



**LUANA ZURLO FONSECA**

**FORMIGAS EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA  
AMAZÔNIA: INDICADORAS DE DIVERSIDADE E FATORES  
QUE AS INFLUENCIAM**

**LAVRAS –MG**

**2018**

**LUANA ZURLO FONSECA**

**FORMIGAS EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA AMAZÔNIA: INDICADORAS  
DE DIVERSIDADE E FATORES QUE AS INFLUENCIAM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira  
Orientador  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carla Rodrigues Ribas  
Co-orientadora

**LAVRAS – MG**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Zurlo, Luana Zurlo Fonseca.

Formigas em cavernas ferruginosas da Amazônia: indicadoras  
de diversidade e fatores que as influenciam / Luana Zurlo Fonseca.

- 2018.

42 p.

Orientador(a): Rodrigo Lopes Ferreira.

Coorientador(a): Carla Rodrigues Ribas.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Formicidae. 2. bioindicador. 3. biodiversidade subterrânea. I.  
Ferreira, Rodrigo Lopes. II. Ribas, Carla Rodrigues. III. Título.

**LUANA ZURLO FONSECA**

**FORMIGAS EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA AMAZÔNIA: INDICADORAS  
DE DIVERSIDADE E FATORES QUE AS INFLUENCIAM**

**ANTS IN FERRUGINOUS CAVES OF THE AMAZON: DIVERSITY INDICATORS  
AND FACTORS THAT INFLUENCE THEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de março de 2018  
Dr<sup>a</sup>. Renata Bernardes Faria Campos UNIVALE  
Dr. Paulo dos Santos Pompeu UFLA

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira  
Orientador  
Prof. Dra. Carla Rodrigues Ribas  
Co-orientadora

**LAVRAS – MG  
2018**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde, força e perseverança para concluir mais uma etapa da realização de um sonho.

À toda minha família, pelo apoio, confiança e incentivo na minha profissão.

Ao CEBS, por toda ajuda e principalmente por todas as risadas. Principalmente ao Grilão, Pepa, Mamã Urso, Vaca, Protolesma e Titó, pela ajuda em campo e pós campo.

Ao LEF, o laboratório mais precioso desse mundo, que continuou me ajudando e dando todo suporte necessário, principalmente emocional.

À todo o pessoal da Ecologia, o setor mais lindo da UFLA, principalmente à Ellen.

Ao Marcus Paulo Oliveira e à empresa BioEspeleo Consultoria Ambiental, por toda ajuda e apoio desde o início do projeto e principalmente pela disponibilização dos dados utilizados na elaboração desta dissertação.

Ao Prof. Rodrigo Lopes Ferreira, Drops, Mestre, pela orientação que desde nossa primeira conversa foi extremamente solícito e sempre me deixou à vontade para desenvolver o projeto de minha escolha e que muito me ensinou sobre biologia subterrânea e ecologia.

À Profa. Carla, minha eterna orientadora, por todos ensinamentos desde minha graduação.

À empresa VALE S.A., pelo fomento do projeto e da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Setor de Ecologia Aplicada, pela oportunidade.

*“O amor por todas as formas de vida é o mais nobre atributo de um homem. ” (Charles Darwin)*

## RESUMO

Apesar das formigas serem frequentemente encontradas em cavernas muito estudos consideram que sua presença se dá de forma acidental nesses ambientes. As formigas têm sido muito utilizadas como um grupo indicador de diversidade em diversos ambientes. Nesse estudo pretendeu-se avaliar se formigas podem ser consideradas boas indicadoras de diversidade em cavernas. Além disso, também foram analisadas variáveis ambientais que influenciam a riqueza de composição de espécies de formigas em cavernas. Foi encontrado nesse trabalho, que as formigas possuem maior potencial de indicação de diversidade em cavernas, uma vez que sua riqueza está correlacionada com maior número de grupos analisados (coleóptera e troglóbios) além de apresentar maior valor de correlação com riqueza total de espécies coletadas. A presença de guano de morcegos, a área da caverna e a estação coletada foram as variáveis que mais influenciaram a riqueza de espécies de formigas em cavernas. A presença de guano e a área da caverna foram as variáveis que mais influenciaram a composição de espécies de formigas em cavernas. Portanto, pode-se concluir que ao contrário da presença da maioria de espécies de formigas não se dá de forma acidental nesses ambientes. Além disso, fica evidente a importância do estudo desses organismos nesses ambientes uma vez que estes revelam padrões ecológicos importantes.

**Palavras-chave:** Formicidae. Bioindicador. Biodiversidade subterrânea.

## ABSTRACT

Although ants are often found in caves, many studies consider that their presence occurs accidentally in these environments. Ants have been widely used as an diversity indicator group in various environments. In this study it was intended to evaluate if ants can be considered good diversity indicators in caves. In addition, were also analyzed the environmental variables that influence the richness and composition of ant species in caves. It was found in this work, that the ants have a greater potential for diversity indication in caves, since their richness is correlated with a larger number of analyzed groups (coleoptera and troglóbios) besides presenting a higher value of correlation with total collected species richness. The presence of bat guano, the cave area and the collected season were the variables that most influenced the ant species richness in caves. The presence of guano and the cave area were the variables that most influenced the ant species composition in caves. Therefore, it can be concluded that the presence of ants does not occur accidentally in these environments. In addition, the importance of studying these organisms in these environments is evident as they reveal important ecological patterns.

**Palavras-chave:** Formicidae. Bioindicator. Subterranean biodiversity.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: FORMIGAS PODEM SER UTILIZADAS COMO INDICADORAS DE DIVERSIDADE EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA AMAZÔNIA? .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Caracterização da área e coleta dos dados .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Análise de dados .....</b>	<b>14</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 2: QUAIS FATORES DETERMINAM A RIQUEZA E COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES DE FORMIGAS EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA AMAZÔNIA? ..</b>	<b>20</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>21</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Caracterização da área.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Coleta de dados .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Análise de dados .....</b>	<b>25</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTAR.....</b>	<b>31</b>
<b>Referências .....</b>	<b>32</b>

**CAPITULO 1: FORMIGAS PODEM SER UTILIZADAS COMO INDICADORAS  
DE DIVERSIDADE EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA AMAZÔNIA?**

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi verificar se formigas podem ser utilizadas como indicadoras de diversidade de invertebrados em cavernas ferruginosas da Amazônia. Especificamente, pretendeu-se responder às seguintes questões: *i)* a riqueza de espécies de formigas está correlacionada com a riqueza das quatro ordens de invertebrados mais ricas em espécies encontrados nas cavernas? *ii)* a riqueza de espécies de formigas está correlacionada com a riqueza de espécies de troglóbios e com a riqueza total de invertebrados observada nas cavernas? Foram amostradas 69 cavernas ferruginosas da Serra do Tarzan, situada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, Pará. Foram realizadas coletas ativas nas cavernas, inspecionando todos micros habitats existentes à procura por invertebrados. A riqueza de espécies de formigas está 60% correlacionada com a riqueza de Coleoptera e 60% correlacionada com a riqueza de troglóbios. Além disso, a riqueza de espécies de formigas está 77% correlacionada com a riqueza total de invertebrados. Foi concluído que nesse estudo as formigas possuem maior potencial como indicadoras de diversidade em cavernas ferruginosas da Amazônia uma vez que dentre os grupos analisados, a riqueza de formigas esta correlacionada com o maior número deles (Coleoptera e troglóbios), além disso possui o maior valor de correlação com a riqueza total.

**Palavras-chave:** Formicidae. Bioindicador. Biodiversidade subterrânea.

## 1 INTRODUÇÃO

As cavernas ferruginosas são cavidades naturais subterrâneas situadas em relevos rochosos ferríferos que apresentam diversas características marcantes e exclusivas desse tipo de litologia, tornando-as habitats singulares e complexos, caracterizados por sua elevada diversidade biológica (FERREIRA, 2005; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011). Tal singularidade deve-se ao fato de que estas cavernas tendem a apresentar uma relação entre a riqueza de espécies e a dimensão da caverna bastante distinta da observada em cavernas associadas a outros tipos de rocha, além de possuírem uma fauna que tende a ser bastante distinta da observada em cavernas de outras litologias, mesmo associadas a um mesmo bioma (FERREIRA, 2005; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011).

Os relevos onde cavernas ferruginosas estão inseridas, conhecidos como geossistemas ferruginosos, são ambientes extremamente importantes e altamente diversificados, contendo uma elevada taxa de endemismos além de possuírem uma das maiores concentrações de cavernas do Brasil (CARMO; KAMINO, 2015). No Brasil, a ocorrência destes ecossistemas limita-se principalmente à região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais e à Serra dos Carajás no Pará (JACOBI; CARMO, 2008; (SCHAEFER et al., 2015). Além disso, os geossistemas ferruginosos brasileiros são alvo de um enorme interesse econômico, uma vez que representam 11,9% dos depósitos de ferro do mundo (DNPM, 2015). Apesar de sua enorme importância biológica, geológica e econômica, a escassez de estudos nessas regiões é preocupante. Em uma pesquisa feita em 2015 utilizando palavras chaves relacionada aos geossistemas ferruginosos, foram encontrados somente 189 artigos científicos publicados a partir de 1962 (CARMO; KAMINO, 2015). Desses 189 trabalhos, a maior produção encontra-se no Brasil, porém com um total de apenas 57 artigos, sendo que destes, 22% estão concentrados na área da Biologia.

Considerando a carência de estudos, elevada taxa de endemismo, abrangência restrita e a demanda crescente por minério de ferro, esses ecossistemas se tornam ambientes extremamente ameaçados e devem se tornar prioritários para a conservação (CAMPOS, CASTILHO, 2012; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2014; CARMO; KAMINO, 2015). No entanto, atualmente, inexistem políticas públicas no Brasil que conciliem a preservação desses ecossistemas com sua exploração mineral (CARMO; KAMINO, 2015).

Na atual legislação brasileira, somente as cavidades naturais subterrâneas que apresentarem grau de relevância máximo não podem ser objetos de impactos negativos irreversíveis (BRASIL, 2008). Um dos atributos que classifica uma cavidade como de máxima

relevância (tornando-a integralmente protegida por lei), é apresentar populações geneticamente viáveis de espécies troglóbias endêmicas, relictas ou raras, ou seja, organismos exclusivamente encontrados no ambiente cavernícola. No entanto, ao se considerar apenas os troglóbios e não avaliar outros organismos, informações importantes podem estar sendo perdidas, ou mesmo cavernas que possuem funções importantes podem estar sendo sub-valorizadas.

As formigas, além de estarem presentes em quase todos os ambientes terrestres (WILSON, 1987), são frequentemente encontradas em cavernas (PAPE, 2016). Além disso, as formigas fazem parte de uns dos táxons mais ricos em espécies em muitos trabalhos sobre fauna cavernícola (BERNARDI et al., 2012; BERNARDI; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2011; GALLÃO; BICHUETTE, 2015; INIESTA et al., 2012; SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2012; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2009a, 2009b; SOUZA-SILVA; NICOLAU; FERREIRA, 2011). No entanto, a ocorrência de formigas em cavernas, muitas vezes, foi considerada acidental (DÁTTILO et al., 2012; PAPE, 2016; TINAUT; LOPEZ, 2001; WILSON, 1962). A quantidade de estudos sobre formigas em cavernas ainda é escasso (PAPE, 2016) e portanto, o conhecimento sobre a função efetiva desses organismos em ambientes cavernícolas ainda é limitado.

As formigas são extremamente abundantes, diversas e facilmente coletadas e identificadas (ALONSO, 2000; SOUZA et al., 2012). São ecologicamente importantes uma vez que atuam em quase todos os níveis da teia trófica (DELABIE et al., 2009), possuem uma série de interações mutualísticas e desempenham diversas funções ecossistêmicas (LACH; PARR; ABBOTT, 2010). Devido às características mencionadas e seu papel inquestionável no funcionamento dos ecossistemas, as formigas têm sido consideradas espécies chaves e amplamente utilizadas como táxon indicador de diversidade (ALONSO, 2000; LEAL et al., 2010; MAJER; ORABI; BISEVAC, 2007).

Indicadores de diversidade são grupos taxonômicos que podem ser usados como substitutos da diversidade ou da composição de outros grupos (MCGEOCH, 1998). Para isso, a correlação média entre táxons distintos pode indicar o quão eficiente é a substituição de um pelo outro (MAJER; ORABI; BISEVAC, 2007). Além dos indicadores de diversidade existem também os organismos ditos como indicadores ecológicos e indicadores ambientais (MCGEOCH, 1998). Os invertebrados se encaixam nessas três categorias onde são cada vez mais são utilizados como indicadores de impactos ambientais, da qualidade do ambiente (indicadores ambientais e ecológicos) e também da diversidade ou da composição de outros organismos (MCGEOCH, 1998; MCGEOCH et al., 2011). A utilização desses indicadores se torna pertinente uma vez que eles são capazes de representarem outros táxons e fornecerem respostas ecológicas

satisfatórias em um menor período de tempo (ANDERSEN, 1995; LANDEIRO et al., 2012), principalmente em regiões megadiversas como a Amazônia, onde é escasso as informações sobre a maioria dos grupos biológicos (MARGULES; PRESSEY; WILLIAMS, 2002).

O tempo e os recursos necessários para identificar espécies prejudicam o monitoramento da biodiversidade, principalmente em taxóons diversos e pouco conhecidos como invertebrados. Desta forma, grande parte dos planejamentos em conservação são baseados em indicadores de diversidade (BROWN, 1997; LARSEN; BLADT; RAHBK, 2009; MCGEOCH, 1998). Considerando a ameaça dos geossistemas ferruginosos, encontrar indicadores de diversidade para possíveis planejamentos de conservação, de uma forma mais rápida e econômica, é crucial. Este trabalho é a primeira tentativa de encontrar indicadores de diversidade para cavernas associadas a este tipo de rocha. Neste contexto, o objetivo desse trabalho é verificar se formigas podem ser utilizadas como possíveis indicadoras de diversidade em cavernas ferruginosas da Amazônia. Especificamente, pretende-se responder às seguintes questões: *i*) a riqueza de espécies de formigas está correlacionada com a riqueza das quatro ordens mais ricas em espécies encontrados nas cavernas? *ii*) a riqueza de espécies de formigas está correlacionada com a riqueza de espécies de troglóbios e com a riqueza total observada nas cavernas?

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Caracterização da área e coleta dos dados**

Os dados utilizados foram obtidos através de coletas realizadas em janeiro e julho de 2016 pela empresa BioEspeleo Consultoria Ambiental. Foram selecionadas 69 cavernas inseridas na Serra do Tarzan, situada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PNCF), Serra dos Carajás, Pará (Mapa 1 – Material Suplementar). A criação do PNCF foi decretada recentemente, ele possui uma área total de 79.029ha (setenta e nove mil e vinte e nove hectares) abrangendo a Serra da Bocaína e a Serra do Tarzan, localizadas nos municípios de Canaã de Carajás e de Parauapebas (BRASIL, 2017).

Foram realizadas nas cavernas, coletas ativas pelo método de plotagem (FERREIRA, 2004), onde sempre a mesma equipe composta por quatro biólogos com experiência similar na aplicação do método realizou a inspeção dos micros habitats existentes à procura por invertebrados. Os organismos coletados foram armazenados em álcool 100% e identificados até o menor nível taxonômico possível e posteriormente separados por morfótipos. As formigas foram montadas e identificadas com chave (BACCARO et al., 2015), a nível de gênero e posteriormente separadas por morfótipos.

## 2.2 Análise de dados

Para verificar se formigas podem ser utilizadas como possíveis indicadoras de diversidade em cavernas ferruginosas da Amazônia também foram realizadas análises com outros grupos taxonômicos a fim de comparar os resultados e verificar a eficiência da utilização de formigas como indicadoras nesses ambientes. Portanto, além das formigas, foram utilizadas nas análises as quatro ordens mais ricas em espécies encontradas nas 69 cavernas amostradas (Araneae, Coleoptera, Hemiptera e Diptera). Em conjunto, estas ordens representaram aproximadamente 50% da riqueza obtida. Além desses grupos, também foram utilizadas as espécies de troglóbios encontrados.

Foram utilizadas as matrizes de distribuição das espécies (presença e ausência) por caverna, juntando os dados das duas estações coletadas, para cada grupo taxonômico. Foram realizadas correlações de Spearman, utilizada para dados não paramétricos (MYERS; SIROIS, 2006), entre as riquezas de cada par de grupo taxonômico. Também foram realizadas correlações de Spearman entre a riqueza de cada grupo e a riqueza total observada em cada caverna. A riqueza total foi calculada excluindo a riqueza do taxon alvo correlacionado a fim de evitar auto correlação. As correlações foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2015) com a utilização da função “cor.test”. Para identificar quais grupos taxonômicos podem ser usados como indicadores, foram utilizados os coeficientes de correlação de Spearman ( $R_s$ ). Como não existe um valor de referência para fornecer uma previsão confiável de quando uma espécie pode ser considerada indicadora de outra, foi definido como sendo um indicador “razoável” quando  $60 \leq R_s < 70$ , “bom” quando  $70 \leq R_s < 80$  e “excelente” quando  $R_s \geq 80$  (LEAL et al., 2010).

## 3 RESULTADOS

No total foram encontradas 93 morfótipos pertencentes à ordem Coleoptera, 85 morfótipos pertencentes a ordem Araneae, 69 morfótipos pertencentes à ordem Diptera, 62 morfótipos pertencentes a família Formicidae e 49 morfótipos pertencentes a ordem Hemiptera (Material suplementar). Além disso, foram encontradas nove espécies consideradas troglóbios, pertencentes as ordens Mesostigmata, Glomeridesmida, Polydesmida, Amphipoda, Isopoda e Collembola.

Foi encontrado que o grupo Formicidae pode ser considerado um indicador razoável da riqueza de Coleoptera ( $R_s=0,60$ ;  $p \leq 0,001$ ) e da riqueza de troglóbios ( $R_s=0,60$ ;  $p \leq 0,001$ ) (Tabela 1). Além disso, a ordem Hemiptera também pode ser considerada um indicador razoável da riqueza de troglóbios ( $R_s=0,60$ ;  $p \leq 0,001$ ) (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficientes das correlações de Spearman ( $R_s$ ) entre as riquezas de cada par de táxons.

	Formicidae	Coleoptera	Araneae	Hemiptera	Diptera	Troglóbios
Formicidae	-	<b>0,60***</b>	<b>0,57***</b>	<b>0,53***</b>	<b>0,27*</b>	<b>0,60***</b>
Coleoptera		-	<b>0,52***</b>	<b>0,49***</b>	<b>0,40***</b>	<b>0,51***</b>
Araneae			-	<b>0,35**</b>	<b>0,40***</b>	<b>0,40***</b>
Hemiptera				-	0,22	<b>0,60***</b>
Diptera					-	<b>0,37**</b>
Troglóbios						-

Legenda: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$  ; \*\*\*  $p \leq ,001$

Fonte: Do autor (2018).

Foram classificados os grupos que possuem maior correlação positiva com a riqueza total (Tabela 2). Foram encontrados que os grupos Formicidae e troglóbios podem ser considerados bons indicadores da riqueza total em cavernas ferruginosas da Amazônia ( $R_s=0,77$ ;  $R_s=0,70$ ; respectivamente) ( $p \leq 0,001$ ). Além disso, as ordens Araneae, Coleoptera e Hemiptera podem ser consideradas indicadores razoáveis da riqueza total ( $R_s=0,67$ ;  $R_s=0,66$ ;  $R_s=0,61$ ; respectivamente).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Spearman ( $R_s$ ) entre riqueza total e riqueza dos táxons ( $p \leq 0,001$ )

	$R_s$ (Staxon X Stotal - Staxon alvo)
Formicidae	0,77
Troglóbios	0,7
Araneae	0,67
Coleoptera	0,66
Hemiptera	0,61
Diptera	0,49

Fonte: Do autor (2018).

#### 4 DISCUSSÃO

Pesquisas anteriores, já demonstraram a correlação positiva entre formigas e besouros (LAWTON et al., 1998; LEAL et al., 2010; SAUBERER et al., 2004). Porém, a intensidade da correlação foi mais forte nesse estudo que comparou esses grupos em cavernas. Essa é a primeira vez em que se verificou a correlação entre a riqueza de espécies de formigas e de espécies troglóbias. Tanto formigas, quanto hemípteros, podem ser utilizados como indicadores

razoáveis da riqueza de troglóbios. Ou seja, quanto maior a riqueza desses táxons, maior a riqueza de troglóbios. No entanto, tal resultado deve ser utilizado com cautela. É possível utilizar formigas e hemípteros como indicadores da diversidade de troglóbios como forma de agilizar a exploração sobre a fauna troglóbia, mas não para sanar ou substituir, de fato, a identificação desses organismos, em quaisquer estudos, uma vez que eles são o foco de conservação destes ambientes. Essa ferramenta pode ser útil uma vez que a avaliação realizada para diagnosticar se uma espécie é troglóbia, é muitas vezes complexa, especialmente em regiões tropicais, onde muito pouco se conhece sobre a maioria dos grupos de invertebrados.

Existem mais de 150 espécies coletadas em cavernas ferruginosas troglomórficas, ou seja, indivíduos que possuem características, principalmente morfológicas, que estão relacionadas à adaptação dos organismos ao ambiente subterrâneo (FERREIRA; OLIVEIRA; SOUZA-SILVA, 2015). No entanto, dentre essas, apenas uma pequena parte foi descrita como troglóbia, até o momento: *Circoniscus buckupi* (Isopoda: Scleropactidae) (SOARES et al., 2011), *Circoniscus carajasensis* (Isopoda: Scleropactidae) (SOARES et al., 2011), *Coarazuphium tapiaguassu* (Coleoptera: Carabidae) (PELLEGRINI; FERREIRA, 2011), *Brasilomma enigmatica* (Araneae: Prodidomidae) (BRESCOVIT et al., 2012), *Ferricixius davidi* (Hemiptera: Cixiidae) (HOCH; FERREIRA, 2012), *Glomeridesmus spelaeus* (Glomeridesmida: Glomeridesmidae) (INIESTA; FERREIRA; WESENER, 2012), *Copelatus cessaima* (Coleoptera: Dyticidae) (CAETANO; DE BENÁ; VANIN, 2013), *Pseudonannolene spelaea* (Spirostreptida: Pseudonannolenidae) (INIESTA; FERREIRA, 2013), *Harmonicon cerberus* (Araneae: Dipluridae) (PEDROSO; BAPTISTA, 2014), *Troglobius ferroicus* Zeppelini (Collembola: Paronellida) (ZEPPELINI; DA SILVA; PALACIOS-VARGAS, 2014). O número restrito de espécies troglóbias descritas, deve se ao fato de que não é uma tarefa simples determinar se uma espécie é verdadeiramente troglóbia. Conceitualmente, uma espécie é dita como troglóbia quando ela se restringe ao ambiente subterrâneo, ou seja, quando é incapaz de estabelecer populações viáveis no meio externo (SKET, 2008). No entanto, delimitar a extensão do habitat ocupado por uma espécie aparentemente troglóbia pode ser extremamente difícil, uma vez que as cavernas ferruginosas são conectadas ao meio externo por uma série de microcanalículos, fraturas e canais, o que faz com que elas possam se aproximar da superfície com mais frequência (FERREIRA, 2005). Assim, devido às dificuldades mencionadas, habitualmente é utilizado em regiões tropicais a identificação de características troglomórficas para diagnosticar uma espécie como troglóbia (FERREIRA; OLIVEIRA; SOUZA-SILVA, 2015). No entanto, determinar os troglomorfismos também não é uma tarefa simples, uma vez que tais características diferem de um taxón para outro e, portanto, é necessário conhecer

profundamente a biologia de cada grupo com o objetivo de identificar a existência desses traços (FERREIRA; OLIVEIRA; SOUZA-SILVA, 2015). Devido às dificuldades mencionadas, o uso de indicadores de diversidade para troglóbios pode vir a ser uma ferramenta prática com o intuito de acessar de uma forma mais rápida e econômica uma previsão de quão importante uma caverna (ou um conjunto de cavernas) é em termos de conservação. Ou seja, é possível, a princípio, presumir a riqueza de espécies troglóbias avaliando a riqueza de formigas ou de hemípteros enquanto a identificação mais rigorosa e dispendiosa dos possíveis troglóbios é realizada.

A riqueza de formigas apresentou o maior valor de correlação com a riqueza total encontrada nas cavernas. Esse resultado corrobora com o de SAUBERER e colaboradores (2004) que avaliaram oito táxons (pássaros, briófitas, plantas vasculares, gastrópodes, aranhas, orthopteras, carabídeos e formigas) em uma variedade de sistemas de uso agrícola na Austria, e encontraram uma alta correlação positiva entre a riqueza de formigas e a riqueza total ( $r=0.76$ ). Contudo, tanto formigas quanto os troglóbios podem ser considerados bons indicadores da riqueza total em cavernas ferruginosas da Amazônia. Apesar da correlação entre formigas e a riqueza total ser maior do que entre troglóbios e a riqueza total nesse estudo, as 10 cavernas mais ricas em espécies de formigas, compreendem somente cinco das 10 cavernas mais ricas em espécies. Por outro lado, as 10 cavernas mais ricas em troglóbios, correspondem a sete das 10 cavernas mais ricas em espécies. A relação entre a riqueza de troglóbios e a riqueza total já fora investigada anteriormente (FERREIRA, OLIVEIRA & SOUZA-SILVA, 2015). Portanto, ao se conservar as cavernas mais ricas em troglóbios conserva-se também uma parcela significativa da diversidade subterrânea de uma dada área. Entretanto, avaliações considerando somente a riqueza de espécies devem ser utilizadas com cautela. Uma avaliação da distribuição das espécies e de sua biologia/comportamento é necessária com o intuito de verificar se existem espécies acidentais que podem estar inflando a riqueza de espécies nesses ambientes. A utilização das formigas como indicadores da riqueza total em cavernas pode ser mais viável do que utilização dos troglóbios, uma vez que existem dificuldades, já mencionadas, para identificar as espécies troglóbias.

Nesse estudo, foi verificado que aranhas e besouros também podem ser considerados indicadores da riqueza total em cavernas ferruginosas da Amazônia, porém com um menor potencial de indicação em relação às formigas e às espécies troglóbias. A escolha de indicadores da diversidade em cavernas deve ser utilizada com sensatez, de forma que se possa obter um prognóstico da diversidade faunística. Os grupos indicadores podem ser utilizados para uma avaliação preliminar e rápida de uma determinada área de interesse. Nesta avaliação preliminar

e rápida, os indicadores podem ser amostrados para evidenciar cavernas (ou áreas) que podem ter uma maior riqueza geral

Apesar do uso frequente de indicadores da diversidade total em planejamentos de conservação (BROWN, 1997; LARSEN; BLADT; RAHBK, 2009; MCGEOCH, 1998) e o número crescente de estudos sobre a eficiência dos indicadores para diversos ambientes e escalas (ANDERSEN, 1995; BHUSAL et al., 2014; RICKETTS; DAILY; EHRLICH, 2002; SÆTERS DAL; GJERDE; BLOM, 2005), alguns relataram resultados inconsistentes (LAWLER; WHITE, 2008; NEESON; VAN RIJN; MANDELIK, 2013). Tais inconsistências ocorrem uma vez que os estudos diferem nos métodos utilizados para avaliar a potencialidade de um grupo indicador assim como diferem em escala espacial, tornando a determinação de padrões e conclusões gerais inviável (LAWLER; WHITE, 2008).

Além da utilização de indicadores de diversidade, alguns trabalhos utilizaram o efeito de variáveis ambientais sobre as espécies a fim de diminuir as técnicas de amostragens (SOUZA et al., 2012) e o volume de amostra (SANTOS; FRANKLIN; MAGNUSSON, 2008), assim como para selecionar espécies indicadoras (FRANKLIN et al., 2013). Em cavernas, uma das variáveis que influenciam a diversidade de espécies é o tamanho/área da cavidade. Quanto maior a caverna, maior a riqueza de espécies total e de troglóbios (FERREIRA, 2004; SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2015; SOUZA-SILVA; NICOLAU; FERREIRA, 2011). Portanto, talvez seja mais fácil utilizar o tamanho das cavidades para selecionar cavernas mais diversas. Nesse sentido, investigar a influência de variáveis ambientais sobre os grupos indicadores pode ser mais útil, em termos práticos, do que simplesmente utilizar as correlações entre a riqueza de espécies. Ou até mesmo, podem ser combinadas ambas as abordagens para selecionar cavernas ou áreas de maior importância biológica.

Considerando a distribuição restrita dos afloramentos ferruginosos, sua extrema importância biológica e o intenso interesse comercial, esses ecossistemas são caracterizados por serem um dos menos estudados e mais ameaçados (CARMO; KAMINO, 2015). Dentre os seis principais locais de ocorrência destes geossistemas no Brasil (Quadrilátero Ferrífero - MG, Morraria do Urucum - MS, Serra de Carajás - PA, Vale do Rio Peixe Bravo - MG, Bacia do Rio Santo Antônio - MG e Caetité – BA), metade deles não possuem ainda nenhum tipo de Unidade de Conservação (Peixe Bravo, Caetité e Urucum). Apesar da outra metade estar protegida em parte por UC's, seus instrumentos de criação e gestão não garantem de fato a proteção satisfatória desses ecossistemas (MADEIRA et al., 2015). Nesse sentido, existe uma extrema necessidade e urgência de serem realizados mais estudos nessas regiões (CARMO; KAMINO, 2015). Em cavernas, existe a necessidade de mais estudos sobre a biologia e

evolução das espécies além de ser incontestável a avaliação de toda a fauna presente (FERREIRA; OLIVEIRA; SOUZA-SILVA, 2015). Além do mais, com esse estudo, ficou evidente a importância de se estudar os organismos que não sejam troglóbios ou troglomórficos, uma vez que estes podem ser utilizados como indicadores da diversidade em cavernas.

A utilização de indicadores de diversidade em cavernas pode ser muito proveitosa de maneira a agilizar ou até mesmo priorizar cavidades a serem conservadas. Ou seja, utilizando táxons indicadores, podem ser selecionadas cavernas para se obter um melhor refinamento biológico a partir de levantamentos faunísticos já realizados anteriormente. Ou melhor, a partir de um levantamento biológico já realizado em uma determinada área, podem ser selecionadas aquelas cavernas mais ricas em espécies indicadoras e assim focar nessas cavernas para fazer realizar a identificação das demais espécies e de possíveis troglóbios, principalmente quando há urgência para tal avaliação e a necessidade de conservação.

## **5 CONCLUSÃO**

Pode se concluir que nesse estudo as formigas possuem maior potencial como indicadoras de diversidade em cavernas ferruginosas da Amazônia uma vez que dentre os grupos analisados, a riqueza de formigas esta correlacionada com o maior número deles (Coleoptera e troglóbios), além disso possui o maior valor de correlação com a riqueza total.

**CAPITULO 2: QUAIS FATORES DETERMINAM A RIQUEZA E COMPOSIÇÃO  
DE ESPÉCIES DE FORMIGAS EM CAVERNAS FERRUGINOSAS DA  
AMAZÔNIA?**

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi identificar as variáveis que mais influenciam na riqueza e composição de espécies de formigas associadas a cavernas ferruginosas na Amazônia. Foram amostradas 69 cavernas ferruginosas da Serra do Tarzan, situada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, Pará. As formigas foram coletadas através de busca ativa nas cavernas. Foram amostradas as medidas de área, desnível, altitude, temperatura e umidade por caverna. Além disso, foram avaliadas, para cada caverna, variáveis categóricas referentes ao tipo de fitofisionomia na qual está inserida (Floresta Ombrófila ou na transição entre Savana Metalófila e Floresta Ombrófila), a estação do ano coletada (seca ou chuvosa), a presença ou ausência de guano e o tipo de feição hídrica ativa (intermitente ou perene). Dentre as 9 variáveis analisadas, somente três, guano, área e estação, tiveram valores significativos de influência sobre a riqueza de espécies de formigas. A presença de Guano e a área das cavernas influenciaram positivamente a riqueza de espécies de formigas. A estação seca apresentou uma maior riqueza de espécies de formigas em relação a estação úmida. Na análise de composição de espécies, o melhor modelo incluiu todas as variáveis selecionadas, apresentando 11% de explicação. As variáveis que mais explicaram a composição de espécies de formigas, separadamente, foram Guano e Área, porém com uma porcentagem muito baixa de explicação (2,6% e 2,2%, respectivamente). A presença de formigas em cavernas pode se dar pela procura de habitats climaticamente mais favoráveis. Além disso, as formigas podem encontrar nesses ambientes uma fonte confiável de recurso como o guano de morcegos.

**Palavras-chave:** Formicidae. Atributos físicos de cavernas. Geossistema ferruginoso.

## 1 INTRODUÇÃO

As formigas são encontradas em todo o planeta em uma variedade de ecossistemas, dentre eles as cavernas (PAPE, 2016; WILSON, 1962). Cavernas são cavidades naturais subterrâneas que possuem características distintas daquelas observadas em ambientes de superfície, como a ausência completa de luz, tendência à temperatura constante e umidade relativa do ar elevada, muitas vezes próxima à saturação (CULVER, 1982). Estas formações podem ocorrer em diversos tipos de rochas, embora sejam mais comuns naquelas mais solúveis como as carbonáticas (JANSEN; CAVALCANTI; LAMBLÉM, 2012). As cavernas ferruginosas por sua vez, estão situadas em relevos rochosos ferríferos que apresentam diversas características marcantes exclusivas desse tipo de litologia, tornando ambientes singulares e complexos caracterizados por sua diversidade biológica surpreendente (CULVER; SKET, 2000; FERREIRA, 2005; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011). De maneira geral, as cavernas ferruginosas são pouco extensas (FERREIRA, 2005; PILÓ; AULER, 2009), no entanto, elas apresentem uma elevada riqueza de espécies de invertebrados e de troglóbios quando comparadas a cavernas de mesmo tamanho situadas em outras litologias (SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011). Além disso, tais cavernas tendem a apresentar uma fauna singular, especialmente comparada a outras litologias (SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011). Tal diversidade pode ser explicada pelo fato desses ambientes possuírem uma grande quantidade de espaços intersticiais (meso e microcavernas) que acabam servindo como abrigo para as espécies que estão à procura das condições microclimáticas existentes nesses microambientes (FERREIRA, 2005).

Recentemente, Pape (2016) publicou um estudo que compilou os registros de espécies de formigas em cavernas em todo o mundo. Este autor evidenciou que aproximadamente um quarto dos gêneros e mais da metade das subfamílias de formigas são encontradas em cavernas, especialmente aquelas localizadas nas regiões tropicais. No Brasil, dentre os diversos táxons de invertebrados encontrados em cavernas, as formigas têm se destacado por compreenderem uma das famílias mais ricas em espécies (BERNARDI et al., 2012; BERNARDI; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2011; GALLÃO; BICHUETTE, 2015; INIESTA et al., 2012; SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2012; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2009a, 2009b; SOUZA-SILVA; NICOLAU; FERREIRA, 2011). Em cavernas ferruginosas, por exemplo, a alta riqueza de espécies de formigas pode ser explicada pela presença da extensa rede de canalículos que conectam esses ambientes às cangas, e portando fornecem uma condição favorável para o forrageamento dessas espécies (FERREIRA, 2005).

No entanto, apesar da presença de formigas em cavernas ser comum, elas têm sido

frequentemente consideradas como acidentalmente associadas a estes ambientes (DÁTTILO et al., 2012; PAPE, 2016; TINAUT; LOPEZ, 2001; WILSON, 1962). Devido a isso as formigas têm sido comumente excluídas das discussões ecológicas nos estudos de biologia subterrânea. Além disso, os estudos sobre formigas em cavernas geralmente estão focados em determinar se existem espécies troglóbias, isto é, de vida restrita aos ambientes subterrâneos (RONCIN; DEHARVENG, 2003; TINAUT, 2001; WILSON, 1962). Até o momento, somente uma espécie (*Leptogenys khammouanensis*) tem sido considerada como sendo verdadeiramente troglóbia (RONCIN; DEHARVENG 2003).

Apesar de muitas vezes a ocorrência de formigas em cavernas ser considerada acidental, existe muitos registros onde operárias foram encontradas forrageando e explorando os recursos existentes nas cavernas. Muitos trabalhos constataram a presença de formigas associadas ao guano de morcegos (DÁTTILO et al., 2012; FERREIRA, 2005; FERREIRA; MARTINS, 1999; GOMES; FERREIRA; JACOBI, 2000; PAPE, 2016) e predando outros invertebrados (PAPE, 2016). Além disso, também já foram registradas colônias de formigas cortadeiras (*Acromyrmex* sp.) utilizando cavernas como extensões físicas de seus ninhos para depositarem seu lixo, contribuindo com o aporte, adicional, de recursos orgânicos nesses ecossistemas (FERREIRA, 2000)

Por mais que a ocorrência de formigas em cavernas seja persistente, o estudo da mirmecofauna nesses ambientes continua escasso (BATUCAN; NUÑEZA, 2013; DÁTTILO et al., 2012; DEJEAN et al., 2015; FERREIRA, 2000; MOULDS, 2006; PAPE, 2016; RONCIN; DEHARVENG, 2003; TINAUT; LOPEZ, 2001; WILSON, 1962). Até o momento, poucos estudos avaliaram variáveis que influenciam a riqueza de espécies de formigas em cavernas (BATUCAN; NUÑEZA, 2013; DÁTTILO et al., 2012; DEJEAN et al., 2015) (DÁTTILO et al., 2012; BATUCAN & NUÑEZA, 2013; DEJEAN et al. 2015). Considerando a falta de estudos relacionados à mirmecofauna em cavernas, esse trabalho tem como objetivo principal identificar as variáveis que mais influenciam na riqueza e composição de espécies de formigas associadas a cavernas ferruginosas na Amazônia.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Caracterização da área**

O estudo foi realizado em um platô ferruginoso, localmente conhecido como Serra do Tarzan, inserido no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PNCF), Serra dos Carajás, sudeste do Pará (Mapa 1 – Material Suplementar). O clima desta Unidade de Conservação segundo Koppen é do tipo AWI, tropical, com verão chuvoso e inverno seco. A área do PNCF é de 79.029ha, representando o maior parque de cavernas em rochas ferríferas do país, com

aproximadamente 350 cavidades (BRASIL, 2017).

A região de Carajás é composta por diversos platôs de topos achatados recobertos por uma brecha superficial denominada “canga”. Tais platôs inserem-se em uma matriz extensa de Floresta Ombrófila (AULER et al., 2014; PILÓ; COELHO; REINO, 2015) (AULER et al., 2014; PILÓ; COELHO; REINO, 2015). As cangas são couraças ferruginosas ou formações superficiais que recobrem as rochas ferruginosas e que geralmente ocorrem nas porções mais altas do relevo, onde há o afloramento do minério de ferro (SCHAEFER et al., 2015) (SOUZA; CARMO, 2015). Sobre as cangas se desenvolve uma vegetação savânica, de caráter xerófilo que representa um ecossistema singular na Amazônia, caracterizado pelo seu alto índice de endemismo (CAMPOS; CASTILHO, 2012)(CAMPOS; CASTILHO, 2012).

A Serra dos Carajás é uma das mais importantes regiões espeleológicas do Brasil, com a maior concentração de cavernas ferruginosas do país (PILÓ; AULER, 2009) (PILÓ; AULER, 2009). As cavernas podem ser encontradas no interior das cangas, no interior da formação ferrífera e principalmente na transição entre a canga e a formação ferrífera (PILÓ; COELHO; REINO, 2015).

## 2.2 Coleta de dados

Os dados são provenientes de coletas realizadas pela equipe da BioEspeleo Consultoria Ambiental em janeiro e julho de 2016 representando as estações chuvosa e seca na região, respectivamente. Foram selecionadas 69 cavernas situadas em diferentes fitofisionomias, 19 das quais situadas em Floresta Ombrófila e 50 em áreas de transição entre Floresta Ombrófila e Savana Metalófila (vegetação frequentemente associada à canga). As coletas das formigas foram realizadas de forma ativa através do método de plotagem (FERREIRA, 2004), inspecionando os micros habitats existentes. Os indivíduos coletados foram armazenados em álcool 100% e posteriormente montados e identificados a nível de gênero com ajuda de chaves de identificação (BACCARO et al., 2015). Após a identificação dos gêneros, os indivíduos foram separados por morfótipos.

Foram adquiridos a altitude e informações sobre os atributos físicos das cavidades (área e desnível) através de um estudo topográfico e diagnóstico geoespeleológico nas cavidades desta unidade geomorfológica (PILÓ; COELHO; CASSIMIRO, 2017). As coordenadas geográficas e altitude foram obtidas através de GPS Garmin 62s (exatidão de  $\pm 5\text{m}$  para ambas medidas). A topografia foi realizada de modo a se obter o grau de precisão 5D, com base no sistema British Cave Research Association – BCRA. A área (em  $\text{m}^2$ ) provém do contorno da planta baixa da cavidade, calculado através do software AutoCAD® e o desnível se refere a diferença altimétrica entre as bases topográficas. Foram mensuras as variáveis climáticas

temperatura e umidade nas cavidades em cada evento amostral. Estas medidas foram realizadas através do termohigrômetro Inconterm (modelo 7429.02.0.00, exatidão de  $\pm 1^\circ\text{C}$  para temperatura e  $\pm 5\%$  para umidade), posicionados sobre o piso, na região mais distal de cada cavidade, durante 30 minutos.

Foi ainda avaliada, durante as coletas, a presença de guano (depósitos de fezes de morcegos) e feições hídricas ativas (denominadas intermitentes quando apenas em uma estação e perenes quando em ambas) para cada caverna. Desta forma foram determinadas, para cada caverna, variáveis categóricas referentes ao tipo de fitofisionomia na qual está inserida (Floresta Ombrófila ou na transição entre Savana Metalófila e Floresta Ombrófila), a estação do ano coletada (seca ou chuvosa), a presença ou ausência de guano e o tipo de feição hídrica ativa (intermitente ou perene).

### **2.3 Análise de dados**

Para determinar quais variáveis foram mais importantes para explicar a variação da riqueza de espécies de formigas foi utilizada uma seleção de modelos baseada na abordagem de informação teórica (IT) com valores de AIC (Critério de Informação Akaike). Utilizamos a riqueza de espécies de formigas como variável resposta e as variáveis das cavernas (área, altitude, temperatura, umidade, desnível, fitofisionomia, estação, presença de guano e feição hídrica) como variáveis explicativas. Primeiramente verificou-se se existiam variáveis altamente correlacionadas (acima de 70%), que de fato não ocorreram. A função “dredge” do pacote “MuMIn” foi utilizada para testar todas as possíveis combinações das variáveis incluídas no modelo global, inclusive o modelo nulo. Todos os modelos com valor de delta  $< 2$ , mais o primeiro modelo abaixo a esse valor foi selecionados (BURNHAM; ANDERSON, 2004).

Para verificar quais das variáveis explicativas foram mais importantes na variação da composição de espécies de formigas foi realizada uma modelagem linear baseada em distância (DistLM). O melhor modelo foi construído através do procedimento de seleção “best”, com 999 permutações, onde o modelo mais parcimonioso é obtido pelo menor valor de AIC e maior valor de  $R^2$  ajustado. A matriz de composição de espécies de formigas foi utilizada como variável resposta e as variáveis: localização geográfica, área, altitude, temperatura, umidade, desnível, fitofisionomia, estação, presença de guano e feição hídrica foram utilizadas como variáveis explicativas. A matriz de similaridade de espécies utilizada no DistLM foi construída utilizando o índice de Jaccard, utilizado para dados de presença e ausência.

Todas as análises foram realizadas nos softwares R versão 2.15.3 (R CORE TEAM, 2015) e no PRIMER v6.1.11 (CLARKE; GORLEY, 2006) com a adição do pacote PERMANOVA+ (ANDERSON; GORLEY; CLARKE, 2008).

### 3 RESULTADOS

No total foram encontradas 62 espécies distribuídas em seis subfamílias e 33 gêneros. A subfamília mais rica e também mais bem distribuída foi Myrmecianae com 32 espécies, presentes em 61 cavernas. Os gêneros mais ricos foram *Pheidole* (com sete espécies) seguido de *Camponotus* (com cinco espécies). No entanto, o gênero *Camponotus* foi o melhor distribuído, estando presente em 48 das 69 cavernas e o gênero *Mayaponera* foi o segundo melhor, estando presente em 35 cavernas.

Dentre as 9 variáveis analisadas, somente três, guano, área e estação, (Tabela 1) mostraram valores significativos de influência sobre a riqueza de espécies de formigas. A presença de Guano influenciou positivamente a riqueza de espécies de formigas (Gráfico 1), de forma que quando o Guano está presente a riqueza de espécies de formigas é maior. A área da caverna também influenciou positivamente a riqueza de espécies de formigas (Gráfico 2), de modo que quanto maior a área da caverna maior a riqueza de espécies de formigas encontrada. Ao contrário do esperado, a estação seca apresentou uma maior riqueza de espécies de formigas em relação a estação úmida (Gráfico 3).

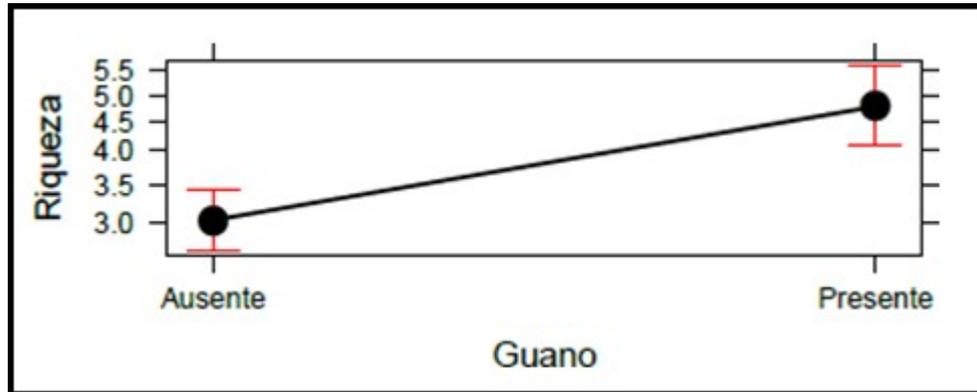
Tabela 1 – Modelo Linear Generalizado (GLM), influência das variáveis sobre a riqueza de espécies de formigas em cavernas ferruginosas da Serra do Tarzan, PA.

	Estimado	Erro Std.	z	p
Intercepto	1,0437502	1,890207	0,552	0,5808
Altitude	0,0010996	0,0011436	0,962	0,3363
Guano	0,4362454	0,1104993	3,949	<b>7.99e-05 ***</b>
Temperatura	-0,0657108	0,0504862	-1,302	0,1931
Fitofisionomia	0,1098763	0,1168558	0,94	0,3471
Área	0,0006972	0,0003412	2,043	<b>0,0410 *</b>
Umidade	0,0098701	0,0071073	1,389	0,1649
Feição Hídrica	0,0102557	0,1596244	0,064	0,9488
Desnível	0,0074757	0,0155377	0,481	0,6304
Estação	-0,2576973	0,1332316	-1,934	<b>0,049 *</b>

Legenda: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$  ; \*\*\*  $p \leq ,001$ .

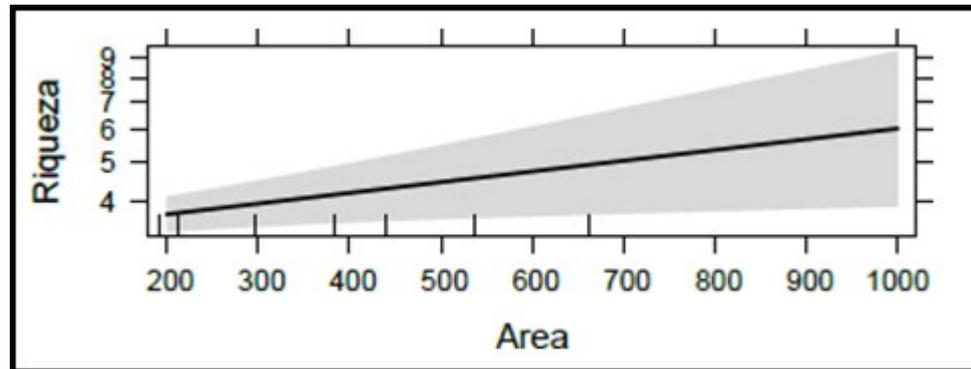
Fonte: Do autor (2018).

Gráfico 1 – Plotagem do efeito do Guano sobre a riqueza de espécies de formigas em cavernas ferruginosas da Serra do Tarzan, Pará.



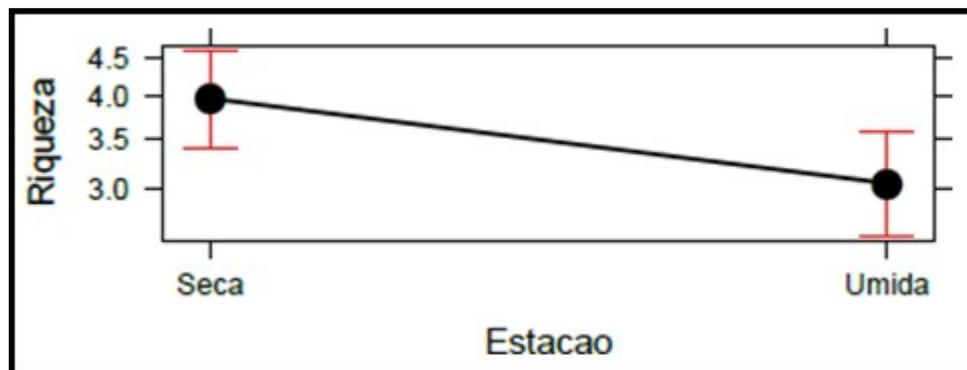
Fonte: Software R versão 2.15.3 (R CORE TEAM, 2015).

Gráfico 2 – Plotagem do efeito da Área sobre a riqueza de espécies de formigas em cavernas ferruginosas da Serra do Tarzan, Pará.



Fonte: Software R versão 2.15.3 (R CORE TEAM, 2015).

Gráfico 3 - Plotagem do efeito da Estação sobre a riqueza de espécies de formigas em cavernas ferruginosas da Serra do Tarzan, Pará.



Fonte: Software R versão 2.15.3 (R CORE TEAM, 2015).

Na análise de composição de espécies, o DistLM indicou todas as variáveis selecionadas no melhor modelo com  $R^2=0,11$ . As variáveis que mais explicaram a composição de espécies de formigas, separadamente, foram Guano e Área, porém com uma porcentagem muito baixa

de explicação (2,6% e 2,2%, respectivamente) (Tabela 2).

Tabela 2 - Testes marginais do DistLM, valores significativos emnegrito.

Variável	Testes Marginais	
	<i>P</i>	Proporção
Area	<b>0,001</b>	2,22E-02
Desnivel	<b>0,002</b>	1,67E-02
Altitude	0,239	9,24E-03
Temperatura	0,122	1,06E-02
Umidade	<b>0,006</b>	1,48E-02
Estacao	0,315	8,51E-03
Guano	<b>0,001</b>	2,59E-02
Fitofisionomia	<b>0,022</b>	1,37E-02
Hidro	<b>0,001</b>	2,15E-02

Fonte: Do autor (2018).

#### 4 DISCUSSÃO

Revelar os fatores que estruturam os padrões da biodiversidade tem sido um tema central nas pesquisas ecológicas (GASTON, 2000) uma vez que tais conhecimentos permitem o melhor entendimento da biodiversidade e fornece informações necessárias para tomadas de decisões (MYERS et al., 2000). Nesse estudo, as variáveis mais importantes para a riqueza de espécies de formigas nas cavernas foram área, presença de guano, temperatura e estação. Quanto maior a área da caverna maior a riqueza de espécies de formigas, além disso, quando o guano de morcegos está presente nas cavernas também é maior a riqueza de formigas (Gráfico 1 e 2). Outros estudos mostraram resultados similares aos encontrados neste trabalho. BATUCAN e ÑUNEZA (2013) concluíram que a riqueza de formigas é maior em cavernas grandes que continham depósitos de guano e que o tamanho da caverna, a temperatura e umidade relativa são as variáveis que aparentemente mais contribuem para a distribuição de espécies de formigas em cavernas. DEJEAN e colaboradores (2015) não encontraram diferenças na riqueza de formigas em transectos ao redor de uma “bat cave” e sua área controle, porém o número de predadores e detritívoros foi maior nas entradas dessas cavernas. O guano de morcegos fornece uma fonte importante de recursos dentro das cavernas para organismos pertencentes a diversos níveis tróficos (FERREIRA; PROUS; MARTINS, 2007), principalmente para os organismos detritívoros. As formigas cultivadoras de fungos, por exemplo, são capazes de cultivá-los em excrementos compostos por detritos de plantas e fezes (BRANDÃO; MAYHÉ-NUNES, 2007; VILLESSEN et al., 2004). Acredita-se que as formigas podem se alimentar tanto do guano de morcegos quanto de outros invertebrados associados a ele, o que explica a relação encontrada entre a riqueza de formigas e a presença deste recurso nas cavernas.

Em cavernas, a relação espécie-área já é bem conhecida, quanto maior área da caverna, existe a tendência de ocorrer uma maior a quantidade de recursos disponíveis o que eleva, portanto, a riqueza de espécies presentes nesses ambientes (FERREIRA, 2004; SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2015; SOUZA-SILVA; NICOLAU; FERREIRA, 2011). No entanto, apesar dos resultados encontrados neste e em outros trabalhos, DÁTILLO e colaboradores (2012), verificaram que nem o tamanho da caverna, nem a presença de guano influenciaram a riqueza de espécies de formigas em cavernas do Maranhão e Tocantins. No entanto, no estudo de DÁTILLO e colaboradores (2012), as cavernas possuíam dimensões extremamente reduzidas, com tamanho médio de  $16.4\text{m}^2 \pm 13.2\text{m}^2$ . Desta forma, é plausível assumir que as formigas observadas no referido estudo fossem essencialmente epígeas, simplesmente transitando pelas pequenas cavidades, sem, portanto, exibir quaisquer relações com as características destas pequenas cavernas.

A sazonalidade também é outro fator importante para a explicação da diversidade biológica. Nela estão incorporadas variáveis como temperatura, umidade, precipitação, radiação solar, dentre outros. Em diferentes táxons, a riqueza de espécies é maior em climas estáveis e quentes (BUCKLEY et al., 2010; BUCKLEY; JETZ, 2007), inclusive formigas (DUNN et al., 2009; GIBB et al., 2015). Em uma análise de Componentes Principais (PC), o nicho climático das formigas pode ser dividido em dois eixos, o primeiro representa ambientes quentes e úmidos com 65% de explicação, e o segundo representa os ambientes com baixa precipitação e alta temperatura máxima com 19% de explicação (PIE, 2016). Além disso, a atividade das formigas é 25% menor na estação seca quando comparada com a estação úmida (KASPARI; WEISER, 2000). Diferentemente dos padrões encontrados, no presente estudo a riqueza de formigas foi maior na estação seca (Gráfico 3). Os ectotérmicos de pequeno tamanho enfrentam um grande risco de dessecação devido à sua alta taxa metabólica, a proporção entre o seu volume e sua área de cobertura e o baixo armazenamento de gorduras (GIBBS, 2003; HARRISON; WOODS; ROBERTS, 2012). Assim, é plausível assumir que as formigas podem encontrar nas cavernas uma maneira para se proteger contra a dessecação uma vez que esses ambientes são considerados climaticamente estáveis e possuem umidade relativa próxima a saturação (CULVER, 1982). Principalmente na estação seca, quando a canga atinge altas temperaturas e umidade relativa extremamente baixa, acredita-se que a procura de formigas por ambientes mais frescos e úmidos tende a aumentar o que pode explicar a maior riqueza de espécies nessa estação. Portanto, para as formigas, entrar em uma caverna quando o clima não é favorável só trará benefícios. As cavernas podem funcionar como um refúgio térmico assim como os ninhos das formigas no solo (TSCHINKEL, 1987).

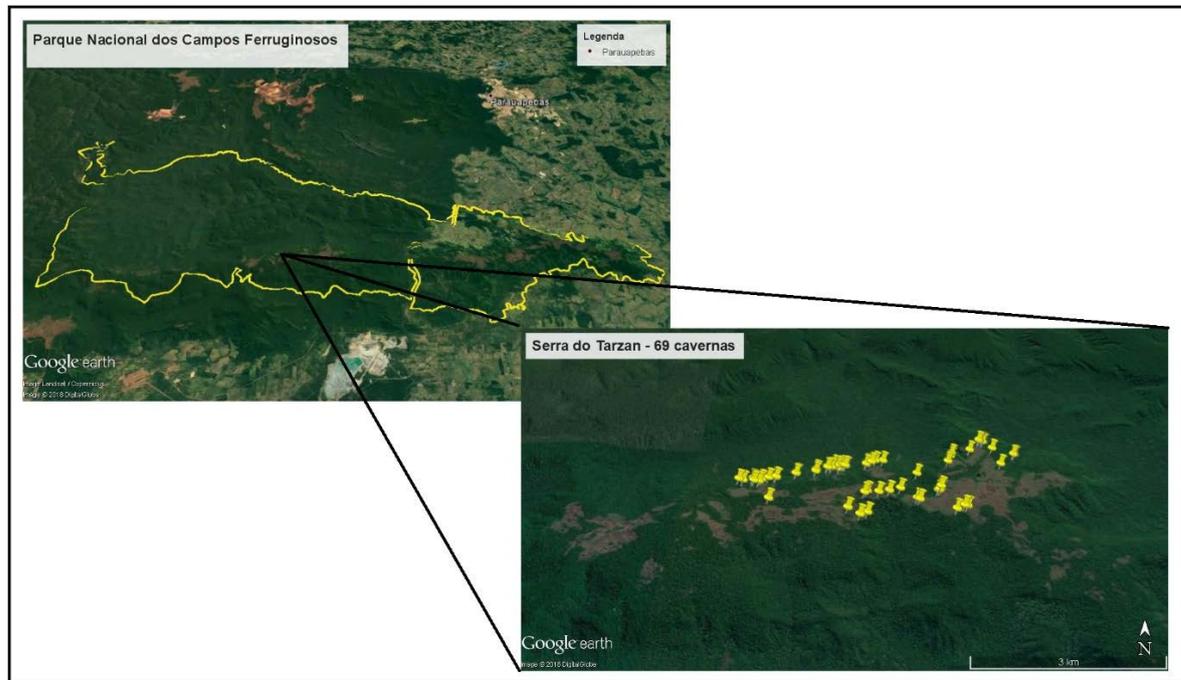
Nesse estudo a porcentagem de explicação das 10 variáveis, em conjunto, para a explicação da composição de espécies foi muito baixa. Isso indica que todas as variáveis analisadas aparentam ser importantes para a composição de espécies de formigas em cavernas ferruginosas, no entanto numa intensidade baixa. Além disso, as variáveis Guano e Área foram as mais importantes para a composição de espécies de formigas, porém com um percentual de explicação muito baixo também. Provavelmente, Guano e Área estejam influenciando mais na composição das espécies porque são as variáveis que mais influenciam na riqueza também. Portanto, conforme a riqueza de espécies aumenta, a composição se altera pela simples adição de espécies. Esses resultados indicam que dentre as variáveis analisadas, poucas agem selecionando grupos de espécies de formigas. Ou seja, a preferência ou especificidade de formigas por condições encontradas em cavernas é muito baixa.

## **5 CONCLUSÃO**

A partir dos resultados encontrados nesse trabalho, é possível verificar que provavelmente a presença de formigas em cavernas não se dá de forma acidental como considerado em alguns trabalhos (WILSON, 1962; DÁTTILO et al., 2012; PAPE, 2016). Mais do que isso, existem fatores que influenciam a sua riqueza e composição de espécies nesses sistemas. A presença de formigas em cavernas pode se dar pela procura de habitats climaticamente mais favoráveis. Além disso, as formigas podem encontrar nesses ambientes uma fonte confiável de recurso como o guano de morcegos. Portanto, é mais plausível assumir que as formigas podem atuar como espécies oportunistas nesses ambientes. No entanto, para esta conclusão mais estudos são necessários. Futuros trabalhos devem investigar, de forma mais completa, como a relação entre guano e formigas acontece, do que, especificamente, as formigas se alimentam e se a retirada desse recurso traz prejuízos à fauna cavernícola. Além disso, deve ser investigada a influência das variáveis ambientais, utilizadas nesse estudo, sobre a diversidade de formigas em outras litologias. Assim, espera-se que a efetiva associação entre as formigas e as cavernas seja reavaliada e mais profundamente estudada.

**MATERIAL SUPLEMENTAR**

Mapa 1 – Parque Nacional do Campos Ferruginosos/ PA e as 69 cavernas da Serra do Tarzan



Fonte: Google Earth (2018)

## REFERÊNCIAS

ALONSO, L. E. Ants as indicators of diversity. In: AGOSTI, D. et al. (Eds.). **Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity**. Washington and London: Smithsonian Institution Press, 2000. p. 80–88.

ANDERSEN, A. N. A Classification of Australian Ant Communities, Based on Functional Groups Which Parallel Plant Life-Forms in Relation to Stress and Disturbance. **Journal of Biogeography**, v. 22, n. 1, p. 15, 1995.

ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. Ants Show the Way Down Under: Invertebrates as Bioindicators in Land Management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 6, p. 291, 2004.

ANDERSON, M.; GORLEY, R. N.; CLARKE, R. K. Permanova+ for Primer: Guide to Software and Statistical Methods. **Primer-E Limited**, 2008.

AULER, A. S. et al. Hypogene cave patterns in iron ore caves: convergence of forms or processes. **Karst Waters Institute**, p. 15–19, 2014.

BACCARO, F. B. et al. **Guia para os gêneros de Formigas do Brasil**. Manaus: INPA, 2015.

BATUCAN, L. S. J.; NUÑEZA, O. M. Ant species richness in caves of Siargao Island Protected Landscape and Seascape, Philippines. **ELBA Bioflux**, v. 5, n. 2, p. 83–92, 2013.

BERNARDI, L. F. DE O. et al. Aspectos ecológicos de uma caverna granítica no sul de Minas Gerais. **Espeleo-Tema**, v. 23, n. 1, p. 5–11, 2012.

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.

BHUSAL, D. R. et al. Higher taxa vs. functional guilds vs. trophic groups as indicators of soil nematode diversity and community structure. **Ecological Indicators**, v. 41, n. April, p. 25–29,

2014.

BISHOP, T. R. et al. Elevation-diversity patterns through space and time: Ant communities of the Maloti-Drakensberg Mountains of southern Africa. **Journal of Biogeography**, v. 41, n. 12, p. 2256–2268, 2014.

BRANDÃO, C. R. F.; MAYHÉ-NUNES, A. J. A phylogenetic hypothesis for the Trachymyrmex species groups, and the transition from fungus-growing to leaf-cutting in the Attini. **Advances in ant systematics (Hymenoptera: Formicidae): homage to E. O. Wilson – 50 Years of contributions**, p. 72–88, 2007.

BRASIL. **Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Decreto\\_6640\\_Comentado.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Decreto_6640_Comentado.pdf)>. Acesso em: 7 mar. 2018

BRASIL. **DECRETO nº14.470, de 05 de junho de 2017**, 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/dsn/Dsn14470.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/dsn/Dsn14470.htm)>

BRESCOVIT, A. D. et al. Brasilomma gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). **Zootaxa**, v. 32, n. 3572, p. 23–32, 2012.

BROWN, K. S. J. Diversity , disturbance , and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring \* Introduction : biological diversity and. **Journal of Insect Conservation**, v. 1, n. June 1994, p. 25–42, 1997.

BUCKLEY, L. B. et al. Phylogeny, niche conservatism and the latitudinal diversity gradient in mammals. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 277, n. 1691, p. 2131–2138, 2010.

BUCKLEY, L. B.; JETZ, W. Environmental and historical constraints on global patterns of amphibian richness. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1614, p. 1167–1173, 2007.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, n. 2, p. 261–304, 2004.

CAETANO, D. S.; DE BENÁ, D. C.; VANIN, S. A. *Copelatus cessaima* sp. nov. (Coleoptera: Dytiscidae: Copelatinae): First record of a troglomorphic diving beetle from Brazil. **Zootaxa**, v. 3710, n. 3, p. 226–232, 2013.

CAMPOS, J. C. F.; CASTILHO, A. F. Uma Visão Geográfica da Região da Flona de Carajás. In: MARTINS, F. D. et al. (Eds.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás**. Rosa, João ed. São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 32–63.

CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas Ferruginosos Do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. PRIMER v6: user manual/tutorial (Pymouth routines in multivariate ecological research). **Plymouth: Primer-E Ltd**, 2006.

CULVER, D. C. *Cave life: evolution and ecology*. **HARVARD UNIVERSITY PRESS, CAMBRIDGE, MA(USA)**, 1982.

CULVER, D. C.; SKET, B. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 62, n. 1, p. 11–17, 2000.

DÁTTILO, W. et al. Influence of cave size and presence of bat guano ant visitation. **Sociobiology**, v. 59, n. 2, p. 549–560, 2012.

DEJEAN, A. et al. Bat aggregation mediates the functional structure of ant assemblages. **Comptes Rendus Biologies**, v. 338, n. 10, p. 688–695, 2015.

DELABIE, J. H. C. et al. Ants as biological indicators of Wayana Amerindian land use in French Guiana. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 332, n. 7, p. 673–684, 2009.

DNPM. **Informe Mineral 1º/2015**. Brasília-DF: [s.n.]. Disponível em:

<<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2015-1o-semester>>. Acesso em: 29 maio. 2016.

DUNN, R. R. et al. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 324–333, 2009.

FERREIRA, R. L. “Lixeiras de formigueiros”: recursos adicionais em sistemas cavernícolas? Estudo de caso: Toca de Morrinho (Campo Formoso, Bahia). **O Carste**, v. 12, n. 3, p. 154–158, 2000.

FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

FERREIRA, R. L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, v. 17, n. 3, p. 106–115, 2005.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, v. 12, p. 231–252, 1999.

FERREIRA, R. L.; OLIVEIRA, M. P. A. DE; SOUZA-SILVA, M. Biodiversidade Subterrânea em Geossistemas Ferruginosos. In: CARMO, F. F. DO; KAMINO, L. H. Y. (Eds.). . **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte - MG: 3i Editora, 2015. p. 195–231.

FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; MARTINS, R. P. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. **Tropical Zoology**, v. 20, p. 55–74, 2007.

FRANKLIN, E. et al. Geographic position of sample grid and removal of uncommon species affect multivariate analyses of diverse assemblages: The case of oribatid mites (Acari: Oribatida). **Ecological Indicators**, v. 34, n. May, p. 172–180, 2013.

GALLÃO, J. E.; BICHUETTE, M. E. Taxonomic distinctness and conservation of a new high

biodiversity subterranean area in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2015.

GASTON, K. J. Global patterns in biodiversity. v. 405, n. 6783, p. 220–227, 2000.

GIBB, H. et al. Climate mediates the effects of disturbance on ant assemblage structure.

**Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1808, 2015.

GIBBS, A. G. Evolution of water conservation mechanisms in *Drosophila*. **Journal of Experimental Biology**, v. 206, n. 7, p. 1183–1192, 2003.

GOMES, F. T. DE M. C.; FERREIRA, R. L.; JACOBI, C. M. Comunidade de artrópodes de uma caverna calcária em área de mineração: composição e estrutura. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 2, n. 2, p. 77–96, 2000.

HARRISON, J. F.; WOODS, H. A.; ROBERTS, S. P. **Ecological and environmental physiology of insects**. New York: Oxford University Press, 2012.

HEINRICH, B. The thermal warriors: strategies of insect survival. **HARVARD UNIVERSITY PRESS**, 1996.

HOCH, H.; FERREIRA, R. L. *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. - the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). **Mitteilungen aus dem Museum fur Naturkunde in Berlin - Deutsche Entomologische Zeitschrift**, v. 59, n. 2, p. 201–206, 2012.

HUEY, R. B.; KINGSOLVER, J. G. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 4, n. 5, p. 131–135, 1989.

INIESTA, L. F. M. et al. Biodiversidade em seis cavernas no Parque Estadual do Sumidouro (Lagoa Santa, MG). **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 2, p. 18–37, 2012.

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L. Two new species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian iron ore caves. v. 3669, n. 1, p. 85–95, 2013.

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L.; WESENER, T. The first troglobitic *Glomeridesmus* from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of *Glomeridesmida* (Diplopoda). v. 3550, p. 26–42, 2012.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. DO. The Contribution of Ironstone Outcrops to Plant Diversity in the Iron Quadrangle, a Threatened Brazilian Landscape. **AMBIO: Royal Swedish Academy of Sciences**, v. 37, n. 4, p. 324–325, 2008.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 1, p. 42–57, 2012.

JENKINS, C. N. et al. Global diversity in light of climate change: The case of ants. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 4, p. 652–662, 2011.

JENKINS, N.; HOFFMANN, A. A. Limits to the southern border of *Drosophila serrata*: cold resistance, heritable variation, and trade-offs. **Evolution**, v. 53, n. 6, p. 1823–1834, 1999.

KASPARI, M.; WEISER, M. D. Ant Activity along Moisture Gradients in a Neotropical Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 703–711, 2000.

KINGSOLVER, J. G. The Well-Tempered Biologist. **The American Naturalist**, v. 174, n. 6, p. 755–768, 2009.

LACH, L.; PARR, C. L.; ABBOTT, K. L. **Ant Ecology**. New York: Oxford University Press, 2010.

LANDEIRO, V. L. et al. How far can we go in simplifying biomonitoring assessments? An integrated analysis of taxonomic surrogacy, taxonomic sufficiency and numerical resolution in a megadiverse region. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 366–373, 2012.

LARSEN, F. W.; BLADT, J.; RAHBEK, C. Indicator taxa revisited: Useful for conservation planning? **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 1, p. 70–79, 2009.

LAWLER, J. J.; WHITE, D. Assessing the mechanisms behind successful surrogates for biodiversity in conservation planning. **Animal Conservation**, v. 11, n. 4, p. 270–280, 2008.

LAWTON, J. H. et al. Biodiversity inventories, indicators taxa and effects of habitat modification in tropical forest. **Nature**, v. 39, n. 1, p. 72–76, 1998.

LEAL, I. R. et al. Biodiversity surrogacy: Indicator taxa as predictors of total species richness in Brazilian Atlantic forest and Caatinga. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 12, p. 3347–3360, 2010.

MAJER, J. D.; ORABI, G.; BISEVAC, L. Ants (Hymenoptera: Formicidae) pass the bioindicator scorecard. **Myrmecological News**, v. 10, n. September, p. 69–76, 2007.

MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L.; WILLIAMS, P. H. Representing biodiversity: Data and procedures for identifying priority areas for conservation. **Journal of Biosciences**, v. 27, n. 4, p. 309–326, 2002.

MCGEOCH, M. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 73, n. 2, p. 181–201, 1998.  
MCGEOCH, M. A. et al. Conservation and monitoring of invertebrates in terrestrial protected areas. **Koedoe**, v. 53, n. 2, 2011.

MOULDS, T. The first Australian record of subterranean guano-collecting ants. **Helictite**, v. 39, n. 1, p. 3–4, 2006.

MYERS, L.; SIROIS, M. J. Spearman Correlation Coefficients, Differences between. **Encyclopedia of Statistical Sciences**, v. 12, n. 1, p. 1–2, 2006.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

NEESON, T. M.; VAN RIJN, I.; MANDELIK, Y. How taxonomic diversity, community structure, and sample size determine the reliability of higher taxon surrogates. **Ecological Applications**, v. 23, n. 5, p. 1216–1225, 2013.

PAPE, R. B. The importance of ants in cave ecology, with new records and behavioral observations of ants in Arizona caves. **International Journal of Speleology**, v. 45, n. 3, p. 185–205, 2016.

PEDROSO, D. R.; BAPTISTA, R. L. C. A new troglomorphic species of *Harmonicon* (Araneae, Mygalomorphae, Dipluridae) from Pará, Brazil, with notes on the genus. **ZooKeys**, v. 389, p. 77–88, 2014.

PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium tapiaguassu* (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini), a new Brazilian troglobitic beetle, with ultrastructural analysis and ecological considerations. **Zootaxa**, v. 58, n. 3116, p. 47–58, 2011.

PIE, M. R. The macroevolution of climatic niches and its role in ant diversification. **Ecological Entomology**, v. 41, n. 3, p. 301–307, 2016.

PILÓ, L. B.; AULER, A. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. **Sociedade Brasileira de Espeleologia**, p. 181–186, 2009.

PILÓ, L. B.; COELHO, A. H. F.; CASSIMIRO, J. R. Espeleologia do Projeto Serra do Tarzan - Serra Sul, Região de Carajás, PA. In: BIOESPELEO (Ed.). . **Diagnóstico Geoespeleológico - Projeto Serra do Tarzan**. Lavras, Minas Gerais: [s.n.]. p. 114.

PILÓ, L. B.; COELHO, A.; REINO, J. C. R. Geoespeleologia em rochas ferríferas: cenário atual e conservação. In: CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. (Eds.). . **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. p. 125–148.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing** Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2015.

RIBAS, C. R. et al. Ants as indicators in Brazil: A review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche**, v. 2012, 2012.

RICKETTS, T. H.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Does butterfly diversity predict moth diversity? Testing a popular indicator taxon at local scales. **Biological Conservation**, v. 103, n. 3, p. 361–370, 2002.

RONCIN, E.; DEHARVENG, L. *Leptogenys khammouanensis* sp. nov. (Hymenoptera: Formicidae). A possible troglobitic species of Laos, with a discussion on cave ants. **Zoological science**, v. 20, n. 7, p. 919–924, 2003.

SÆTERSDAL, M.; GJERDE, I.; BLOM, H. H. Indicator species and the problem of spatial

inconsistency in nestedness patterns. **Biological Conservation**, v. 122, n. 2, p. 305–316, 2005.

SANDERS, N. J. et al. Temperature, but not productivity or geometry, predicts elevational diversity gradients in ants across spatial grains. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 5, p. 640–649, 2007.

SANTOS, E. M. R.; FRANKLIN, E.; MAGNUSSON, W. E. Cost-efficiency of different sub-sampling protocols to evaluate soil mite (Acari: Oribatida) communities in an Amazonian savanna. v. 40, n. 6, p. 728–735, 2008.

SAUBERER, N. et al. Surrogate taxa for biodiversity in agricultural landscapes of eastern Austria. **Biological Conservation**, v. 117, n. 2, p. 181–190, 2004.

SCHAEFER, C. E. et al. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. In: CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. (Eds.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. p. 77–102.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Species richness and conservation of caves in the Urucuia river sub-basin, a tributary of the San Francisco river: a case study in caves of Arinos, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 2, p. 1– 17, 2012.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. v. 121, p. 103– 121, 2015.

SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History**, v. 42, n. 21–22, p. 1549–1563, 2008.

SOARES, I. et al. Two new troglobitic species of Scleropactidae from Pará , Brazil. **Nauplius**, v. 19, n. 1, p. 27–39, 2011.

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Caracterização ecológica de algumas cavernas do Parque Nacional de Ubajara ( Ceará ) com considerações sobre o turismo nestas cavidades . **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 1, p. 59–71, 2009a.

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Estrutura das comunidades de invertebrados em cinco

cavernas insulares e intertidais na costa brasileira. **Espeleo-Tema**, v. 20, n. 1/2, p. 25–36, 2009b.

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 and Conservation**, v. 20, n. 8, p. 1713–1729, 2011.

SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. **Environmental Management**, v. 55, n. 2, p. 279–295, 2014.

SOUZA-SILVA, M.; NICOLAU, J. C.; FERREIRA, R. L. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. **Espeleo-Tema**, v. 22, n. 1, p. 155–167, 2011.

SOUZA, J. L. P. et al. Trade-offs between complementarity and redundancy in the use of different sampling techniques for ground-dwelling ant assemblages. **Applied Soil Ecology**, v. 56, p. 63–73, 2012.

TINAUT, A. *Hypoconeropsis ragusai* (Emery, 1895) a cavernicolous ant new for the Iberian Peninsula (Hymenoptera: Formicidae). **Graellsia**, v. 57, n. 1, p. 3–8, 2001.

TINAUT, A.; LOPEZ, F. Ants and caves: Sociability and ecological constraints (Hymenoptera, Formicidae). **Sociobiology**, v. 37, n. 3 B, p. 651–657, 2001.

TSCHINKEL, W. R. Seasonal life history and nest architecture of a winter-active ant, *Prenolepis imparis*. **Insectes Sociaux**, v. 34, n. 3, p. 143–164, 1987.

VILLESEN, P. et al. Evolution of ant-cultivar specialization and cultivar switching in *Apterostigma* fungus-growing ants. **Evolution**, v. 58, n. 10, p. 2252–2265, 2004.

WILSON, E. O. The Trinidad Cave Ant *Erebomyrma* (= *Spelaeomyrmex*) *Urichi* (Wheeler), With a Comment on Cavernicolous Ants in General. **Psyche (New York)**, v. 69, n. 2, p. 62–72, 1962.

WILSON, E. O. Causes of ecological success: the case of the ants. **Journal of Animal Ecology**, v. 56, n. 1, p. 1–9, 1987.

ZEPPELINI, D.; DA SILVA, D. D.; PALACIOS-VARGAS, J. G. A new species of *Troglobius* (Collembola, Paronellidae, Cyphoderinae) from a Brazilian iron cave. **Subterranean Biology**, v. 14, n. 1, p. 1–13, 2014.