.; CHAZDON, R.L.; COLWELL, R.K.; CURTIS, T.; GASTON, K.J.; GOTELLI, N.J.; KOSNIK, M.A.; MCGILL, B.; McCUNE, J.L.; MORLON, H., MUMBY, P.J.; OVREÅS, L.; STUDENY, A.; VELLEND M. Quantifying temporal change in biodiversity: challenges and opportunities. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 280, n. 1750, p. 1-10, 2012.
- FAGAN, W.F.; MEIR, E.; PRENDERGAST, J.; FOLARIN, A.; KARIEVA, P. Characterizing population vulnerability for 758 species. **Ecology Letters**, v. 4, p. 132-138, 2001.
- FERREIRA, R.L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, v. 3, n. 17, p. 106-115, 2005.

- FERREIRA, R.L.; OLIVEIRA, M.P.A.; SILVA, M.S. Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i, 2015. p. 195-231.
- GNASPINI, P.; PELLEGATI-FRANCO, F. Biology of Brazilian crickets - The cavernicolous *Strinattia brevipennis* Chopard, 1970 and the epigeal *Endecous itatibensis* Rehn, 1918 (Ensifera: Phalangopsidae) in the laboratory. I Feeding, reproducing and egg survival. **Giornale Italiano di Entomologia** v. 10, p. 123–132, 2002.
- HUNTER, M.L. Conserving small natural features with large ecological roles: An introduction and definition. **Biological Conservation**, v. 211, p.1-2, 2017.
- IVES, A.R. Predicting the Response of Populations to Environmental Change. **Ecology**, v.76, n.3, p. 926-941. 1995.
- JAFFÉ, R, PROUS, X.; ZAMPAULO, R.; GIANNINI, T.C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; MAURITY, C.; OLIVEIRA, G.; BRANDI, I.V.; SIQUEIRA, J.O. Reconciling Mining with the Conservation of Cave Biodiversity: A Quantitative Baseline to Help Establish Conservation Priorities. **PLoS ONE**, v.11, n.12, p.1-16, 2016.
- JAFFÉ, R.; PROUS, X.; CALUX, A.; GASTAUER, M.; NICACIO, G.; ZAMPAULO, R.; SOUZA-FILHO, P.W.M.; OLIVEIRA, G.; BRANDI, I.V.; SIQUEIRA, J.O. Conserving relics from ancient underground worlds: assessing the influence of cave and landscape features on obligate iron cave dwellers from the Eastern Amazon. **PeerJ**, v. J6:e4531, p.1-23, 2018.
- KAMPICHLER, C.; TURNHOUT C.A.M.; DEVICTOR, V.; JEUGD, H.P. Large-scale changes in community composition: determining land use and climate change signals. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. 1-9, 2014.
- KAREIVA, P.; KINGSOLVER, J. G.; HUEY, R. B. **Biotic interactions and global change**. Sinauer Associates: Sunderland, Massachusetts, USA. 1993. 480p.
- LAKE P.S.; DOEG, T.J.; MARCHANT, R. Effect of multiple disturbance on macroinvertebrate communities in the Acheron River, Victoria. **Australian Journal of Ecology**, v. 14, p. 507-514, 1989.
- MAGURRAN, A.E.; BAILLIE, S.R.; BUCKLAND, S.T.; DICK, J. McP.; ELSTON, D.A.; SCOTT, E.M.; SMITH, R.I.; SOMERFIELD, P.J.; WATT, A.D. Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 10, p. 574-582, 2010.
- MAIR, L; HILL, J.K.; FOX, R.; BOTHAM, M.; BRERETON, T.; THOMAS, C.D. Abundance changes and habitat availability drive species' responses to climate change. **Nature climate changes**, v. 4, p. 127-131, 2014.
- MÁJEKOVÁ, M.; de BELLO, F.; DOLEZAL, J; LEPS, J. Plant functional traits as determinants of population stability. **Ecology** v.95, p.2369–2374, 2014.
- MEDELLIN, R.A.; WIEDERHOLT, R.; LOPEZ-HOFFMAN, L. Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. **Biological Conservation**, v. 211, p. 45-50, 2017.
- MOREIRA, J. R. A.; TRAJANO, E. Estudo de topoclima de cavernas da Província Espeleológica arenítica Altamira-Itaituba, Pará. **Espeleo-Tema**, v. 16, p. 75–82, 1992. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/Espeleo-Tema_v16_075-082.pdf.

- MROWICKI, R. J.; O'CONNOR, N. E.; DONOHUE, I. Temporal variability of a single population can determine the vulnerability of communities to perturbations. **Journal of Ecology**, v.104, p.887-897, 2016.
- PECHMANN, J.H.K.; SCOTT, D.E.; SEMLITSCH, R.D.; CALDWELL, J.P.; VITT, L.J.; GIBBONS, W. Declining Amphibian Populations: The Problem of Separating Human Impacts from Natural Fluctuations. **Science**, v.253, p.892-895, 1991.
- PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R.L. Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation. **International Journal of Speleology**, v. 41, p. 361-368, 2012.
- PELLEGRINI, T.G.; SALES, L.P.; AGUIAR, P.; FERREIRA, R.L. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology**, v. 18, p. 17-38, 2016.
- PERES-NETO, P. R. et al. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. **Ecology**, v. 87, n. 10, p. 2614-2625, 2006.
- PIPAN, T.; CULVER, D.C. Forty years of epikarst: what biology have we learned? **International Journal of Speleology**, v. 42, n. 3, p. 215-223, 2013
- OKSANEN, J.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, H.H.; SZOECs, E.; WAGNER, H. **Package vegan: Community Ecology Package R package version 2.3-1**. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=vegan>>. 2016.
- OLIVER, T.; ROY, D.B.; HILL, J.K.; BRERETON, T.; THOMAS, C.D. Heterogeneous landscapes promote population stability. **Ecology Letters**, v.13, p. 743-484, 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing computer program**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018.
- RUSSO, C.; CARCHINI, G.; RAMPINI, M.; LUCARELLI, M., SBORDONI, V. Long term stability of a terrestrial cave community. **International Journal of Speleology**, v. 26, n. 1-2, p. 75-88, 1999.
- SIMÕES, M.H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R.L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. **Subterranean Biology**, v. 16, p. 103-121, 2015.
- TRAJANO, E. & MOREIRA, J.R.A. Estudo da fauna de cavernas da Província Espeleológica Arenítica Altamira-Itaituba. **Revista Brasileira de Biologia**, n. 51, v. 1, p. 13-29, 1991.
- TSCHARNTKE, T.; STEFFAN-DEWENTER, I; KRUESS, A.; THIES, C. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. **Ecological Applications**, v. 12, p. 354-363. 2002.
- WHITTEN, T. Applying ecology for cave management in China and neighboring countries. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, p. 520-523. 2009.
- ZEPON, T.; BICHUETTE, M. Influence of substrate on the richness and composition of neotropical cave fauna. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n.3, p. 1615-1628, 2017.
- ZHAO, Y.H.; GOZLAN, R.E.; ZHANG, C.G. Out of sight out of mind: current knowledge of Chinese cave fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 79, p. 1545-1562, 2011.